

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА В АПК

Материалы Международной
научно-практической конференции

(Минск, 3–4 июня 2026 года)

Минск
БГАТУ
2026

Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения и технического сервиса в АПК : материалы Международной науч.-практ. конф. (Минск, 3–4 июня 2026 года) / редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2026. – 552 с. – ISBN 978-985-25-0326-6.

Сборник включает статьи, представленные на Международную научно-практическую конференцию «Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения и технического сервиса в АПК».

Издание представляет интерес для специалистов агропромышленного комплекса, научных и научно-педагогических работников сельскохозяйственного направления, бакалавров, аспирантов, магистрантов, студентов и руководителей сельскохозяйственных предприятий.

Редакционная коллегия:

<i>Романюк Н. Н.</i>	канд. техн. н., доцент, ректор БГАТУ науч. редактор)
Члены коллегии:	
<i>Акулович Л. М.</i>	д-р техн. н., профессор, профессор кафедры технологии металлов;
<i>Андруш В. Г.</i>	канд. техн. н., доцент, заведующий кафедрой управления охраной труда;
<i>Гребень Е. А.</i>	канд. ист. н., доцент, заведующий кафедрой социально-гуманитарных дисциплин;
<i>Еднач В. Н.</i>	канд. техн. н., доцент, декан факультета «Тех- нический сервис в АПК»;
<i>Капцевич В. М.</i>	д-р техн. н., профессор, заведующий кафедрой технологии металлов;
<i>Тарасенко В. Е.</i>	канд. техн. н., доцент, заведующий кафедрой технологий и организации технического сервиса

Материалы опубликованы на языке оригинала с сохранением орфографии и пунктуации авторов. Ответственность за достоверность публикуемых материалов несут их авторы.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1

«Современные тенденции развития технического сервиса в АПК»

1. **Карпович С.К., Сайганов А.С., Липская В.К.**
Актуальные направления развития предприятий агросервисного обслуживания сельскохозяйственных товаропроизводителей 12
2. **Горгодзе А.Р.**
Актуальные проблемы разработки системы машин и технологий для комплексной механизации сельскохозяйственного производства до 2035 года и на период до 2050 года в союзном государстве и странах евразийского экономического союза 18
3. **Тарасенко В.Е., Мухля О.О.**
Применение компьютерной томографии при оценке состояния топливных инжекторов 23
4. **Тарасенко В.Е., Барташевич А.Л.**
Анализ средств удаленного мониторинга и управления сервисным обслуживанием мобильных машин 28
5. **Анискович Г.И., Шевчук М.А.**
Перспективы применения импульсной закалки при упрочнении деталей сельскохозяйственных машин 34
6. **Анискович Г.И., Шевчук М.А.**
Математическое моделирование охлаждения деталей при их импульсной закалке 39
7. **Анискович Г.И., Шукан М.М.**
Предпосылки разработки технологии комбинированного упрочнения молотков зерновых дробилок 47
8. **Миранович А.В., Косак А.А., Афанасенко Д.Е.**
Комбинированная упрочняющая обработка цилиндрических деталей электронасосных агрегатов серии ХЦМ 52
9. **Миранович А.В., Афанасенко Д.Е., Афанасенко Е.В.**
Устройство для комбинированной упрочняющей обработки металлических поверхностей нежестких деталей 57
10. **Рустамов Р.М., Аскаров С.Р.**
Анализы, касающиеся проектирования парка машин и подразделений ремонтно-технического обслуживания для овощеводческих кластеров областей Ферганской долины 62
11. **Земляной А.А., Мишин Б.С., Ланцев В.Ю.**
Стенд для технического обслуживания, ремонта и предпосевной подготовки пневматических сеялок точного высева 67
12. **Кочетов Н.В., Миранович О.Л., Подорожная И.В.**
Импортозамещение при изготовлении технологического оснащения . . 72

13.	Жешко А.А. Разработка алгоритма для определения эксплуатационных показателей машин для внесения удобрений	77
14.	Жешко А.А. Результаты разработки программного приложения для комплектования машин химизации земледелия	81
15.	Толочко Н.К., Копчик Д.И. Особенности листовой штамповки термопластов	85
16.	Ружьев В.А., Калинин А.Б., Теплинский И.З., Ловкис В.Б. Знакопеременная деформация в вопросе нанесения износостойкого покрытия на почворежущую часть рабочих органов сельскохозяйственных машин	90
17.	Копчик Д.И. Перспективы применения аддитивных технологий для производства и ремонта сельскохозяйственной техники	96
18.	Мисько В.Г. Предпосылки повышения износостойкости деталей почвообрабатывающих машин при работе на почвах с повышенной изнашивающей способностью	99
19.	Жилич Е.Л., Бернацкая Д.В., Романович А.А., Бондаренко И.И., Ведищев С.М. Анализ методов и устройств для дистанционного определения промеров тела и живой массы сельскохозяйственных животных . . .	103
20.	Теплов Д.В., Тарасова Е.В., Шумилова А.С. Разработка перспективной технологии заготовки сенажа	108
21.	Шмыков С.Н., Ипатов А. Г., Малинин А.В. Комбинированная технология нанесения восстановительного покрытия высокоскоростной лазерной наплавкой керамическими материалами с последующим алмазным выравниванием	114
22.	Василевский П.Н., Бондаренко А.Д. Повышение эксплуатационного ресурса режущих элементов роторных косилок методами поверхностного упрочнения	119
23.	Селюк Ю.Н., Бондарчук О.В. Планирование эксплуатации электрооборудования в АПК с использованием методики риск-ориентированного обслуживания . .	123
24.	Круглый П.Е., Мисько В.Г., Василевский П.Н. Формирование требований доступности услуг при организации технического сервиса сельскохозяйственной техники	127
25.	Круглый П.Е., Мисько В.Г., Шукан М.М. Формирование рациональной структуры автомобильного парка хозяйства АПК при организации его технического сервиса	131

26.	Курносов А.Ф. Определение эффективной мощности двигателя ЯМЗ-53445-22 в условиях эксплуатации	137
27.	Бережная И.Ш., Асыка А.В. Аддитивные технологии и 3D-моделирование: трансформация ветеринарной помощи	141
28.	Ваулин В.И., Захарова И.Г., Фролов Д.В., Ваулин С.В. Построение локальной сети предприятия.	146
29.	Minqiu Kuang, Bang Ji, Xu Li GCP-YOLO: High-Precision Detection of Tiny Chili Flowers in Complex Greenhouse Scenes	148

СЕКЦИЯ 2

«Инновации в проектировании и производстве машин и оборудования для АПК»

30.	Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Смирнов И.Г. Разработка гусеничной роботизированной платформы с системой компьютерного зрения для мониторинга садовых насаждений	153
31.	Романюк Н.Н., Агейчик В.А., Еднач В.Н., Тихонов А.А. Улучшение качества заделки семян совершенствованием конструкции однодискового сошника зерновой сеялки	160
32.	Рапакон Г.Г., Шушков Р.А., Осипов А.Н., Холопов Д. И. Разработка дистанционной системы управления навесными орудиями для мобильного агробота	165
33.	Жилич Е.Л., Бернацкая Д.В., Романович А.А., Бондаренко И.И. Анализ конструкций роботизированных систем доения	169
34.	Юрин А.Н., Комлач Д.И., Агейчик В.А. Развитие машинно-технологической платформы для сбора плодов . .	178
35.	Юрин А.Н., Комлач Д.И., Агейчик В.А. Повышение эффективности мойки плодов и отделения их от сорных включений	183
36.	Романюк Н.Н., Агейчик В.А., Еднач В.Н., Кокиева Г.Е., Тихонов А.А. К вопросу разработки оригинальной конструкции очистителя корнеплодов от почвы.	187
37.	Филиппов Р.А. Анализ технического состояния и перспективы развития ягодо- уборочных роботов	190
38.	Филиппов Р.А., Мордасова М.С. Тенденции развития конструкций технических средств для ручной уборки ягод.	196

39.	Мисуно О.И., Зорин Г.А. Оценка жесткости стойки лапы культиватора	201
40.	Мисуно О.И., Зорин Г.А. Расчет размеров малолистовой рессоры для защиты корпуса плуга	204
41.	Орда А.Н., Шкляревич В.А., Ракова Н.Л., Пантелеева Ж.И. Повышение тягового КПД сдвиганием колесных ходовых систем ..	209
42.	Орда А.Н., Шкляревич В.А., Ракова Н.Л., Пантелеева Ж.И. Силовой расчет пахотных машинно-тракторных агрегатов	213
43.	Крук И.С., Ракова Н.Л., Пантелеева Ж.И., Анищенко А.А., Зорин Г.А. Снижение производственных потерь пестицидов	217
44.	Шарипов З.Ш., Юлдашев Ш.У., Мирхамидова Д.Х., Рисбаев Д.С. Техническое обслуживание современных хлопкоуборочных машин ..	223
45.	Кутырёв А.И., Потапенков Н.А. Обоснование оптимальных параметров видеосъёмки и режима работы конвейера для сортировки плодов яблони с использованием компьютерного зрения	233
46.	Андрусевич А.А., Козак О.В. Инновационные направления развития сельскохозяйственного машиностроения в Республике Беларусь	239
47.	Андрусевич А.А., Калининченко В.А. Выбор технологических параметров получения литых компазиционных материалов для повышения свойств деталей сельскохозяйственной техники	243
48.	Корнеева В.К., Капцевич В.М. Новые возможности анализа хроматограмм моторного масла с использованием компьютерного зрения	247
49.	Корнеева В.К., Капцевич В.М. Методические возможности применения текстурного анализа GLCM в программном комплексе IMAGEJ для оценки хроматограмм моторного масла	253
50.	Корнеева В.К., Капцевич В.М., Пернач Е.Е., Королец И.С., Селицкий Е.И. Колориметрический анализ хроматограмм моторного масла Лукойл Авангард 10W-40 в RGB-пространстве	259
51.	Корнеева В.К., Капцевич В.М., Закревский И.В., Спиридович П.М. Морфологический анализ частиц износа в моторном масле SHELL RIMULA 10W-40.	265

52.	Кусин Р.А., Астапенко А.А., Кунцевич М.Д., Андрушевич А.А., Закревский И.В. Перспективные применения фильтрующих материалов с ортотропной структурой на основе тканых сеток в АПК	271
53.	Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Алешко А.Ю., Цекунов В.И. Исследование топографии магнитного поля при магнитно-абразивной обработке сложнопрофильных поверхностей при различных формах рабочего зазора	276
54.	Акулович Л.М., Стрига М.В., Мендалиева С.И. Возможности применения плазменной и лазерной резки при изготовлении деталей сельскохозяйственных машин из листового металлопроката.	283
55.	Акулович Л.М., Миранович А.В., Шабуня В.В. Моделирование процесса магнитно-абразивной обработки	287
56.	Гедронть Г.И., Занемонский С.В., Соболевский С.Е. Применение подруливающих осей в тракторных прицепах	291
57.	Белевич А.Г., Павлючук Н.В., Брановец Н.С. Особенности установки фильтра в систему охлаждения дизельного двигателя Д-245.35Е5	295
58.	Жданович Ч.И., Разганов А.Ю. Электромеханический вал отбора мощности: сравнительный анализ, опыт применения и перспективы	298
59.	Жданович Ч.И., Муратов А.А. Анализ конструкций и перспективы совершенствования тяговых приводов колесных погрузчиков для нужд агропромышленного комплекса.	303
60.	Жданович Ч.И., Мамонов Л.С. Влияние индивидуального электропривода колес на тягово-сцепные свойства погрузчика	309
61.	Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Алешко А.Ю. Определение топографии магнитного поля при магнитно-абразивной обработке сложнопрофильных поверхностей	314
62.	Воробей А.С., Боричевский А.Л. Автоматизация экологичной упаковки: устройство и принцип работы дозатора МАУБ-5	318
63.	Сентюров Н.С., Цайц М.В., Курзенков С.В. Деформационно-прочностные характеристики сетчатых полимерных полотен при комбинированном нагружении: экспериментальное и математическое моделирование	320
64.	Леонов С.Л., Иконников А.М., Ковальчук А.Е., Иконников Н.А. Магнито-абразивная обработка в современном сельскохозяйственном машиностроении	324

65.	Muhammad Bello Garba Influence of centrifugal forces on strength of belt drive pulley rim (Влияние центробежных сил на прочность колеса шкива ременной передачи)	330
66.	Базанова И.А., Қаржаубай М.Ш. Совершенствование методов проектирования противооползневых сооружений транспортной инфраструктуры с учетом влияния землеройной техники	335
67.	Яновский Д.А., Зенов А.А. Классификация и сравнительный анализ конструктивных схем беспилотных летательных аппаратов для сельского хозяйства . . .	340
68.	Яновский Д.А., Зенов А.А. Сельскохозяйственные дроны как универсальный инструмент точного земледелия: возможности и ограничения.	343
69.	Яковлев Д.А. Концептуальные основы адаптации технологий посева к условиям влажности почвы	347

СЕКЦИЯ 3

«Охрана труда, защита населения и окружающей среды»

70.	Андруш В.Г., Шелегова Е.В. Построение схемы образовательного процесса для дисциплины «Электробезопасность» с применением экспертной системы . . .	353
71.	Мисун А.Л., Горячко К.А. Анализ причин травматизма при техническом обслуживании и ремонте транспортных средств сельскохозяйственного назначения . .	358
72.	Мисун А.Л., Мисун Л.В., Горячко К.А. Анализ процесса получения и осмысления визуальной информации человеком-оператором	362
73.	Ткачева Л.Т., Сермяжко М.А. Цифровая эргономика как фактор удержания молодых кадров в АПК	366
74.	Молош Т.В., Королева Л.Н. Пути повышения безопасности труда при эксплуатации технических средств для заготовки кормов.	372
75.	Жаркова Н.Н. Эксилампы – перспективные источники спонтанного ультра- фиолетового (УФ) и вакуумно-ультрафиолетового (вуф) излучения . .	377
76.	Андруш В.Г., Шелегова Е.В. Анализ и профилактика травматизма при выполнении ремонта сельскохозяйственной техники.	381

77.	Ткачева Л.Т., Сермяжко М.А. Современные технологии обучения охране труда работников животноводческих ферм	386
78.	Молош Т.В., Евсюк К.В. Совершенствование охраны труда при внесении твердых минеральных удобрений	392
79.	Корчик С.А., Рудович П.В. Психофизиологическое состояние как одна из причин производственного травматизма	397
80.	Ткачева Л.Т., Бренч А.А., Миронов И.О Снижение риска ДТП на основе внедрения интеллектуальных транспортных систем.	401
81.	Молош Т.В., Корчик С.А., Сапего Я.Д. Обеспечение безопасной эксплуатации холодильного оборудования на молочно-товарных фермах	407
82.	Корчик С.А., Катушёнок И.А. Технология HRD как стандарт промышленной безопасности	410
83.	Гаркуша А.В., Мисун Л.В., Мисун Ал-й. Л. Обоснование конструктивных параметров многослойных звукоизолирующих капотов для снижения внешнего и внутреннего шума мобильной сельскохозяйственной техники	414
84.	Жиголка М.В. Психологическая безопасность и профилактика эмоционального выгорания у специалистов АПК в сезонные пики нагрузки	419
85.	Андруш В.Г., Крастелева Н.В. Повышение производственной безопасности эксплуатации трактора «Амкдор» путем контроля угла наклона.	423
86.	Белохвостов Г.И., Серебрякова Н.Г., Мириленко А.П., Тиунчик А.А., Ковальчук С.В., Колодников Р.Э., Кунаш М.В., Драгун А.Г. Фундаментальные проблемы исследования рабочих процессов в системах выпуска отработавших газов поршневых двигателей внутреннего сгорания	429
87.	Ваулин В.И., Карсунцев В.А., Плохотнюк А.А., Ваулин С.В. Киберправа человека в условиях технологического развития	435
88.	Мартынова Л.Г., Белохвостов Г.И. Шумовое воздействие на работников и его оценка	440
89.	Основин В.Н., Сергеев К.Л., Сокол О.В. Выбор материалов и расчет оградительных устройств станочного оборудования	445
90.	Основин В.Н., Сокол О.В. Опасные зоны и травмирующие факторы при работе на машинно- тракторных агрегатах	451

91.	Лазарев И.В., Радченко С.А. Возможности улучшать подготовку кадров для сельскохозяйства, используя международное сотрудничество и лучший мировой опыт	456
92.	Городецкая Е.А., Непарко Т.А., Пантелеенко Е.Ф., Варавко Н.В. Подготовка специалистов охраны труда, работающих в сельскохозяйственных организациях	461
93.	Белохвостов Г.И., Слонская С.В., Арабей С.М., Серебряков И.А., Дубовик Д.А., Климук А.С., Янович Д.Л., Сидоревич В.И. Анализ экологических характеристик системы выпуска отработавших газов поршневых двигателей внутреннего сгорания	465
94.	Ионас Е.Л., Сергеева И.И., Цайц М.В. Типичные нарушения в системе охраны труда учреждений образования и направления цифровой трансформации контрольных процедур ...	470
95.	Мисун А.Л., Горячко К.А. Исследование причин дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств сельскохозяйственного назначения	475
96.	Криволапов И.П., Мишин Б.С., Ракова Н.Л., Сергеев К.Л., Карлюк А.П. Разработка системы защиты от налипания снега для активных ИК-извещателей охраны периметра	479

СЕКЦИЯ 4

«Духовное и физическое развитие современной молодежи в контексте образовательного процесса»

97.	Литвинов П.В. Треугольник Хопкинса как одна из основ формирования инженерного мышления при преподавании технических дисциплин ..	484
98.	Радченко С.А. Способ улучшать подготовку кадров для сельского хозяйства, используя опыт ведущих университетов и многостороннее международное сотрудничество	488
99.	Радченко С.А., Организационно-экономические возможности улучшать в регионах обучение и доходы вузов и их кадров, используя международное сотрудничество	494
100.	Толкач И.Ф. Особенности самоуправления цифровой повседневностью студентов технического университета	500

101.	Опарин А.Ю. Доступное высшее образования как элемент идеологии социального государства	502
102.	Ракова Н.Л., Кемеш О.Н., Пантелеева Ж.И., Шкляревич Т.А. Использование чек-листа как инструмента формирующего оценивания знаний студентов	508
103.	Медведок Т.В., Кравченя Э.М. Проектирование и апробация ЭУМК по социологии в системе подготовки экономистов аграрного профиля	511
104.	Аношко В. Г., Федоришина Ю.В. Использование нейрокинезиологических упражнений на занятиях физической культуры студентов	514
105.	Крюковский В.Д. Выучка командиров запаса РККА в учебных заведениях БССР (1924–1928 гг.)	516
106.	Сокол О.В., Мулярова О.В. КОМПАС-GEARS – современный инструмент саморазвития инженера	522
107.	Мартынчук И.В. Особенности преподавания Политологии среди дисциплин социально-гуманитарного цикла	525
108.	Umar Abubakar Sokoto, Muhammad Bello Garba, Zainab Usman Sa'ad Influence of entrepreneurship education on acquisition of employable skills competencies among business education students of usmanu danfodiyo university, Sokoto	528
109.	Меньчеля С.В., Павлова С.Ю. Развитие сельского туризма в Беларуси: современное состояние и перспективные направления	532
110.	Dr. Ibrahim Muhammad Yabo, Hafiz Ibrahim Yabo An assesement of the educational provision for the children of namads in sokoto state Nigeria	536
111.	Ваулин В.И., Сингеев С.А., Филончик Н.И., Ваулин С.В. Использование потенциала прикладных наук для повышения эффективности предприятий агропромышленного комплекса . . .	541
112.	Мухля О.О. Подготовка инженерных кадров о технологическое оснащение райагросервисов: опыт интеграции оборудования поток в образовательный процесс БГАТУ	547

СЕКЦИЯ 1

«Современные тенденции развития технического сервиса в АПК»

УДК 631.173

Карпович С.К.¹, кандидат экономических наук, доцент;

Сайганов А.С.², доктор экономических наук, профессор;

Липская В.К.³, кандидат экономических наук

¹ *Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь;*

² *Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси,*

г. Минск, Республика Беларусь

³ *Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,*

г. Гомель, Республика Беларусь

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОСЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТОВАРОПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье представлен анализ и оценка текущего состояния развития предприятий агросервисного обслуживания сельскохозяйственных товаропроизводителей и разработаны основные направления по его совершенствованию.

Abstract. The article presents an analysis and assessment of the current state of development of agricultural service enterprises for agricultural producers and develops the main directions for its improvement.

Введение. Важно отметить, что в текущей пятилетке перед отраслью сельского хозяйства стоят амбициозные задачи: обеспечение ежегодных темпов роста производства сельскохозяйственной продукции в сопоставимых ценах не ниже 103,5 %, достижение рентабельности продаж в сельском хозяйстве на уровне 10 % и увеличение экспорта продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья до 10,0 млрд. долл. США. Выполнение данных задач возможно только при инновационном функционировании всех отраслей АПК с использованием новейших научных достижений и технологий, направленных на укрепление продовольственной безопасности страны.

Основная часть. Необходимо подчеркнуть, что в современных условиях значимость системы агросервиса в техническом оснащении сельского хозяйства определяется осуществляемыми ею видами деятельности, направленной на обеспечение дальнейшего повышения эффективности функционирования агропромышленного производства. Так, в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 27 января 2003 г. № 40 «О совершенствовании управления организациями агропромышленного

комплекса» в область координации Республиканского объединения «Белагросервис» входит 125 организаций, из них: 87 райагросервисов, 13 райсельхозхимий, 4 мотороремонтных и 4 ремонтных завода, 6 областных организаций агросервиса и другие профильные структуры, в которых работает более 14 тыс. человек.

Основными организациями по оказанию услуг по ремонту и техническому обслуживанию полнокомплектной техники, узлов и агрегатов являются 75 организаций, в 31 из них открыты технические центры заводов-изготовителей сельскохозяйственной техники, налажено производство более 250 наименований машин и оборудования.

Выполненный детальный анализ производственно-хозяйственной деятельности агросервисных структур за 2025 г. на республиканском, областном и межрайонном (районном) уровнях по такому показателю как выручка от реализации продукции (работ, услуг) по видам деятельности показал, что в целом по республике наибольший удельный вес в структуре выручки занимает материально-техническое обеспечение (56,5%); сельскохозяйственное производство (13,8 %); производство и ремонт техники (10,1 %); механизированные работы и услуги (4,3 %); услуги автотранс-порта (2,1 %); СТО автомобилей и МТП (1,3 %); ЛМУ по механизации и ТО оборудования животноводческих ферм (1,5 %) и прочие услуги (10,4 %).

Следует отметить, что за 2025 г. в целом по республике сложилась положительная динамика развития агросервисных организаций. Так, по результатам производственно-хозяйственной деятельности выручка за выполненные работы, оказанные услуги и реализованные товарно-материальные ценности составила более 3 млрд. рублей и по сравнению с 2020 г. она увеличилась в 1,9 раза. Кроме того, было получено чистой прибыли в сумме 152 млн рублей, а рентабельность реализованных товаров, продукции (работ, услуг) составила 4,0 %. Вместе с тем 11 организаций получили убыток в сумме 3,2 млн рублей. Что касается производства сельскохозяйственной продукции, то в настоящее время оно осуществляется непосредственно в 52 организациях агросервиса, в 35-ти из которых удельный вес сельхозпроизводства в общей выручке занимает 50 % и более.

Учитывая то обстоятельство, что агропромышленный комплекс страны переходит на новый технологический уровень возникает объективная необходимость дальнейшего совершенствования специализации выполняемых функций агросервисными предприятиями в оказании всего комплекса необходимых услуг сельскохозяйственным потребителям с учетом современных требований [1].

В этой связи, исходя из намечающейся практики, дальнейшее развитие системы агросервисного обслуживания рекомендуется осуществлять на двух уровнях (рисунок 1):

первый уровень, включающий 53 организации, являющиеся специализированными предприятиями республиканского, областного и межрайонного уровней по производству современной сельскохозяйственной техники, запасных частей, узлов и агрегатов, сервисному ее обслуживанию и ремонту, материально-техническому обеспечению, предоставлению механизированных услуг. При этом для обеспечения ритмичной работы доля промышленного производства в общей выручке должна составлять не менее 50 %;

второй уровень, включающий 72 организации, являющиеся районными предприятиями, которые будут проводить работы по техническому обслуживанию сельскохозяйственной техники и оборудования, оказывать услуги автотранспорта, механизированных отрядов и ремонтных мастерских юридическим и физическим лицам района. Здесь удельный вес производства непосредственно сельскохозяйственной продукции должен составлять более 50 %.

Данные подходы позволят обеспечить оказание сельскохозяйственным организациям всего спектра агросервисных услуг, включая районы, в которых агросервисные организации отсутствуют.

Проведенный анализ свидетельствует, что за последние 30 лет уровень оснащенности увеличился с 42 до 80 л.с. или почти в 2 раза на одного работающего, а количество тракторов мощностью 250 л.с. и более выросло с 10 до 21 %, что позволяет осуществлять технологические операции широкозахватными комбинированными агрегатами с увеличением скоростных режимов до 15–18 км/ч при сохранении агротехнических требований, и тем самым существенно повысить производительность труда.

Практика показывает, что около 92–95 % техники готовятся непосредственно в сельскохозяйственных организациях и 5–8 % – в организациях агросервиса. Для проведения полевых работ должна обеспечиваться готовность 95 % к весенним полевым работам – до 25 марта, заготовке кормов – до 13 мая, уборке зерновых – до 8 июля.

Кроме того, организациями агросервиса осуществляется ремонт сложных отказов, устранение которых невозможно в условиях сельскохозяйственных организаций. Для удешевления такого ремонта ежегодно должно предусматриваться финансирование за счет средств республиканского бюджета. Так, в текущем году на эти цели было направлено 53 млн рублей.

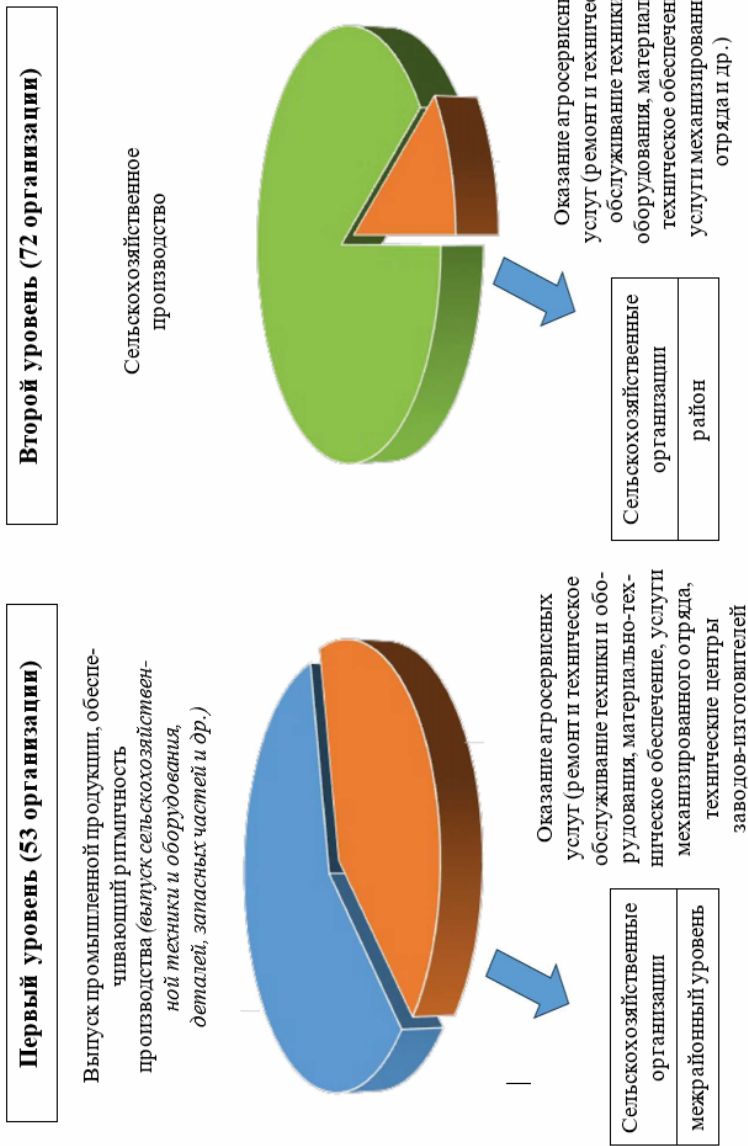


Рисунок 1 – Направления развития агросервисных организаций

В целях сохранения потенциала организаций агросервиса и обеспечения возложенных на них задач, нужно осуществить комплекс мер по их технологическому переоснащению, который должен включать два направления. Первое касается технологической модернизации и переоснащения для обеспечения необходимого качества и надежности. Решение этой проблемы будет способствовать расширению линейки выпускаемой техники, углубит кооперацию с заводами Министерства промышленности Республики Беларусь. Второе направление связано с централизованным обеспечением сырьем, металлом и др. комплектующими.

С учетом вышеизложенного, составлена карта территориального расположения организаций системы агросервисного обслуживания Республики Беларусь, включающая 125 таких предприятий как РО «Белагросервис»; облагросервис и райагросервис, химсервис, прочие организации системы РО «Белагросервис», ремонтные заводы с указанием конкретного места расположения каждого объекта. На аналогичной карте также показано территориальное расположение организаций межрайонного уровня (53 ед.) и технических центров заводов-изготовителей (31 ед.).

Наряду с этим, проработана и усовершенствована организационная структура агросервисного обслуживания в Республике Беларусь, базирующаяся на двух уровнях его развития, включающая в составе первого уровня перечень 53 действующих агросервисных организаций по оказанию услуг сельскохозяйственным потребителям, а второго – 72 организации.

Что касается организационных структур агросервисного обслуживания в разрезе областей, то в них представлены не только задействованные организации агросервисного обслуживания, но и перечень конкретных услуг, который требуется выполнять каждому агросервисному предприятию в отдельности. Так, в качестве примера на рисунке 2 приведена схема организационной структуры агросервисного обслуживания в Могилевской области. На ней видно, что 11 организаций агросервисного обслуживания будет задействованы по оказанию услуг, из них на первом уровне – 6 организаций, на втором – 5 организаций. На каждом уровне указан конкретный перечень выполняемых работ и услуг.

Необходимо подчеркнуть, что отдельно представлена также организационная структура агросервисного обслуживания районов, не имеющих сервисных организаций. Так, например, в Минской области ОАО «Минскоблагросервис» будет обслуживать Борисовский, Вилейский и Логойский районы.

ОАО «УКХ «Агромашсервис» (11 организаций агросервисного обслуживания)	
ПЕРВЫЙ уровень – 6 организаций	ВТОРОЙ уровень – 5 организаций
ОАО УКХ «Агромашсервис» ОАО «Заднепровский МРАС» Ремонт: 1. тракторов 2. зерноуборочных комбайнов 3. кормоуборочных комбайнов 4. комбинированных почвообрабатывающих и посевных агрегатов 5. двигателей, узлов и агрегатов для тракторов ПЦ -Гомсельмаш, МТЗ, ММЗ Наличие мехотряда	ОАО «Дрибинский РАПС» более 50 % сельхозпроизводство ОАО «Глусский РАПС» более 50 % сельхозпроизводство ОАО «Агросервис» г. Чаусы более 50 % сельхозпроизводство ОАО «Осиновичи АПС» более 50 % сельхозпроизводство ОАО «Славгород РАП» более 50 % сельхозпроизводство
ОАО «Агропромналадка» Ремонт: 1. зерно сушилных комплексов 2. кормораздатчиков 3. комбинированных почвообрабатывающих агрегатов Техническое обслуживание животноводческих ферм Изготовление оборудования для животноводческих ферм ОАО «Костюковичский РАПЭ» Ремонт: 1. тракторов 2. почвообрабатывающих и посевных агрегатов 3. кормораздатчиков Техническое обслуживание доильных залов Наличие мехотряда	ОАО «Фруглянский РАС» Ремонт: 1. тракторов 2. прицепов 3. машин для внесения минеральных и органических удобрений 4. двигателей, узлов и агрегатов для тракторов Наличие мехотряда
ОАО «Кировский РАПС» Ремонт: 1. тракторов 2. зерноуборочных комбайнов 3. кормоуборочных комбайнов 4. посевных агрегатов 5. двигателей, узлов и агрегатов для тракторов ПЦ -Гомсельмаш	

Рисунок 2 – Схема организационной структуры агросервисного обслуживания в Могилевской области

Заключение. Таким образом, разработанные актуальные направления развития предприятий агросервисного обслуживания нацелены главным образом на повышение эффективности и качества оказываемых разнообразных услуг сельскохозяйственным товаропроизводителям. При этом требуется еще утвердить и сами областные программы развития организаций агросервиса, включая закрепление зон обслуживания на межрайонном уровне, создание филиалов, расширение спектра оказываемых услуг, в том числе и для физических лиц.

Список использованных источников

1. Сайганов, А.С. Повышение эффективности функционирования системы производственно-технического обслуживания сельского хозяйства / А.С. Сайганов; под ред. В.Г. Гусакова. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2012, – 311 с.

УДК 631.173.4

Горгодзе А.Р., руководитель комитета
промышленной кооперации, науки и образования
*Общественная организация Союз промышленников «Прогресс»,
г. Москва, Российская Федерация*

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ДО 2035 ГОДА И НА ПЕРИОД ДО 2050 ГОДА В СОЮЗНОМ ГОСУДАРСТВЕ И СТРАНАХ ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА

Система машин и технологий (СМТ): что это и для каких целей её создавали и обновляли? В первую очередь – это комплексный развёрнутый справочник и нормативный документ одновременно.

В основу документа было заложено понятие «ТИПАЖ», как совокупность научно-обоснованных параметров машин. То есть в типаже может соответствовать множество моделей и марок техники, объединяемых общими показателями назначения.

Иллюстрация из известного учебника демонстрирует типы тракторов по тяговому классам и назначению, в соответствии ГОСТ 27021-86 (рис. 1).

Необходимость описания типажей машин и систематизации в единый документ определилась к концу 40-х годов XX века. Интенсивному развитию социального государства требовалось расширение ассортимента потребляемого рациона, что влекло за собой создание и освоение прогрессивных технологий в сельскохозяйственном секторе. Механизация работ имела бурный, но несистемный рост. Активно шёл

0,2	0,5	0,9	1,4	2	3	4	5	8 (10)	15	25	35			
10 12	24	28	50	75-80	50-60	75-120 110-120	150	130-150	200 280-300	160-180	220	300	330	500
0,35	1,5	2,4	2,8	3,4	6,0	6,3	6,4	8	11	15-18	20	27	25-27	35
Сельскохозяйственные														
ЭЗД- вой 3-2														
	Универсально-проходной				Специально-проходной				Общего назначения				Общего назначения	
ЭЗД- вой 4-2														
	Самходные шасси	Универсально-проходной повышенной проходимости 4-4			Виноградный ковы	Болотоходный			Общего назначения			Болотоходный	Мелиоративный	
Пешеход- ная														
	Самходные шасси для чехов платформы	Холодородный			Портальный виноградный ковы	Кругосклонный			Мелиоративный	Общего назначения			База под трубоукладчик	База под трубоукладчик
ЭЗД- вой 4-4														
	Горный самходный шасси	4-2, 4-4				Общего назначения			Общего назначения			База под погрузчик		
	Высокоскоростной для тягачей	Низкопроходный для работы в горной зоне			Кругосклонный	Садовый	Трепачный	Для работы с опорами и др. инструментами	Трепачный	Трепачно-транспортный				
	Лесозастенный 4-4	Лесозастенный			Трепачный с гидроманипулятором	Для работы с погрузчиком			Валочно-трепачная машина					
					Транспортно-мобильный для лесозаготовки	Трепачно-транспортный								
					Лесозастенный									

Итогом большого труда, под сокращённым названием «Система машин» явился документ, определяющий научно-технологическую политику в государстве.

Как пример, последняя СМТ в Российской Федерации, 2012 года была востребована Минпромторгом и получила признание, однако, с 2020 года утратила статус нормативного документа и не актуализировалась. При этом надо отметить, что в Республике Беларусь, в настоящее время, утверждена Системы машин для реализации перспективных технологий производства основных видов сельскохозяйственной продукции в Республике Беларусь на 2021-2026 годы и на период 2030 года.

19

которым должны соответствовать показатели назначения этих машин, орудий и агрегатов.

Информационная функция СМТ позволит:

- прогнозно складывающаяся в перспективе конъюнктура на рынке машин, какие параметры техники и для каких технологий будут в будущем востребованы;
- определение параметров машин для реализации достижений научно-технического прогресса, освоения разной группы интенсивности в характеристиках машин с учетом запроса потребителей;
- «отраслевые» требования по взаимоувязке параметров машин при их агрегатировании; известно, что транснациональные компании в этом плане «саморегулируются», производя полный комплекс машин.

Тяговый класс (по ГОСТ 27021)	Номинальное тяговое усилие, кН (по ГОСТ 27021)	Колёсные тракторы 4х4	
		Эксплуатационная масса, кг	Эксплуатационная мощность, кВт*
0,2	От 1,8 до 5,4	1000 $\pm$ ₂₀₀ ³⁵⁰	18 $\pm$ _{4,5} ^{5,0}
0,6	Св.5,4 до 8,1	1850 $\pm$ ₂₅₀ ³⁵⁰	32 $\pm$ _{4,6} ^{5,6}
0,9	8,1...12,6	3000 $\pm$ ₃₀₀ ⁴⁰⁰	52 $\pm$ _{5,2} ^{6,0}
1,4	12,6...18,0	4250 $\pm$ ₃₅₀ ⁴⁰⁰	73 $\pm$ _{6,3} ^{7,0}
2	18,0...27,0	6100 $\pm$ ₅₀₀ ⁶⁰⁰	104 $\pm$ _{8,2} ^{10,5}
3	27,0...36,0	8700 $\pm$ ₇₀₀ ⁸⁰⁰	149 $\pm$ ₁₂ ¹⁵
4	36,0...45,0	11000 $\pm$ ₇₀₀ ⁹⁰⁰	188 $\pm$ ₁₂ ¹⁶
5	45,0...54,0	13500 $\pm$ ₁₀₀₀ ¹⁶⁰⁰	231 $\pm$ ₁₇ ²⁷
6	54,0...72,0	17300 $\pm$ ₁₂₀₀ ²⁰⁰⁰	296 $\pm$ ₂₁ ³⁴
8	72,0...108	24500 $\pm$ ₂₅₀₀ ³⁰⁰⁰	419 $\pm$ ₄₃ ⁵¹

Рисунок 2 – Соответствие тяговых классов эффективному диапазону тяговых усилий колесных тракторов

Как пример необходимых исходных данных: Эффективный диапазон тяговых усилий колесных тракторов 4×4 в диапазоне рабочих скоростей 14,5...9,0 км/ч в зависимости от массы трактора при буксовании 6,7...17,5%, представленный в таблице выше и в графике ниже (рис. 2 и 3):

Данный пример, представлен в докладе Северо-Кавказской машиноиспытательной станции (ФГУП Сев-Кав МТС) 20 июня 2024 года в рамках деловой программы Всероссийского Дня поля, в городе Минеральные Воды, Ставропольского края.

Опираясь на такие обоснования при планировании обновления парка сельскохозяйственных тракторов, становится возможным принятие протекционистских ограничений для машин, не соответствующих приведённым характеристикам при выходе на рынок.

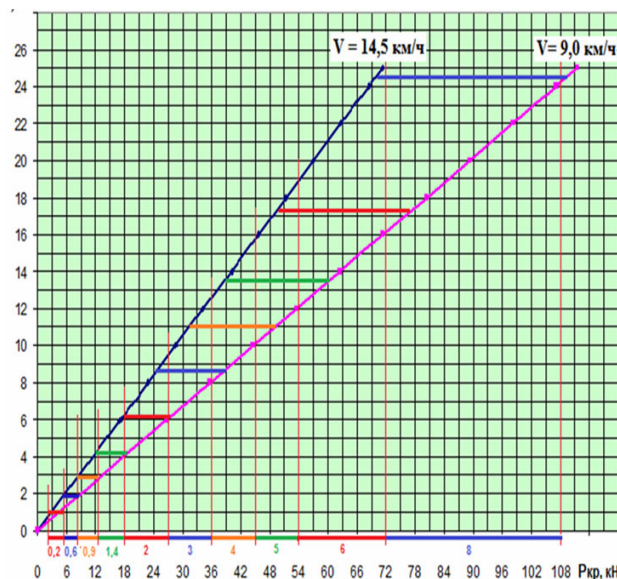


Рисунок 3 – Эффективный диапазон тяговых усилий колесных тракторов 4×4 в диапазоне рабочих скоростей 14,5...9,0 км/ч в зависимости от массы трактора при буксовании 6,7...17,5%

Такие меры нормативно-технического регулирования жизненно необходимы при сохранении традиционных, собственных агротехнологий, основывающихся на отечественных машино-тракторных комплексах, адаптированных ко всем почвенно-климатическим условиям стран СНГ и ЕАЭС, а также при создании и освоении новых методов.

В Союзном государстве и ЕАЭС, при раздробленности производства техники, отсутствии интегрированности предприятий СМТ должна быть своеобразным «сборочным цехом» для оптимального агрегатирования машин при выполнении агротехнологий.

Функционально СМТ - нормативно-информационный документ, оптимизирующий типаж техники на рынках Беларуси, России и ЕвразЭС, и регулирующим программу разработки машин.

Здесь важно обратить внимание на актуальные проблемы разработки системы машин и технологий (СМТ). В первую очередь будет необходимо организационно согласовать следующие предложения:

- целесообразно разрабатывать СМТ на период до 25 лет с возможностью корректировки по пятилеткам;
- гармонизировать с типажом машин, производимых транснациональными компаниями сельхозмашиностроения и рекомендованных на рынок стран Союзного государства и ЕАЭС;

- трансформировать в машинно-технологическую систему (СМТ), имея в виду первенство технологий в построении системы техники;

- утвердить соответствие машинно-технологической системы ландшафтным и экономическим параметрам агрозон, районирование комплекса машин с учетом почвенно-климатических условий. Кроме того, обеспечить привязку каждого типа машины к технологической операциям и агрегатированию с определенным тяговым классом трактора. Установить типы машин, соответствующие техническим требованиям для каждой агрозоны;

- цифровизация СМТ для вывода необходимой информации по отдельным типажам технических средств, включая экономическую и технологическую обоснованность данной позиции;

- принятие нормативно-правовой базы и комплекса мер государственной поддержки для сельхозмашиностроительных предприятий, выпускающих технику, включенную в СМТ.

На основании изложенного можно сделать следующие предложения:

- разработать СМТ, как постоянно актуализируемый источник научно-обоснованных требований, предъявляемым государствами к показателям назначения машин и научной основой для принятия стандарта, аналогичного техническим регламентам, как, например, стандарт одобрения типа машин в автомобильной промышленности.

- признать СМТ информационно-нормативным документом, представляющий интересы потребителей и сельхозмашиностроителей в Союзном государстве.

В настоящее время по инициативе Министерства промышленности и торговли Российской Федерации проведён конкурс и финансируется актуализация системы машин и работу с 2025 года уже ведёт ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Всероссийский институт механизации).

Также со стороны Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) запланировано проведение международной научно-практической конференции по теме «Машинно-технологическое обеспечение сельского хозяйства государств - членов Евразийского экономического Союза» (далее - ЕАЭС, Союз), в рамках которой планируется обсудить состояние и направления развития отрасли сельхозмашиностроения стран ЕАЭС, современные и перспективные машины и технологии производства сельскохозяйственных культур, действующие в Союзе государственные программы поддержки развития отрасли, а также существующие проблемы машинно-технологического обеспечения и подготовки кадров для сельского хозяйства.

Список использованных источников

1. Конструкция, основы теории и расчет тракторов [Учебник для техникумов по специальности 0534 "Тракторостроение"]. – Москва: Высш. школа, 1971. – 431 с.

2. Годжаев З. А., Лавров В. А. Горгодзе А. Р. Система машин как главный аспект сельхозмашиностроения Союзного государства. Сборник «Механизация и электрификация сельского хозяйства» (РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства») №57, с.254, – Минск, РУП «Издательский дом «Беларуская навука», 2024.

3. Доклад ФГУП «Северо-Кавказская МИС». - г. Минеральные Воды, 2024.

УДК 621.431.7

Тарасенко В.Е., кандидат технических наук, доцент;

Мухля О.О., аспирант

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВНЫХ ИНЖЕКТОРОВ

Аннотация. Исследованы возможности компьютерной томографии при оценке состояния ответственных поверхностей современных топливных инжекторов. Экспериментально установлены факторы и их составляющие, оказывающие решающее значение на процесс получения снимков требуемого качества. Выполнен анализ физических и методических причин невозможности точного определения линейных размеров рассматриваемых компонентов топливной аппаратуры, приведены рекомендации по корректировке методики измерений.

Abstract. The potential of computed tomography for assessing the condition of critical surfaces of modern fuel injectors was investigated. Factors and their components that are crucial for obtaining images of the required quality were experimentally identified. An analysis of the physical and methodological reasons for the impossibility of accurately determining the linear dimensions of the fuel system components under consideration was performed, and recommendations for adjusting the measurement methodology were provided.

Ключевые слова. Инжектор, износ, томограф, контроль, размер, излучение, сканирование, измерение.

Keywords. Injector, wear, tomograph, control, size, radiation, scanning, measurement.

Оценка фактического состояния ответственных поверхностей прецизионных пар топливной аппаратуры является сложной инженерной задачей. Зазор между иглой и направляющей поверхностью корпуса распылителя составляет 0,002-0,004 мм (2-4 мкм). Производственные допуски при этом равны 0,001 мм (1 мкм). К примеру, человеческий волос в 30 раз толще (0,06 мм) [1]. Внутренние полости топливной форсунки имеют сложную геометрию [1-6]. Сопловые отверстия в распылителе выполняются в процессе электроэрозионной обработки. Этот процесс эродирует (выплавляет) металл путем испарения, вызванного высокой температурой, создаваемой искровым разрядом между электродом и рабочим материалом. Исключительно точные сопловые отверстия диаметром 0,12 мм могут быть

выполнены с использованием высокоточных электродов и точно подобранных режимных параметров. Это означает, что наименьший диаметр соплового отверстия только в два раза толще человеческого волоса [1].

Обеспечение минимальных допусков требует использования специального высокоточного измерительного оборудования, как например: оптический 3D-координатный измерительный станок для измерения сопловых отверстий; лазерные интерферометры для проверки гладкости уплотнительных поверхностей распылителя.

Известные методы (проверка на стенде, метод оценки обратного слива инжектора) позволяют в целом оценить работоспособность, но не дают информации о характере и величине износа наиболее ответственных поверхностей. Существуют данные [7], согласно которым компьютерная томография (КТ) позволяет обнаруживать и измерять трехмерные микроскопические низкоконтрастные дефекты: трещины, поры и раковины, контролировать геометрические параметры изделий, такие как линейные и угловые размеры, а также проводить полный анализ отклонений формы от эталонной модели. Поэтому компьютерная томография рассматривается как перспективный метод неразрушающего контроля, однако ее реальные метрологические возможности при работе с объектами топливной аппаратуры требуют тщательной проверки.

Целью данной работы, выполненной в лаборатории неразрушающего контроля ЦИСЛ ОМСИ ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод», являлась экспериментальная оценка возможности применения промышленного томографа v/tome/x c450 для определения линейных размеров и степени износа ответственных поверхностей элементов инжекторов Common Rail.

В качестве объекта исследования выступил современный инжектор Common Rail, а именно Delphi DFI21 (42060314) серии F3P (рисунок 1), имеющий признаки эксплуатационного износа ответственных поверхностей. Основным интерес представляли величина зазора в прецизионной паре «игла-корпус», геометрия и состояние кромок сопловых отверстий; наличие микротрещин и зон кавитационной эрозии.



Рисунок 1 – Современный инжектор Delphi DFI21 (42060314) серии F3P с покрытием DLC

Для выполнения работ использовался промышленный компьютерный томограф v/tome/x c450 (рисунок 2) производства General Electric (GE) Sensing & Inspection Technologies (Phoenix X-ray).



Рисунок 2 – Промышленный компьютерный томограф v/tome/x c450 (измерительный комплекс)

Рассматриваемый измерительный комплекс оснащен микрофокусной рентгеновской трубкой, позволяющей получать изображения с высоким разрешением; оборудован вращающимся манипулятором для съемки объекта под разными углами с последующей 3D-реконструкцией. А также позволяет работать с объектами из плотных материалов (сталь) благодаря высокой проникающей способности (максимальное напряжение 450 кВ).

Сканирование, настройка оборудования и обработка полученных данных выполнялись при участии опытных инженеров-исследователей лаборатории неразрушающего контроля.

В ходе сканирования топливной форсунки Delphi DFI21 осуществили изменение ряда ключевых параметров комплекса, а именно:

- напряжение на трубке (для оптимизации проникающей способности);
- ток трубки и время экспозиции (для улучшения контраста и отношения сигнал/шум);
- количество проекций при томографической съемке (для повышения детализации 3D-модели);
- применение фильтров для подавления рассеянного излучения.

Несмотря на использование оборудования высокого класса и варьирование режимов съемки, получить снимки (а также построенные на их основе 3D-модели) с качеством, достаточным для точных линейных измерений микронных зазоров (следов изнашивания), на данном этапе исследований не удалось.

Установлены и приведены на рисунке 3 основные факторы и их составляющие, зафиксированные в ходе эксперимента и усложняющие процесс получения снимков требуемого качества. Итоговая сводная рентгенограмма инжектора DELPHI F3E представлена на рисунке 4.

1. НЕДОСТАТОЧНАЯ ЧЕТКОСТЬ ГРАНИЦ

• На полученных томографических срезах граница между иглой и корпусом распылителя оказалась «размытой». Переход от металла к воздушному зазору занимал несколько пикселей, что делает невозможным определение истинной величины зазора с погрешностью менее 5-10 мкм. Для прецизионных пар такая погрешность является недопустимой.

2. ПОТЕРЯ КОНТРАСТА НА ТОНКИХ ЭЛЕМЕНТАХ

• Кромки распыливающих отверстий (особенно со стороны внутренней полости) на снимках визуализировались нечетко, что не позволяет оценить их износ или геометрическую форму с требуемой точностью.

3. АРТЕФАКТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ

• При построении 3D-моделей наблюдались характерные артефакты (полосы, затемнения), связанные с высокой плотностью материала и сложной формой объекта, что дополнительно снижало точность потенциальных измерений.

Рисунок 3 – Основные факторы, зафиксированные в ходе эксперимента и оказывающие решающее значение на процесс получения снимков требуемого качества

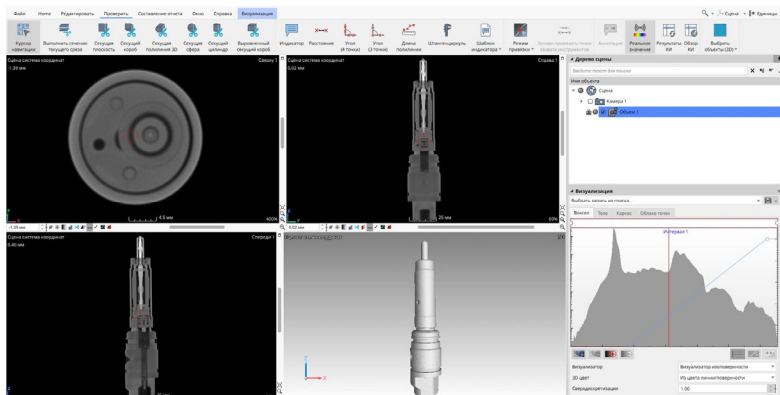


Рисунок 4 – Сводная рентгенограмма инжектора DELPHI F3E

Полученный результат, заключающийся в невозможности точного определения линейных размеров (следов изнашивания), имеет под собой объективные физические и методические причины, которые сформулированы далее.

Физическое ограничение. Разрешающая способность даже микрофокусного томографа имеет предел. При просвечивании массивной стальной детали (распылитель) контрастность на границе раздела «сталь-воздух» в микронном зазоре падает из-за накопления статистических шумов и рассеянного излучения. Эффективный размер вокселя (3D-пикселя) оказывается сопоставимым с измеряемым зазором.

Геометрия объекта. Зазор в прецизионной паре – это не просто щель, а сложная криволинейная поверхность. Для его точного измерения необходимо,

чтобы плоскость виртуального среза была строго перпендикулярна стенкам зазора. Малейшее отклонение при построении виртуального сечения вносит погрешность, сопоставимую с измеряемой величиной.

Критерии оценки. Изначально поставленная задача (определить линейные размеры и степень износа) подразумевала количественную метрологию. Полученные данные позволили провести лишь качественный анализ (визуально оценить наличие крупных дефектов), но не дали необходимой точности для цифровых значений износа.

Несмотря на невозможность решения основной метрологической задачи, выполненную исследовательскую работу и ее результаты следует считать промежуточными. В ходе исследования был получен ценный опыт:

- отработаны режимы сканирования для данного класса деталей;
- выявлены границы применимости метода томографии для прецизионных пар;
- получены качественные изображения, позволяющие выявлять крупные дефекты (трещины, сколы, зоны сильной коррозии), что само по себе полезно для дефектоскопии.

Выполненные этапы исследования показали, что промышленный компьютерный томограф v/tome/x c450 при всех его достоинствах не позволяет с требуемой точностью определять линейные размеры и степень износа прецизионных пар топливных инжекторов Common Rail. Погрешность метода оказывается сопоставимой с измеряемыми величинами (единицы микрон). Рентгеновская томография на данном оборудовании эффективна для задач качественного контроля – поиска грубых дефектов, анализа внутренней структуры, выявления посторонних включений. Для задач количественной метрологии микронных зазоров необходимы либо специализированные методики (например, синхротронное излучение), либо комбинация методов (томография для поиска зоны интереса в сочетании с металлографией с разрушением для точных замеров). Полученный опыт позволяет более точно формулировать технические задания на диагностику и углубленное понимание границ применимости имеющегося оборудования. Полученные данные будут в дальнейшем использованы при разработке внутренних методик контроля и при выборе методов исследования для различных классов деталей.

В ходе выполнения исследовательской работы была предпринята попытка оценить состояние инжекторов Common Rail методом промышленной компьютерной томографии на оборудовании v/tome/x c450. Задача определения линейных размеров и степени износа с требуемой точностью не была решена в силу объективных физических ограничений метода при работе с микронными зазорами в массивных стальных деталях.

Экспериментальная оценка подтвердила важность критической оценки возможностей любого диагностического метода. Полученный результат является вкладом в область инженерных знаний лаборатории и позволяет

избежать неверных интерпретаций в будущих исследованиях. Дальнейшие работы в этом направлении будут сосредоточены на поиске методов с более высоким разрешением, а также на разработке косвенных методик оценки изнашивания ответственных поверхностей, верифицированных с помощью томографии.

Список использованной литературы

1. Дизельные аккумуляторные топливные системы Common Rail. Перевод с английского. Учебное пособие. – М.: ЗАО «Легион-Автодата», 2010. – 94 с.
2. Huber, B. Simulation and validation of a common rail diesel injector / B. Huber, H. Ulrich // Technical University of Munich. – URL: <https://portal.fis.tum.de/en/publications/simulation-and-validation-of-a-common-rail-diesel-injector> (дата доступа: 17.03.2026).
3. Stoeck, T. Method for testing modern common rail piezoelectric fuel injectors / T. Stoeck // Combustion Engines. – 2021. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Method-for-testing-modern-common-rail-piezoelectric-Stoeck/240f63f98a69e7933d5ead3d572d97ca02f82edb> (дата доступа: 17.03.2026).
4. Osipowicz, T. The analysis of technical condition common rail fuel system components / T. Osipowicz, K.F. Abramek, Z. Matuszak [et al] // 2018 XI International Science-Technical Conference Automotive Safety. – 2018. – P. 1-8.
5. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
6. Якубович, А.И. Экономия топлива на тракторах: монография / А.И. Якубович, Г.М. Кухаренок, В.Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.
7. Ритм машиностроения. применение компьютерной томографии в промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ritm-magazine.com/ru/public/primenenie-kompyuternoy-tomografii-v-promyshlennosti>. – Дата доступа: 31.03.2026.

Summary. During the research, an attempt was made to assess the condition of Common Rail injectors using industrial computed tomography on a v/tome/x c450. The task of determining linear dimensions and wear with the required accuracy was not solved due to the objective physical limitations of the method when working with micron-sized gaps in massive steel components.

УДК 631.173.2:656.13.065

Тарасенко В.Е., кандидат технических наук, доцент,

Баргашевич А.Л., аспирант

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ СРЕДСТВ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ СЕРВИСНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Аннотация. Представлен краткий анализ современных средств удаленного мониторинга и управления сервисным обслуживанием ряда ведущих

производителей мобильных машин. Описаны особенности статистической обработки информации в рамках необходимых аспектов и прогнозирования результатов работ техники «BELARUS» на более длительные периоды посредством «Автоматизированной системы управления сервисным обслуживанием». Сформулированы некоторые предложения о расширении функций автоматизированной системы управления.

Abstract. This article presents a brief analysis of modern remote monitoring and service management tools for several leading mobile equipment manufacturers. It describes the statistical processing of information within the required parameters and the forecasting of Belarus equipment performance over longer periods using the "Automated Service Management System." Several proposals for expanding the functionality of the automated management system are also presented.

Ключевые слова. Машина, сервис, мониторинг, контроль, система, состояние, центр, отказ.

Keywords. Machine, service, monitoring, control, system, condition, center, failure.

В самой энергоемкой отрасли сельскохозяйственного производства, а именно в растениеводстве, основным мобильным энергетическим средством выступает трактор и самоходные сельскохозяйственные машины [1]. Современные сложные мобильные машины требуют высокой культуры эксплуатации. Залогом безотказной работы высокотехнологичных систем является своевременное выполнение технических обслуживаний, регулировок, использование оригинальных запасных частей, эксплуатационных жидкостей. Прецизионные узлы требуют чистых рабочих жидкостей, электронное оборудование не допускает некомпетентного вмешательства и игнорирования предупредительных сигналов [2]. Наряду с постоянным совершенствованием и усложнением конструкций тракторной техники, технологий ее производства, необходим новый подход к методам эксплуатации выпускаемой продукции, ее техническому обслуживанию и ремонту. В связи с этим большое значение имеет развитие современных средств удаленного мониторинга технического состояния мобильных машин.

Эффективная работа мобильных машин в значительной степени определяется техническим состоянием двигателя внутреннего сгорания (ДВС), как правило – дизельного, на долю которого приходится по отдельным типам машин до 50% основных неисправностей и отказов, а трудоемкость их устранения может достигать 40% общего времени устранения отказов и неисправностей машин. В самом двигателе наименее надежными являются: системы топливоподачи – до 45% отказов; цилиндропоршневая группа (ЦПГ) – до 20%; охлаждения и смазывания – до 10%; газораспределительный механизм – до 15% [3]. Мощность двигателей имеет тенденцию увеличения от 200 кВт тракторов класса 5 – 6 до 400 кВт и выше – класса 6 – 7 [1].

Анализ современных средств удаленного мониторинга ведущих производителей сельскохозяйственной техники позволил установить следующий перечень программ сервисного сопровождения машин:

- программы удаленного мониторинга John Deere представлены платформой John Deere Operations Center и связанными с ней мобильными приложениями, такими как Operations Center Mobile и Operations Center for Construction;

- программа удаленного мониторинга Fendt – система телематики Fendt Connect;

- программа удаленного мониторинга «Кировец» – система телематики «Кировец-Агромонитор»;

- программа удаленного мониторинга «Ростсельмаш» - система Agrotronic;

- программа удаленного мониторинга Massey Ferguson – это система телеметрии и мобильное приложение Massey Ferguson Connect;

- программы дистанционного мониторинга CAT включают в себя мобильные приложения, такие как Cat® App и Cat® Remote Asset Monitor;

- программы дистанционного мониторинга Kubota включают в себя myKubota (для просмотра состояния оборудования, местоположения и обслуживания), K-iAgri (для аграрной техники) и KUBOTA Intelligence Solutions (KIS) (объединение телематики с возможностью аналитики) и др.

Основные параметры всех перечисленных выше программ позволяют отслеживать оперативные данные машины (расход топлива, местоположение, коды ошибок) через веб-платформу и мобильное приложение.

Широко известен программно-методический комплекс TRIM-PMS (Planned Maintenance System), разработанный НПП СпецТек и впервые предложенный заказчикам в 2005 году [4]. Данный комплекс – это готовая платформа с фиксированной функциональностью, программное обеспечение для организации и автоматизации управления техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) [4, 5]. Включает программное обеспечение TRIM, регламент использования TRIM при планировании, проведении ТОиР и анализе эффективности системы ТОиР, набор показателей KPI, измеряемых в результате выполнения регламента, набор стандартных форм (документов), используемых при проведении ТОиР и другие элементы. Такая конфигурация позволяет применять типовую методику внедрения, выполнять проекты в короткий срок и использовать типовый регламент эксплуатации информационной системы ТОиР.

Комплекс TRIM-PMS охватывает всю деятельность персонала ремонтной службы предприятия. В ней можно регистрировать первичные данные по оборудованию (паспортизация), вести нормативы на ТОиР,

создавать каталоги запчастей, формировать план-графики ремонтов и обслуживания, создавать заявки на закупку запчастей, отчитываться о выполнении работ [4]. Особо ценной функцией, позволяющей контролировать показатели эксплуатационной надежности парка машин предприятия, является возможность регистрации дефектов и отказов.

В ОАО «Минский тракторный завод» вопросами технического сервиса тракторной техники занимается управление сервиса и технической экспертизы (УСиТЭ), которое является внутривидовым подразделением маркетинг-центра (МКЦ) завода. Информация о качестве и надежности тракторной техники в эксплуатации поступает в УСиТЭ, где организован также надлежащий учет поступивших обращений потребителей и документации в целом.

Посредством контент-анализа законодательных и нормативных документов (требований) стран поставки продукции УСиТЭ проводит выработку обязательных требований к техническим (дилерским) центрам (ТЦ), оказывающим услуги по техническому сервису техники, а также выявляет соответствие этих требований фактическим результатам работ ТЦ и ОАО «МТЗ» по обеспечению технического сервиса техники.

В ОАО «Минский тракторный завод» информация о состоянии тракторной техники вносится в «Автоматизированную систему управления сервисным обслуживанием техники «BELARUS», задачами которой являются развитие функционала по управлению сервисным обслуживанием техники, улучшение качества и оперативности гарантийного и послегарантийного обслуживания за счет увеличения скорости обмена данными, исключение дублирования информации, получение от субъектов товаропроводящей сети ОАО «МТЗ» полной и достоверной информации о дефектах и отказах мобильных машин.

Сбор фактической информации проводят ТЦ при выездах их специалистов в места эксплуатации техники. Информацию документируют в актах-рекламациях (рекламационных актах) и вносят в «Автоматизированную систему управления сервисным обслуживанием техники «BELARUS» (согласно условиям заключенных договоров). Образец акта-рекламации с указанием неисправности изделия представлен на рисунке 1.

Посредством применения «Автоматизированной системы управления сервисным обслуживанием техники «BELARUS» проводится статистическая обработка информации для ее обобщения в рамках необходимых аспектов и прогнозирование результатов работ на более длительные периоды.

		Приложение 2 к Положению о гарантийном сроке эксплуатации сложной техники и оборудования	
АКТ-РЕКЛАМАЦИЯ			
Место составления акта		ООО "ТОРГОВЫЙ ДОМ МТЗ-СЕВЕРО-ЗАПАД"	
(наименование субъекта хозяйствования,			
Вологодская обл Череповец р-н п Тошчалово ул Мелнираторов 1А			
его почтовый адрес)			
Дата	04.09.2020		
Составлен измисней в составе:			
Представителя приобретателя		(должность, фамилия, имя, отчество)	
Представителя изготовителя,			
продавца(поставщика)		(должность, фамилия, имя, отчество)	
Представителя государственного			
технического надзора		(наименование органа, должность, фамилия, имя, отчество)	
на изделие	1025.3	(полное наименование, тип, марка)	
Заводской номер изделия	Y4R102502L1100119		
Предприятие-изготовитель		ОАО "МТЗ"	
Дата выпуска		, дата приобретения	
Дата ввода в эксплуатацию	28.08.2020		
Дата вывода из строя	02.09.2020		
Изделие проработало со времени	2		
ввода в эксплуатацию		(месяцев, дней, часов, километров пробега и т.д.)	
1. Вид и условия работы			
2. Неисправность изделия	1/ 1.1 Течь турбокомпрессора ТКР-6.00.01 зав. № 000025, , , 000025, 1 ШТГ..		
выразилась			
3. Виновная сторона			
4. В изделии следует заменить, отремонтировать следующее			

Рисунок 1 – Образец акта-рекламации с указанием неисправности изделия

На основании собранной информации УСитЭ проводит сопоставление полученных фактических значений оцениваемых аспектов (критериев) деятельности с требованиями рынка, учитывая степень их корреляции с потребительскими качествами. По результатам работ делается заключение о соответствии/несоответствии, разрабатываются и внедряются мероприятия по повышению потребительских свойств и показателей надежности.

Информация в «Автоматизированной системе управления сервисным обслуживанием техники «BELARUS», проверенная УСитЭ, является поставщиком оперативной и объективной информации для детального анализа элементов надежности техники конструкторскими подразделениями ОАО «МТЗ». Так, при получении сообщений об отказах 3-ей группы сложности УСитЭ выезжает в места эксплуатации техники и проводит проверку правильности ее эксплуатации. При этом УСитЭ запрашивает информацию о правильности эксплуатации техники и (или) проверяет условия и порядок эксплуатации при проведении технической экспертизы продукции по результатам рассмотрения актов-рекламаций на продукцию при необходимости.

Проверку технического состояния техники и осуществление сервисных работ проводят ТЦ с оформлением «Акта осмотра» согласно условиям заключаемых договоров.

Факты нарушения потребителями правил эксплуатации и технического обслуживания техники выявляются и при проверках техники органами Технадзора (при обращениях потребителей).

Указанная информация вносится в «Автоматизированную систему управления сервисным обслуживанием техники «BELARUS».

Следует рекомендовать в ближайшей перспективе дополнить функции автоматизированной системы управления возможностью учета более углубленной информации о составляющих (топливный насос высокого давления, генератор и др.) базовых узлов и агрегатов (двигатель, мост и др.) техники «BELARUS» (рисунок 2).

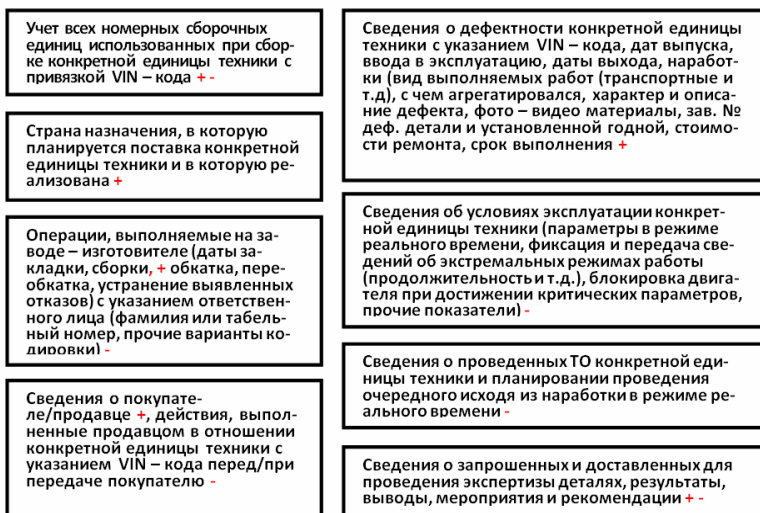


Рисунок 2 – Дополнительные сведения, необходимые к учету

Дальнейшее успешное развитие автоматизированной системы управления с учетом предложенного перечня дополнительных сведений связано с решением ряда задач:

- формирование детального описания последовательности действий при выполнении сервисного обслуживания;
- формирование точного и понятного описания последовательности действий по работе с документами, расчёта и получения отчётов;
- строгое определение очередности подключения организаций, осуществляющих обслуживание техники «BELARUS» в гарантийный период;
- активное участие в опытной эксплуатации всех участников бизнес-процесса;
- четкое определение границы системы набором наиболее эффективных функций;
- сокращение времени на принятие решения по восстановлению техники и увеличение оперативности реагирования сервисной службы.

Следует отметить, что в случае возникновения отказа у производителя появляется возможность сопоставить и провести анализ причин либо последствий его появления на основании эксплуатационных данных, получаемых в режиме реального времени. Это позволит избежать повторного возникновения отказов, сокращения их последствий, а также минимизировать потери эксплуатирующей организации.

Список использованной литературы

1. Ольшевский, С.Н. Научное обоснование и разработка методов, технологии и средств диагностирования тракторных двигателей в эксплуатационных условиях. Дис. ... докт. тех. наук: 05.20.03. Новосибирск, 2017.
2. Щерба, А.В. Тенденции развития сервиса тракторной техники «Беларус» / А.В. Щерба, Л.В. Барташевич, А.Л. Барташевич // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. "Белагро-2018", Минск, 7-8 июня 2018 г. – Минск : БГАТУ, 2018. – С. 53-59.
3. Чичиланов, И.И. Совершенствование методики и средств диагностирования дизельных двигателей. Дис. ... канд. тех. наук: 05.20.03. Зерноград, 2016.
4. Автоматизированная система управления техническим обслуживанием и ремонтом на основе программного обеспечения TRIM. TRIM-Planned Maintenance System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://remservisnt.ru/assets/files/trim-pms.pdf>. – Дата доступа: 29.04.2026.
5. TADVISER. Государство. Бизнес. Технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:TRIM-PMS_%28Planned_Maintenance_System%29. – Дата доступа: 29.04.2026.

Summary. An analysis of remote monitoring and service management tools for several tractor equipment manufacturers was conducted. The specifics of data processing and service support for BELARUS equipment using the "Automated Service Management System" were identified. Proposals for expanding the system's functionality are presented.

УДК 631.3.02:621.78

Анискович Г.И., кандидат технических наук, доцент;

Шевчук М.А., ассистент

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАКАЛКИ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Аннотация. В статье рассмотрены перспективы применения импульсной закалки в сочетании со способами локального нанесения износостойких материалов при упрочнении деталей сельскохозяйственных машин, работающих в

условиях интенсивного абразивного изнашивания с ударными нагрузками. Приведены примеры практического использования данного подхода при упрочнении ножей кормоуборочных комбайнов, копачей свеклоуборочных машин, дисков сошников сеялок и ножей глубокорыхлителей.

Abstract. The article discusses the prospects of using pulse hardening in combination with methods of local application of wear-resistant materials for strengthening parts of agricultural machines operating under conditions of intense abrasive wear with impact loads. Examples of the practical use of this approach are given for strengthening the knives of forage harvesters, diggers of beet harvesters, discs of seeder coulters, and subsoiler blades.

Ключевые слова. Комбинированное упрочнение, импульсная закалка, наплавка, износ, ударная вязкость, твердость, ресурс.

Keywords. Combined hardening, pulse hardening, surfacing, wear, impact toughness, hardness, service life.

Технология импульсной закалки представляет собой метод термической обработки, при котором нагретая до температуры закалки деталь подвергается интенсивному воздействию потока охлаждающей среды, обеспечивающего сверхвысокую скорость теплоотвода [1].

Реализация таких условий охлаждения приводит к формированию в упрочнённой детали ультрамелкозернистой, а в определенных условиях нанокристаллической структуры. Получение такого структурного строения обеспечивает деталям высокую прочность и твёрдость, а также требуемый уровень ударной вязкости [1, 2].

Технология получила широкое применение на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения и агросервисов республики при упрочнении дисков и башмаков роторных косилок, дисков дискаторов, сошников сеялок, долот и лемехов плугов [3,4].

Перспективным направлением развития технологии импульсной закалки является ее применение в сочетании со способами локального нанесения износостойких материалов для упрочнения деталей рабочих органов машин, работающих в тяжелых условиях абразивного изнашивания. К режущей части таких деталей предъявляется принципиально важное требование – сохранение острой рабочей кромки в течение всего срока службы, что достигается за счёт реализации эффекта самозатачивания [5,6]. Сущность данного эффекта заключается в неравномерном износе материала: менее упрочнённые участки изнашиваются интенсивнее, тогда как зоны с повышенной твердостью сохраняют свою форму, обеспечивая постоянное восстановление остроты режущей кромки.

При комбинированном упрочнении на основе импульсной закалки локальное нанесение износостойких материалов предполагается осуществлять способами лазерной и электродуговой наплавки, электроискрового легирования, наплавки намораживанием. Применением

импульсной закали деталиам за счет формирования диссипативной мартенситной структуры придается повышенная прочность и твердость, способствующих восприятию динамических и ударных нагрузок без разрушения. Локальное нанесение износостойких материалов в зоне режущей кромки формирует участки с повышенной износостойкостью, что способствует поддержанию эффекта самозатачивания.

Технология комбинированного упрочнения была апробирована при изготовлении опытных образцов ножей измельчающего аппарата кормоуборочных комбайнов, копачей свеклоуборочных машин, дисков сошников, лап глубокорыхлителей.

При комбинированном упрочнении ножей измельчающего аппарата кормоуборочных комбайнов (рис. 1), изготовленных из стали 60ПП, первоначально осуществлялась их импульсная закалка с последующим низким отпуском. После чего выполнялась лазерная наплавка режущей кромки порошковой смесью ПС-12НВК. Толщина наплавленного слоя составляла 0,8–1,0 мм. После импульсной закали обеспечивалась Твердость основного металла упрочненного ножа составляла 55 – 60 HRC, при твердости наплавленного слоя 62 – 66 HRC.

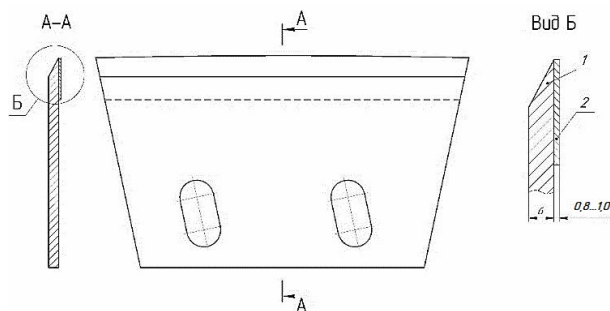


Рисунок 1 – Упрочненный нож измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна:
1 – нож; 2 – износостойкий слой

Копачи свеклоуборочных комбайнов (рисунок 2) изготавливались из стали 30ХГСА. Их упрочнение осуществлялось последовательным выполнением операций электродуговой наплавки и импульсной закали.

Нижняя торцевая и лезвийная поверхность копача наплавлились электродом Т-590. Толщина наплавленного износостойкого слоя составляла – $2,5 \pm 0,5$ мм. В последующем производилась импульсная закалка копачей в закалочном устройстве с охлаждением потоком жидкости и низкий отпуск. Твердость поверхности копача после закали и отпуска находилась в пределах 50 – 52 HRC. Твердость наплавленного слоя – 56 – 60 HRC.

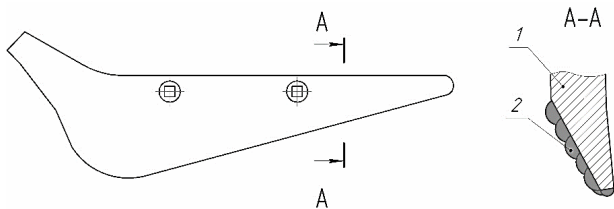


Рисунок 2 – Упрочненный комбинированным способом
опач свеклоуборочного комбайна: 1 – копач; 2 – износостойкий слой

Для дисков сошников (рисунок 3) применялась технология комбинированного упрочнения, включающая импульсную закалку, низкий отпуск и последующее электроискровое легирование режущей кромки электродом ВК8. Толщина упрочненного слоя, формируемого в процессе электроискрового легирования, составляла 0,4 – 0,5 мм.

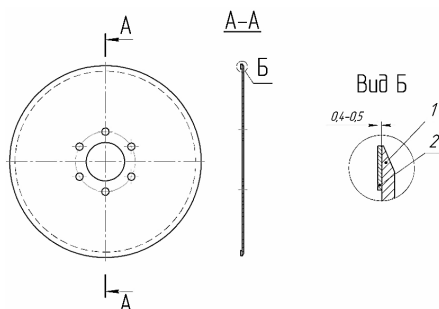


Рисунок 3 – Упрочненный комбинированным способом диск сошника
1 – диск сошника; 2 – износостойкий слой

Твердость основного металла диска (сталь 45) после комбинированного упрочнения составляла 48 – 50 HRC. Твердость износостойкого слоя находилась в пределах 56 – 60 HRC.

Комбинированное упрочнение деталей, изготовленных из стали 45, рабочих органов глубокихрыхлителей осуществлялось по следующей схеме. На первом этапе рабочая часть центральных ножей (рисунок 4) наплавлялась диффузионным намораживанием износостойкого сплава С27, а режущая кромка боковых ножей – электродуговой наплавкой электродом Т-590. При наплавке обеспечивалась толщина износостойкого слоя $2,5 \pm 0,5$ мм. После наплавки детали подвергались импульсной закалке и низкому отпуску. Износостойкий слой упрочненных деталей имел твердость – центрального – 61– 64 HRC, боковых 57 – 60 HRC.

Результаты выполненных работ по комбинированному упрочнению деталей сельскохозяйственных машин показали, что при эксплуатации упрочненных по данной технологии деталей может быть реализован

эффект их самозатачивания, подтверждение чего должно быть осуществлено эксплуатационными испытаниями.

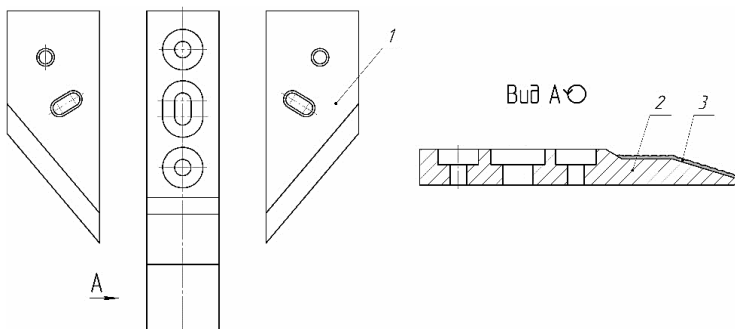


Рисунок 4 – Упрочненный комбинированным способом нож глубокорыхлителя
1 – боковой нож; 2 – центральный нож; 3 – износостойкий слой

Дальнейшие исследования комбинированной технологии целесообразно направить на исследование оптимальных параметров импульсной закалки и применяемых способов локального нанесения износостойких материалов и их влиянию на формирование свойств упрочненных деталей с учётом условий их эксплуатации.

Список использованной литературы

1. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин/И. Н. Шило [и др.] – Минск: БГАТУ, 2010. – 320с.
2. Бетень, Г.Ф. Анискович, Г.И. Модификация структуры и механических свойств стали пониженной прокаливаемости при импульсном закалочном охлаждении жидкостью. / MOTOROL/ – Lublin-Pszow, 2013, vol.15, №7 – С. 80–86.
3. Бетень, Г.Ф. Опыт упрочнения деталей из сталей пониженной прокаливаемости импульсным закалочным охлаждением жидкостью/ Г.Ф.Бетень, Г.И. Анискович // Вестник БарГУ/ – 2013, вып. 1 – С. 152–159.
4. Инновационные технологии упрочнения деталей сельскохозяйственной техники / Н.В. Казаровец, Г.Ф. Бетень, Г.И. Анискович, А.И. Гордиенко, В.С. Голубев, А.Н. Давидович//Сборник докладов 12 МНТК 10–12 сентября 2012 г., Углич. – М.: Известия, 2012. – С. 219–228.
5. Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин на основе совершенствования наплавочных технологий / Н. М. Ожегов, В. А. Ружьев, Д. А. Капошко [и др.] // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 121. – С. 273-281. – EDN VKBUXJ.
6. Soska R., Cico P., Mikus R. Working Life of Ploughshare Renovated by Hard Facing // MendelNet 2016. – 2016. – P. 928–932.

Summary. The article examines the prospects of applying pulse hardening in the technology of combined strengthening of agricultural machine components operating under conditions of intensive impact-abrasive wear, and presents examples of its practical implementation along with an assessment of directions for further research.

Анискович Г.И., кандидат технических наук, доцент;

Шевчук М.А., ассистент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИХ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАКАЛКЕ

Аннотация. В работе представлена математическая модель охлаждения стальных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин, представленной в упрощенном виде прямоугольным параллелепипедом, в процессе импульсной закалки. Модель учитывает температурную зависимость теплофизических свойств материала, фазовые превращения с выделением скрытой теплоты, а также нелинейный радиационно-конвективный теплообмен на поверхности детали и изменение параметров потока охлаждающей среды вдоль поверхности изделия.

Abstract. The paper presents a mathematical model of the cooling process of steel parts of tillage machine working bodies, represented in a simplified form as a rectangular parallelepiped, during impulse quenching. The model takes into account the temperature dependence of the thermophysical properties of the material, phase transformations accompanied by latent heat release, as well as nonlinear radiative-convective heat transfer at the surface of the part and variations in the parameters of the cooling medium flow along the surface of the product.

Ключевые слова: закалка, детали, охлаждение, математическая модель, теплопроводность, нестационарный процесс, теплообмен, фазовые превращения, поток воды.

Keywords: quenching, parts, cooling, mathematical model, thermal conductivity, unsteady process, heat transfer, phase transformations, water flow.

В настоящее время для упрочнения сменных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин нашел распространение способ импульсной закалки [1-5]. Отличительной особенностью импульсной закалки от традиционной является увеличение на порядок интенсивности охлаждения за счет подачи на изделие определенным образом организованных потоков воды. При этом обеспечиваются скорости охлаждения близкие к предельно возможным теоретическим, когда температура поверхности мгновенно становится равной температуре окружающей среды.

Высокоинтенсивное охлаждение обеспечивает получение в материале деталей, благодаря быстрому прохождению температурного интервала фазового превращения, мелкокодисперсных структур, наличие которых приводит к повышению конструкционной прочности закаленных стальных изделий [10-12]. При мартенситном превращении в процессе импульсной закалки в результате интенсивного водяного охлаждения со

скоростями закалки выше 10 000 град/с, происходит формирование разориентированных микрообластей – фрагментов игл мартенсита размерами 0,1 – 0,4 мкм (100 – 400 нм) [1-5].

В этой связи большой научный и практический интерес представляет возможность управления процессом охлаждения стальных изделий и формированием сверхмелкозернистой мартенситной структуры при импульсной закалке потоком воды, эффективность которой определяется параметрами теплообмена и гидродинамическими факторами. Прогнозирование скорости охлаждения и температурных полей может осуществляться с использованием математической модели, в которой деталь в упрощенном виде рассматривается как прямоугольный параллелепипед.

Существующие подходы к моделированию процессов охлаждения в основном основаны на упрощенных предположениях: постоянстве теплофизических свойств, линейном характере теплообмена и использовании усредненных коэффициентов теплоотдачи [6,7]. Кроме того, часто применяется одномерная постановка задачи, не учитывающая геометрию деталей и пространственное распределение температур.

Такие модели не позволяют адекватно описывать процессы закалки сменных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин, для которых характерны высокие температурные градиенты, нелинейность теплофизических свойств, фазовые превращения, неравномерность теплообмена и изменение параметров потока охлаждающей среды.

В связи с этим возникает необходимость разработки более совершенной математической модели, учитывающей указанные факторы и позволяющей описывать процесс охлаждения как связанную нелинейную задачу.

Целью работы является разработка математической модели охлаждения деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин при закалке нестационарным потоком воды с учетом комплекса физических процессов, определяющих интенсивность теплообмена и распределение температур в объеме детали.

Рассматривается процесс охлаждения стальной детали, нагретой до температуры закалки, помещенной в поток воды. Для математического описания объект аппроксимируется в виде прямоугольного параллелепипеда с характерными размерами $L \times a \times b$ (рисунок 1), что позволяет сохранить геометрическую определенность задачи при приемлемом уровне сложности модели.

Описывается связанная система:

- теплопроводность в твердом теле (3D, нелинейная);
- гидродинамика и теплообмен в потоке жидкости;
- кинетика фазовых превращений в металле;
- термоупругие напряжения.

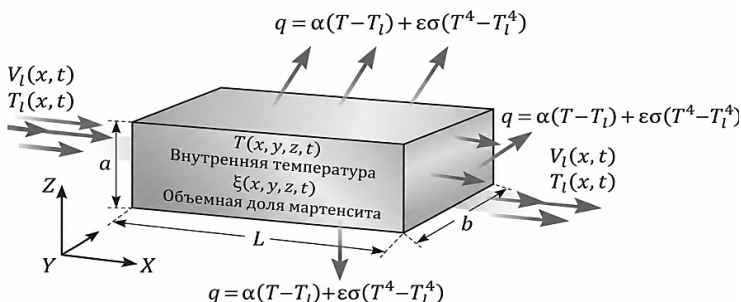


Рисунок 1 – Схема граничных условий и расчетной области для математического моделирования теплообмена

Все подсистемы взаимосвязаны через температуру, тепловые потоки и коэффициенты теплоотдачи.

Нелинейное уравнение теплопроводности в теле.

$$\rho(T)c_{\text{эф}}(T, \xi) \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla[\lambda(T)\nabla T] + Q_{\text{фаз}} \quad (1)$$

где $T(x, y, z, t)$ – температура, °C;

$\lambda(T)$ – температурезависимая теплопроводность, Вт/(м·K);

$\rho(T)$ – плотность, кг/м³;

$c_{\text{эф}}$ – эффективная теплоемкость, Дж/(кг·K);

ξ – доля новой фазы (мартенсита);

$Q_{\text{фаз}}$ – источник теплоты фазового превращения, Вт/м³.

Эффективная теплоемкость

$$c_{\text{эф}} = c(T) + L \frac{d\xi}{dT} \quad (2)$$

где L – удельная скрытая теплота превращения, Дж/кг;

$\frac{d\xi}{dT}$ – интенсивность фазового перехода, с⁻¹.

Источник теплоты фазового превращения

$$Q_{\text{фаз}} = \rho L \frac{d\xi}{dt} \quad (3)$$

Кинетика образования мартенсита при достижении температуры начала превращения M_a описывается классической эмпирической зависимостью Койстинена-Марбургера [5], учитывающей долю непревращенного аустенита:

$$\xi(T) = 1 - \exp[-k(M_a - T)], \quad T < M_a, \quad (4)$$

где M_a – температура начала мартенситного превращения, °C;

k – эмпирический коэффициент.
Скорость превращения

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{d\xi}{dT} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (5)$$

Граничные условия на охлаждаемой поверхности определяются протеканием нестационарного нелинейного теплообмена, включающего конвективную отдачу тепла потоку воды и радиационное излучение в окружающую среду. Суммарный удельный тепловой поток с поверхности заготовки описывается уравнением:

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha(x, y, z, t) \cdot (T - T_l) + \varepsilon \sigma (T^4 - T_l^4) \quad (6)$$

где $\alpha(x, y, z, t)$ – локальный коэффициент теплоотдачи;

T_l – температура охлаждающей жидкости, °C;

ε – степень черноты поверхности металла;

σ – постоянная Стефана-Больцмана;

n – нормаль к поверхности.

Для определения локальных значений коэффициента теплоотдачи α необходимо рассчитать параметры движения охлаждающей среды вдоль поверхности заготовки [6]. Математическое описание течения потока воды базируется на решении системы уравнений гидродинамики, включающей уравнение неразрывности (сохранения массы), которое в дифференциальной форме для несжимаемой жидкости имеет вид:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial(\rho F V)}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

где V – скорость потока охлаждающей жидкости, м/с;

F – вектор плотности массовых сил, м/с².

Динамика течения охлаждающей среды описывается системой уравнений Навье-Стокса в векторной форме:

$$\rho \frac{dV}{dt} = \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\tau \Pi}{F} \quad (8)$$

где t – время процесса, с;

p – гидродинамическое давление, Па;

x – продольная координата вдоль направления течения, м;

τ – касательное напряжение трения на поверхности раздела «металл–жидкость», Па;

Π – смоченный периметр потока (или ширина контакта), м;

Изменение теплосодержания потока воды вследствие конвективного теплообмена с нагретой поверхностью заготовки и внутренних источников тепла описывается уравнением энергии:

$$\rho c_l F \frac{dT_l}{dt} = \int_{\Pi} \alpha(x, y, z, t)(T_a - T_l) dS + \phi \quad (9)$$

где c_l – удельная изобарная теплоемкость жидкости, Дж/(кг·К);

T_l – среднемассовая температура охлаждающей жидкости, К;

T_a – температура поверхности детали, К;

ϕ – диссипативная функция, Вт/м.

Интеграл учитывает распределение температуры по поверхности.

Локальный коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = \frac{\lambda_l}{d_{\text{гидр}}} \cdot N_u(x, t) \quad (10)$$

где λ_l – коэффициент теплопроводности охлаждающей жидкости, Вт/(м·К);

$d_{\text{гидр}}$ – гидравлический диаметр потока (характерный линейный размер), м;

$N_u(x, t)$ – локальный критерий Нуссельта, определяющий интенсивность конвективного переноса тепла в точке с координатой x в момент времени t .

$$N_u = f(\text{Re}, \text{Pr}, x) \quad (11)$$

где Re – критерий (число) Рейнольдса, характеризующий режим движения жидкости;

Pr – критерий (число) Прандтля, отражающий теплофизические свойства жидкости (вязкость, теплопроводность, теплоемкость).

$$\text{Re} = \frac{V d_{\text{гидр}}}{\nu(T_l)} \quad (12)$$

где $\nu(T_l)$ – коэффициент кинематической вязкости жидкости, зависящий от её температуры T_l , м²/с.

Выбор конкретного вида критериальной зависимости для числа Нуссельта осуществляется с учетом характера обтекания поверхности (ламинарного или турбулентного), определяемого пороговым значением числа Рейнольдса:

$$N_u = \begin{cases} 0,664 \text{Re}^{1/2} \text{Pr}^{1/3}, & \text{Re} < \text{Re}_{cr} \\ 0,037 \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{1/3}, & \text{Re} > \text{Re}_{cr} \end{cases} \quad (13)$$

где Re_{cr} – критическое число Рейнольдса, при котором происходит переход от ламинарного режима течения к турбулентному. Обычно для плоской поверхности принимается $\text{Re}_{cr} \approx 5 \cdot 10^5$.

Напряженно-деформированное состояние заготовки, возникающее в процессе резкого охлаждения вследствие температурного градиента,

описывается уравнением равновесия и законом Гука с учетом температурной составляющей деформации:

$$\nabla \cdot \sigma = 0 \quad (14)$$

где ∇ – оператор дивергенции;

σ – тензор внутренних напряжений, Па.

Связь напряжений и деформаций

$$\sigma = D(\varepsilon - \varepsilon_T) \quad (15)$$

где ε_T – температурная деформация;

D – матрица жесткости материала, Па.

$$\varepsilon_T = \alpha_T (T - T_0) \quad (16)$$

где α_T – коэффициент линейного расширения.

Качественный эффект. Температурные градиенты $\nabla T \neq 0$ вызывают внутренние напряжения и риск трещинообразования.

Предложенная модель является полностью связанной: температурное поле T инициирует фазовые превращения ξ , которые, в свою очередь, изменяют теплофизические свойства материала $c_{эф}$ и выделяют дополнительную теплоту $Q_{фаз}$. Одновременно с этим параметры потока (V , Re) определяют интенсивность теплоотдачи α , замыкая обратную связь через граничные условия.

1. Теплопроводность:

$$T \Rightarrow \xi \Rightarrow c_{эф}, Q_{фаз},$$

2. Фазовые превращения:

$$T \Rightarrow \xi \Rightarrow \text{выделение теплоты},$$

3. Поток:

$$T \Rightarrow \alpha \Rightarrow Tl, V, Re$$

4. Обратная связь:

$$T_l, \alpha \Rightarrow \text{граничные условия} \Rightarrow T$$

5. Напряжения:

$$T \Rightarrow \nabla T \Rightarrow \sigma$$

Синтез представленных выше математических моделей позволяет сформировать полную связанную систему уравнений, описывающую тепловые, фазовые и механические процессы в системе «заготовка–поток жидкости». Распределение температурного поля в объеме детали с учетом скрытой теплоты фазовых превращений и кинетики образования мартенситной фазы описывается уравнениями:

$$\rho(T)c_{эф}(T, \xi) \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda(T) \nabla T) + \rho L \frac{d\xi}{dt} \quad (17)$$

$$\xi = f(T), \quad \frac{d\xi}{dt} = f'(T) \frac{\partial T}{\partial t} \quad (18)$$

где $\rho(T)$ – плотность стали, зависящая от температуры, кг/м³;

$c_{\text{эф}}(T, \xi)$ – эффективная удельная теплоемкость, учитывающая теплофизические свойства фаз, Дж/(кг·К);

$\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности стали, Вт/(м·К);

L – удельная теплота фазового перехода (аустенит → мартенсит), Дж/кг;

$\xi = f(T)$ – объемная доля образовавшейся фазы (мартенсита);

$\frac{d\xi}{dt}$ – скорость фазового превращения.

Параметры потока охлаждающей жидкости определяются из системы уравнений неразрывности, движения и энергии:

$$\frac{\partial(\rho F)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho F V)}{\partial x} = 0 \quad (19)$$

$$\rho \frac{dV}{dt} = \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\tau \Pi}{F} \quad (20)$$

$$\rho c_l F \frac{dT_l}{dt} = \int_{\Pi} \alpha(T, V, x) (T_a - T_l) dS \quad (21)$$

Взаимодействие заготовки с внешней средой и возникающее вследствие температурного перепада напряженно-деформированное состояние описываются следующими соотношениями:

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha(T, V, x) (T - T_l) + \varepsilon \sigma (T^4 - T_l^4) \quad (22)$$

$$\nabla \cdot \sigma = 0, \quad \sigma = D(\varepsilon - \alpha_T (T - T_0)) \quad (23)$$

где $\frac{\partial T}{\partial n}$ – градиент температуры по нормали к поверхности;

D – матрица упругих постоянных материала, Па.

Разработанная математическая модель позволяет подробно проанализировать процесс импульсной закалки деталей. В отличие от стандартных подходов, здесь учитывается взаимное влияние тепловых и гидродинамических факторов.

Ключевой особенностью модели является расчет переменного коэффициента теплоотдачи α . Он не принимается константой, а вычисляется в каждой точке поверхности в зависимости от скорости потока и текущей температуры металла. Это позволяет с высокой точностью прогнозировать скорость охлаждения как на кромках, так и в теле заготовки.

Применение модели позволяет прогнозировать температурные поля и управлять процессом охлаждения.

Практическая значимость модели состоит в возможности ее использования для обоснования рациональных режимов закалки, обеспечивающих формирование требуемых структуры и эксплуатационных свойств деталей, с целью повышения их работоспособности и ресурса.

Список использованной литературы

1. Бетенья, Г.Ф. Анискович, Г.И. Модификация структуры и механических свойств стали пониженной прокаливаемости при импульсном закалочном охлаждении жидкостью. / MOTOROL/ – Lublin-Peszow, 2013, vol.15, №7 – С. 80–86.

2. Бетенья, Г.Ф. Опыт упрочнения деталей из сталей пониженной прокаливаемости импульсным закалочным охлаждением жидкостью/Г.Ф.Бетенья, Г.И.Анискович //Вестник БарГУ/ - 2013, вып.1 – С. 152–159.

3. Анискович Г.И., Шевчук М.А., Бурим Ю.С. Комбинированное упрочнение сменных деталей рабочих органов глубоководных лопастей. Вісник Харківського національного технічного університету імені Петра Василенка. Технічні науки: збірник/Харків. нац. техн. ун-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; [відп. ред. О.В. Нанка]. – Харків : ХНТУСГ, 2021. – Вип. 211- Інноваційне технічне та технологічне забезпечення галузі тваринництва. – С. 88–91.

4. Анискович Г.И., Шевчук М.А. Особенности формирования структуры и свойств конструкционных сталей применяемых для изготовления сменных деталей плугов при их импульсной закалке. «Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения, оснащения и технического сервиса в АПК» : сборник научных статей Международной научно-практической конференции (Минск, 6-7 июня 2023 г.) / рекол.: Крук И.С. [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2023. –164 с. С. 113–120.

5. Применение импульсной закалки для упрочнения сменных деталей глубоководных лопастей / Г. И. Анискович, В. Г. Мисько, М. А. Шевчук, М. М. Шукан // Аграрная наука и инновационное развитие АПК: состояние, проблемы и перспективы : сборник материалов международной научной конференции, Смоленск, 18 апреля 2024 года. – Смоленск: Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. – С. 163–168.

6. Макаров, С. С. Математическая модель охлаждения цилиндрической заготовки одномерным нестационарным потоком воды / С. С. Макаров, К. Э. Чекмышев, Е. В. Макарова // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2014. – № 4 (207). – С. 195–201

7. Макаров С.С., Чекмышев К.Э., Храмов С.Н., Макарова Е.В. Математическое моделирование охлаждения при закалке осесимметричных металлических заготовок // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. Ижевск: Из-во ИжГТУ, 2014. № 3 (63). С. 38–43.

8. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов : учебник для вузов / И. И. Новиков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1986. – 480 с.

9. Зиновьев, В. Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах : справ. изд. / В. Е. Зиновьев. – М. : Металлургия, 1989. – 384 с.

10. Структурная теория конструктивной прочности материалов: Монография/Л.И. Тушинский. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – 400 с.

11. Рыбин В.В., Малышевский В.А., Хлусова Е.И. Технологии создания конструкционных наноструктурированных сталей // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2009, №6 (648). С. 3–7.

12. Кашенко М. П., Чашина В. Г. Динамическая теория γ - α мартенситного превращения в сплавах железа решение проблемы критического размера зерна. – М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ижевский институт компьютерных исследований, 2010. – 132с.

Summary. The article presents a coupled mathematical model for quenching replaceable parts of tillage machine working bodies in a non-stationary water flow, taking into account phase transformations and the temperature dependence of material properties. The model makes it possible to accurately predict cooling rates and thermal stresses in order to optimize the hardening process and increase the durability of agricultural machinery.

УДК 631.363.21

Анискович Г.И., кандидат технических наук, доцент;

Шукан М.М., аспирант

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОГО УПРОЧНЕНИЯ МОЛОТКОВ ЗЕРНОВЫХ ДРОБИЛОК

Аннотация. В статье на основании анализа возможных способов упрочнения молотков зерновых дробилок обосновано применение для повышения ресурса этих деталей комбинированной упрочняющей технологии электроискрового легирования с импульсным закалочным охлаждением жидкостью. Предлагаемая технология позволит существенно повысить долговечность упрочненных молотков и надежность работы зерновых дробилок.

Abstract. Based on an analysis of possible methods for strengthening grain crusher hammers, this article substantiates the use of a combined hardening technology of electric spark alloying with pulsed liquid quenching to increase the service life of these components. The proposed technology will significantly improve the durability of hardened hammers and the operational reliability of grain crushers.

Ключевые слова. Зерновые дробилки, молоток, упрочнение, ресурс, электроискровое легирование, импульсная закалка.

Keywords: Grain crushers, hammer, hardening, service life, electric spark alloying, pulsed quenching.

Зернодробилки молоткового типа благодаря компактности, простоте устройства, высокой надежности в работе нашли широкое распространение в агропромышленном комплексе. Основными рабочими органами этих установок являются решета, деки и молотки, состояние которых предопределяет производительность процесса и степень измельчения зерна. Эффективность использования дробилок во многом

обусловлена конструктивными параметрами и техническим состоянием молотков, обладающих наименьшим ресурсом. Нарботка этих деталей, в зависимости от измельчаемого продукта, составляет от 72 до 300 часов [1]. В процессе работы эти детали подвергаются абразивному и окислительному изнашиванию, пластической деформации и усталостному разрушению, в результате чего изменяются их геометрические размеры и форма (рисунок 1). Износ молотков приводит к повышенной вибрации дробилок и снижению качества помола.

Наибольшее распространение для упрочнения молотков дробилок нашла объемная закалка. Такой способ термообработки характеризуется существенной длительностью технологического цикла, не исключает возникновение в закаленных деталях внутренних остаточных напряжений, вызывающих деформацию и снижающих точность изготовления [2]. При эксплуатации подвергнутых объемной закалке молотков происходит неравномерный износ рабочей грани (заваливание по краям, рисунок 1), в результате чего снижается качество и производительность дробления зерна.

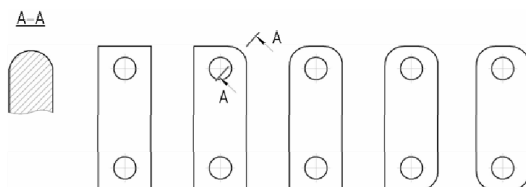


Рисунок 1 – Характер износа молотков дробилок

При изготовлении молотков применяются стали 45, 65Г, 30ХГСА и др. с использованием различных упрочняющих технологий. Упрочнение концов молотков наплавкой твердым сплавом [3] сопряжено с рядом технологических трудностей, обусловленных сложностью обеспечения точности наплавленного слоя по размерам и массе, процесс отличается высокой трудоемкостью. При работе упрочненных таким способом деталей наблюдается интенсивный износ не подвергнутых наплавке поверхностей.

Плазменное напыление молотков самофлюсующимися сплавами с последующим печным оплавлением [4] нашло ограниченное применение по причине неудовлетворительной адгезии наносимого покрытия к основе и его высокой пористостью. Существенно снижают технологическую эффективность метода возникновение остаточных напряжений и значительные припуски под последующую механическую обработку. Процесс требует тщательной подготовки к напылению поверхности и строгого контроля гранулометрического состава порошков.

Упрочняющая поверхностная термическая обработка молотков с помощью высококонцентрированных источников нагрева характеризуется

малой толщиной модифицированного слоя и склонностью к образованию в упрочненных деталях холодных трещин [5]. Эффективность применения способа снижается высокой стоимостью применяемого оборудования.

При химико-термической обработке молотков [3] требуется многочасовая выдержка деталей в печах при высоких температурах. Это делает технологию крайне энергозатратной и малоэффективной при массовом производстве.

Применение ионно-плазменного азотирования для повышения долговечности молотков, ограничено по причине малой толщины формируемого слоя, не способного длительно противостоять абразивному изнашиванию [6]. Снижают конкурентоспособность данной технологии высокая трудоемкость подготовки поверхности детали к азотированию, продолжительность процесса, необходимость создания высокого вакуума, сложность и значительная стоимость оборудования.

Упрочнение молотков зернодробилок установкой по углам (впайкой или запрессовкой) твердосплавных вставок считается одним из самых эффективных методов повышения износостойкости [7]. Однако технологическая сложность обеспечения прочного соединения «вставка-основа» и неизбежное ослабление несущего сечения молотка делают данный метод дорогостоящим и не эффективным для упрочнения деталей, работающих в условиях динамических нагрузок.

Изготовление составных молотков, в конструкции которых рабочая грань выполнена из износостойкого материала, а корпус - из вязкой стали рассматривается как один из способов упрочнения с обеспечением высокой твердости и ударной прочности [7]. Однако данный метод сопряжен с технологическими трудностями обеспечения надежного соединения составных частей молотка, а высокая трудоемкость изготовления и сложность последующей балансировки ограничивают применения данного метода.

Анализ известных технологий упрочнения молотков дробилок показывает, что их применение не всегда эффективно либо по причине невозможности обеспечения требуемых свойств упрочненным деталям, либо высокой трудоемкости, необходимости применения сложного и дорогостоящего оборудования и материалов. Поэтому возрастает интерес к использованию комбинированных методов упрочнения, представляющих сочетание двух или нескольких технологических процессов, что позволяет достичь высокой эффективности упрочнения, которую невозможно получить каким-либо одним способом.

Для упрочнения деталей из углеродистых и низколегированных сталей наибольший интерес представляют методы, сочетающие нанесение на рабочие поверхности износостойких покрытий и упрочняющей термической обработки.

На основе анализа условий работы, требований, предъявляемых к молоткам и результатов ранее проведенных исследований, для повышения

долговечности молотков зернодробилок предлагается использовать комбинированный метод упрочнения импульсной закалкой с последующей электроискровой обработкой рабочей поверхности [11].

Импульсной закалкой [9] достигается образование в материале деталей структуры с высокой дисперсностью зерна мартенсита размерами менее 100 нм, в результате чего деталь приобретает комплекс высоких значений механических свойств: прочность, твердость, ударную вязкость. Технология проста, производительна, экологически безопасна.

Электроискровое легирование, в свою очередь, позволяет повысить твердость, износостойкость, коррозионную стойкость рабочих поверхностей молотков. При электроискровом легировании в качестве электродов применяют твердые сплавы (ВК6, ВК8, Т15К6 и др.), материалы на основе карбидов и боридов металлов (TiC , WC , CrB_2 , и др.), графит и другие. Технология электроискрового легирования реализуется на относительно простом оборудовании, производительность которого не зависит от твердости и иных физических характеристик используемых материалов [10].

Технологический процесс комбинированного упрочнения осуществляется в следующей последовательности. Первоначально молотки нагреваются в печи объемного нагрева и выдерживаются при температуре закалки до завершения процесса аустенитизации. После чего поочередно помещаются в закалочное устройство и интенсивно охлаждаются потоком воды. Затем в течение 1 часа закаленные детали подвергаются низкому отпуску. После термообработки на боковые и нижние грани (рисунок 2) молотков наносится упрочняющий слой методом электроискрового легирования.

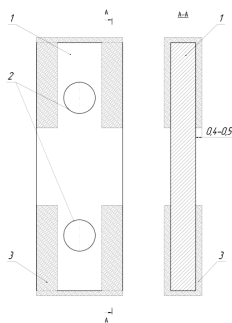


Рисунок 2 – Схема нанесения упрочняющего слоя на грани молотка зерновой дробилки: 1 – молоток; 2 – отверстия для монтажа молотков на роторе; 3 – износостойкий упрочняющий слой

При использовании электроискрового легирования в сочетании с импульсной закалкой обеспечивается получения следующих механических свойств молотков:

- высокая прочность на сжатие и растяжение (за счет образования мелкозернистой структуры основного металла после импульсной закалки);
- увеличенная износостойкость поверхностного слоя (легирующие элементы и карбиды значительно повышают устойчивость к абразивному износу);
- повышенная ударная вязкость (управление процессом интенсивного охлаждения при закалке позволяет достичь оптимального уровня пластичности в сочетании с высокой твердостью);
- градиентное распределение твердости по сечению упрочнённой детали с увеличением к поверхности (образование мартенсита в основном металле и карбидов в поверхностном слое), что способствует равномерному износу и сохранению плоской формы рабочих граней без заваливания по краям. Таким образом, комплексный подход к упрочнению молотков через сочетание электроискрового легирования и импульсного закалочного охлаждения является перспективным направлением повышения их ресурса. Для реализации метода на практике необходимо проведения исследований по оптимизации технологических параметров режимов комбинированного упрочнения и их влиянию на формирование физико-механических и эксплуатационных свойств упрочненных молотков.

Список использованной литературы

1. Пучков, С. В. Анализ изнашивания и разработка экологически чистой технологии химико-термической упрочняющей обработки рабочих органов кормоприготовительных машин : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01 / Пучков Сергей Владимирович. – Курск, 2007. – 134 с.
2. Буклагина Г. В. Повышение ресурса рабочих органов молотковых дробилок [Повышение долговечности рабочих органов комбинированным упрочнением рабочих поверхностей] // Инженерно-техническое обеспечение АПК : реферативный журнал. 2009. № 4. С. 1226.
3. Технология и оборудование термической и химико-термической обработки. Теория и технология термической обработки металлов и сплавов : учебное пособие / Ф. М. Носков, Л. И. Квеллис, М. В. Носков. Красноярск : СФУ, 2018. 334 с.
4. Восстановление и упрочнение молотка кормодробилок плазменными покрытиями с последующим печным оплавлением / В. Н. Гадалов, В. Г. Сальников, Б. Н. Квашин [и др.] // Вестник ВГТУ. 2011. № 9. С. 179-181.
5. Суслов, А. Г. Инженерия поверхностей деталей машин / А. Г. Суслов, В. Ф. Безъязычный, Ю. В. Панфилов. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
6. Табаков, В. П. Формирование износостойких покрытий режущего инструмента / В. П. Табаков. – Ульяновск: УлГТУ, 2008.
7. Черепанов, С. С. Повышение надежности сельскохозяйственной техники / С. С. Черепанов. – М.: Колос, 1982.

8. Лазаренко, Н. И. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Н. И. Лазаренко. – М.: Машиностроение, 1976. – 44 с.

9. Бетенья, Г. Ф. Технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью / Г. Ф. Бетенья // Каталог научно-технических разработок университета. – Минск : БГАТУ, 2014.

10. Балаян, Г. Е. Особенности технологии электроискрового упрочнения буровой коронки / Г. Е. Балаян, И. В. Перинская // Перспективное развитие науки, техники и технологий : сборник научных статей 12-ой Международной научно-практической конференции, Курск, 01 ноября 2022 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 29-33.

11. Способ изготовления пластинчатого молотка кормодробилки: пат. №24736 Респ. Беларусь : : МПК В 02С 13/28 / Анискович Г. И., Шевчук М.А., Шукан М.М. ; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № а20240142 ; заявл. 20.06.2024 ; опубл. 20.11.2025.

Summary. Thus, a comprehensive approach to hammer hardening through a combination of ESD and pulse quench cooling is a promising direction for increasing the reliability and durability of hammer mills.

УДК 621.791.92 : 621.81

Миранович А.В., кандидат технических наук, доцент;

Косак А.А., магистрант; **Афанасенко Д.Е.**, аспирант

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

КОМБИНИРОВАННАЯ УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ СЕРИИ ХЦМ

Аннотация. Выполнена многопараметрическая оптимизация комбинированной упрочняющей обработки магнитно-электрическим упрочнением с поверхностным пластическим деформированием металлических поверхностей цилиндрических деталей электронасосных агрегатов серии ХЦМ.

Abstract. A multiparameter optimization of combined strengthening treatment by magnetic-electric hardening with surface plastic deformation of metal surfaces of cylindrical parts of electric pump units of the HCM series was performed.

Ключевые слова: комбинированная упрочняющая обработка, магнитно-электрическое упрочнение, поверхностное пластическое деформирование, композиционный порошок, многопараметрическая оптимизация, износостойкость покрытия, производительность процесса.

Keywords. combined hardening treatment, magnetic-electric hardening, surface plastic deformation, composite powder, multiparameter optimization, coating wear resistance, process performance

Электронасосные агрегаты (ЭА) серии ХЦМ (герметичные центробежные насосы с магнитной муфтой) наиболее широко эксплуатируются в

химической, нефтехимической, фармацевтической и пищевой промышленности, энергетике и очистных сооружениях [1]. Бессальниковая конструкция агрегатов позволяет минимизировать утечки перекачиваемых химически активных и нейтральных жидкостей (кислот, щелочей, органических растворителей, горючих и токсичных жидкостей, реактивов, растворов технических моющих средств, жидких пищевых продуктов). Для ЭА серии ХЦМ (например, агрегат электронасосный ХЦМ 12/25М) характерны такие условия работы как, значительные пусковые нагрузки, длительная работа при высоких нагрузках, повышенное содержание солей, щелочей и других примесей и средств, высокая концентрация взвешенных твердых частиц, превышение допустимой вязкости перекачиваемой жидкости [1]. Все это существенно снижает надежность работы сборочных единиц и отдельных деталей электронасосных агрегатов. При этом одной из основных причин их выхода из строя являются механические повреждения в результате износа посадочного места рабочего колеса под втулку подшипникового узла, износа рабочей поверхности подшипника и распорной втулки вала приводного электродвигателя, изгиб вала. Устранение данных дефектов возможно посредством обоснованного выбора и оптимизации способа восстановления изношенных поверхностей цилиндрических деталей электронасосных агрегатов. Для этого необходимо учитывать условия эксплуатации, степень износа, состояние рабочих поверхностей, конструктивные параметры и материал детали.

Известно [2], что основными способами восстановления типовых деталей электронасосных агрегатов являются: вибродуговая наплавка, электроконтактная приварка, наплавка под слоем флюса и в среде защитных газов. Им присущи такие недостатки, как высокое термическое воздействие на обрабатываемую поверхность, расплавление основного металла и невысокая усталостная прочность восстанавливаемых деталей [2, 3]. Одним из рациональных способов восстановления рабочих поверхностей деталей электронасосных агрегатов является комбинированная упрочняющая обработка (КУО) посредством магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) композиционными ферромагнитными порошками (КФМП) с поверхностным пластическим деформированием (ППД). Преимуществами ее являются высокая прочность сцепления упрочненного слоя с основой, минимальное тепловыделение и расплавление материала основы, небольшие припуски на последующую механическую обработку, возможность осуществления процесса на одном технологическом оборудовании с финишной обработкой – магнитно-абразивной (МАО) [4, 5].

В работе с целью обеспечения заданных эксплуатационных и физикомеханических свойств поверхностей типовых деталей ЭА серии ХЦМ проведены исследования с применением метода на основе многопарамет-

рической оптимизации режима КУО с использованием детерминированного и стохастического подходов [5, 6].

Процесс МЭУ композиционными ферромагнитными порошками и последующим ППД достаточно полно описывается статистическими моделями второго порядка, полученными по матрице центрального композиционного рототабельного униформ-планирования (ЦКРУП). В качестве параметров оптимизации КУО взяты следующие параметры: производительность процесса Q и относительная износостойкость покрытия ε . Испытания износостойкости образцов с покрытиями, полученными МЭУ с ППД и обработанных при оптимальных условиях и режимах процессов, проводились на машине трения модели СМЦ-2 по стандартной методике по схеме «диск-колодка» при сравнительной оценке износостойкости покрытий при трении скольжения.

Независимыми переменными приняты следующие факторы: плотность разрядного тока i , А/мм²; величина рабочего зазора δ , мм; скорость подачи S , мм/об; окружная скорость заготовки V , м/с; усилие деформирования накатного устройства P , Н. Постоянными взяты факторы: магнитная индукция в рабочем зазоре $B = 0,7$ Тл; размер зерен композиционного порошка $\Delta = 240 - 315$ мкм; расход композиционного порошка $q = 2,6 \cdot 10^{-3}$ г/с·мм²; расход рабочей жидкости $q = 1,8 \cdot 10^{-3}$ дм³/(с·мм²), СОЖ – 5%-й водный раствор международного ассортимента Syntilo RHS фирмы Castrol Industrial. Оптимальный технологический режим КУО МЭУ с ППД для следующих композиционных порошков – Н67Х18С5Р4 и ФБХ-6-2. Выбор обусловлен тем, что порошок Н67Х18С5Р4 позволяют получить покрытия с достаточно высокой твердостью и высокими триботехническими свойствами, а сплав ФБХ 6-2 обеспечивает получение покрытий, сохраняющих высокую твердость, плотность и износостойкость до температуры, не превышающей 550 °С в сопряжениях пар трения.

Экспериментальные исследования проводили на образцах из стали 45 ГОСТ 1050-2013, представляющих собой кольца с наружным диаметром 40,0 мм, внутренним – 16,0 мм и высотой 12,0 мм. Образцы подвергали нормализации и обрабатывали до шероховатости поверхности $Ra = 12,5$ мкм.

Многопараметрическую оптимизацию КУО проводили по двум параметрам ($Y_1=Q$, $Y_2=\varepsilon$). Для этого использовали комплексный показатель [5, 6], в качестве которого была принята обобщенная функция желательности Харрингтона [7].

С учетом работ [5, 6] установили условия проведения эксперимента для получения статистических моделей нанесения износостойких покрытий МЭУ с ППД (таблица 1). Все опыты рандомизировались во времени при помощи таблицы случайных чисел.

Таблица 1 – Условия проведения опытов

Уровень факторов	Технологические факторы				
	$i, \text{А/мм}^2$	$\delta, \text{мм}$	$S, \text{мм/об}$	$V, \text{м/с}$	$P, \text{Н}$
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Основной (0)	1,80	2,00	0,25	0,06	1000
Верхний (+1)	2,20	2,50	0,35	0,08	1250
Нижний (-1)	1,40	1,50	0,15	0,04	750
Звездная точка (+ α)	2,60	3,00	0,45	0,10	1500
Звездная точка (- α)	1,00	1,00	0,05	0,02	500
Интервалы варьирования: основной по α	0,40	0,50	0,10	0,02	250
	0,80	1,00	0,20	0,04	500

Обработка результатов экспериментов, полученных по матрице ЦКРУП второго порядка, с использованием прикладных программ Mathcad и Excel пакета MS Office, работающих в среде Windows, позволила получить статистические модели, определяющие зависимости производительности КУО Q от технологических факторов.

$$Y_1 = Q_{\text{H67X18C5P4}} = 221,978 + 1,121 \cdot X_1 - 0,392 \cdot X_2 - 1,580 \cdot X_3 - 2,088 \cdot X_4 + 0,756 \cdot X_5 - 4,482 \cdot X_1 X_2 + 0,102 \cdot X_1 X_3^* + 4,354 \cdot X_1 X_4 + 5,678 \cdot X_1 X_5 + 1,696 \cdot X_2 X_3 + 5,642 \cdot X_2 X_4 - 4,442 \cdot X_2 X_5 - 5,918 \cdot X_3 X_4 + 0,284 \cdot X_3 X_5 - 6,004 \cdot X_4 X_5 - 0,912 \cdot X_1^2 - 0,494 \cdot X_2^2 - 0,296 \cdot X_3^2 - 0,588 \cdot X_4^2 - 0,99 \cdot X_5^2; \quad (1)$$

$$Y_1 = Q_{\text{ФБХ-6-2}} = 220,112 + 0,906 \cdot X_1 - 0,386 \cdot X_2 - 1,390 \cdot X_3 - 1,946 \cdot X_4 + 0,302 \cdot X_5 - 3,846 \cdot X_1 X_2 - 0,098 \cdot X_1 X_3^* - 4,076 \cdot X_1 X_4 - 4,858 \cdot X_1 X_5 - 1,236 \cdot X_2 X_3 + 4,846 \cdot X_2 X_4 - 4,042 \cdot X_2 X_5 - 5,878 \cdot X_3 X_4 + 0,124 \cdot X_3 X_5 - 4,988 \cdot X_4 X_5 - 0,898 \cdot X_1^2 - 0,481 \cdot X_2^2 - 0,276 \cdot X_3^2 - 0,498 \cdot X_4^2 - 1,509 \cdot X_5^2. \quad (2)$$

Модели, определяющие характер зависимости относительной износостойкости покрытия ε от технологических факторов КУО, представлены ниже.

$$Y_2 = \varepsilon_{\text{H67X18C5P4}} = 2,156 + 0,158 \cdot X_1 + 0,032 \cdot X_2 - 0,187 \cdot X_3 - 0,088 \cdot X_4 - 0,042 \cdot X_5 + 0,154 \cdot X_1 X_2 - 0,642 \cdot X_1 X_3 + 0,156 \cdot X_1 X_4 - 0,172 \cdot X_1 X_5 - 0,322 \cdot X_2 X_3 + 0,072 \cdot X_2 X_4 - 0,144 \cdot X_2 X_5 - 0,176 \cdot X_3 X_4 - 0,082 \cdot X_3 X_5^* - 0,212 \cdot X_4 X_5 - 0,116 \cdot X_1^2 - 0,022 \cdot X_2^2 - 0,032 \cdot X_3^2 - 0,030 \cdot X_4^2 - 0,064 \cdot X_5^2; \quad (3)$$

$$Y_2 = \varepsilon_{\text{ФБХ-6-2}} = 2,268 + 0,172 \cdot X_1 - 0,026 \cdot X_2 - 0,228 \cdot X_3 - 0,112 \cdot X_4^* - 0,048 \cdot X_5 + 0,182 \cdot X_1 X_2 - 0,642 \cdot X_1 X_3^* - 0,112 \cdot X_1 X_4 - 0,204 \cdot X_1 X_5 - 0,218 \cdot X_2 X_3 + 0,114 \cdot X_2 X_4 - 0,194 \cdot X_2 X_5 - 0,116 \cdot X_3 X_4 + 0,112 \cdot X_3 X_5 + 0,268 \cdot X_4 X_5 - 0,086 \cdot X_1^2 - 0,016 \cdot X_2^2 - 0,058 \cdot X_3^2 - 0,052 \cdot X_4^2 - 0,078 \cdot X_5^2. \quad (4)$$

Выявлено, что не все коэффициенты регрессии (1) – (4) значимы с 95%-й доверительной вероятностью по критерию Стьюдента (* – коэффициент не значим). Установлено, что модели адекватны при 5%-м уровне значи-

мости по критерию Фишера. Таким образом, получены модели процесса МЭУ с ППД (1) – (4), которые позволяют установить степень влияния технологических факторов на параметры оптимизации и определить оптимальный режим КУО.

Из анализа статистических моделей (1) – (4) следует, что в порядке убывания значимости факторы по влиянию на исследуемые параметры можно расположить в следующие ряды:

$$Y_1=Q: V \rightarrow S \rightarrow i \rightarrow P \rightarrow \delta; \quad Y_2=\varepsilon: S \rightarrow i \rightarrow P \rightarrow V \rightarrow \delta.$$

Наибольшее влияние на производительность процесса МЭУ с ППД Q оказывает окружная скорость заготовки V и скорость продольной подачи S. Далее в порядке убывания следуют плотность разрядного тока i, усилие деформирования P и величина рабочего зазора δ . На относительную износостойкость ε оказывает значительное влияние скорость продольной подачи S, плотность разрядного тока i и усилие деформирования P.

С учетом ограничений технологических факторов КУО, определены варианты режимов нанесения покрытий для исследуемых композиционных порошков. Обработку данных производили с использованием пакета прикладных программ Mathcad и Excel пакета MS Office, работающих в среде Windows. Приняли режим МЭУ с ППД за оптимальный, который имеет наибольшую желательность.

Исследованиями установлено, что значения оптимальных режимов КУО имеют незначительные отличия (таблица 2).

Таблица 2 – Оптимальные значения режима КУО композиционных порошков

Композиционный порошок	Оптимальные значения факторов				
	i, А/мм ²	δ , мм	S, мм/об	V, м/с	P, Н
H67X18C5P4	1,92	1,50	0,218	0,056	1146
ФБХ-6-2	1,96	1,55	0,192	0,052	1228

Таким образом, с помощью многопараметрической оптимизации и принятых ограничений для КУО посредством МЭУ с ППД различных композиционных порошков, можно рекомендовать следующий режим: i = 1,92 – 1,96 А/мм²; δ = 1,50 – 1,55 мм; S = 0,192 – 0,218 мм/об; V = 0,052 – 0,056 м/с; P = 1146 – 1228 Н.

Список использованных источников

1. Агрегаты электронасосные ХЦМ Q/H В-К. Руководство по эксплуатации ПДИР.060240.002 РЭ. – Йошкар-Ола: Изд-во ОАО «ОКТЕ Кристалл», 2020. – 30 с.
2. Надежность и ремонт машин / В. В. Курчаткин и др.; под общ. ред. В. В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
3. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.

4. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк : ПГУ. 1999. – 240 с.

5. Акулович, Л.М. Оптимизация технологических факторов магнитно-электрического упрочнения / Л.М. Акулович [и др.] // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. - 2020. Т. 65, № 4. - С. 404-412. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-4-404-412>

6. Яшерицын, П. И. Планирование эксперимента в машиностроении / П. И. Яшерицын, Е. И. Махаринский. – Минск: Вышэйшая школа, 1985. – 236 с.

7. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

Summary. By means of multiparameter optimization and accepted limitations for combined strengthening treatment of various composite powders, technological processing modes are recommended.

УДК 621.791.92 : 621.81

Миранович А.В.¹, кандидат технических наук, доцент;

Афанасенко Д.Е.¹, аспирант

Афанасенко Е.В.², кандидат технических наук, доцент

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», г. Горки, Республика Беларусь

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация. Разработано устройство для комбинированной упрочняющей обработки магнитно-электрическим упрочнением с поверхностной пневмовибродинамической обработкой металлических поверхностей нежестких деталей. Представлены результаты исследований микротвердости и качества покрытий, полученных комбинированной упрочняющей обработкой.

Ключевые слова: способ, устройство, комбинированная упрочняющая обработка, магнитно-электрическое упрочнение, поверхностная пневмовибродинамическая обработка, качество поверхностных слоев.

Abstract. A device for combined strengthening treatment has been developed, combining magnetic-electric hardening with surface pneumo-vibro-dynamic processing of metal surfaces of non-rigid parts. The paper presents research results on microhardness and coating quality obtained via combined strengthening treatment.

Keywords. method, device, combined hardening treatment, magneto-electric hardening, surface pneumovibrodynamic treatment, quality of surface layers.

Известно [1, 2], что потеря работоспособности агрегатов и узлов авто-тракторной и сельскохозяйственной техники обусловлена преимущест-

венно процессами изнашивания сопряженных поверхностей деталей. При этом до 80 % выбраковываемых деталей имеют износ цилиндрических поверхностей не более 0,5 – 0,6 мм на диаметр. Изношенные поверхности большинства таких деталей могут быть восстановлены в условиях ремонтных предприятий республики применением современных технологий, к числу которых относятся различные способы упрочнения и восстановления, основанные на использовании концентрированных потоков энергии [3, 4]. Одним из таких способов является магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) металлических поверхностей композиционными ферромагнитными порошками (КФМП), обеспечивающее высокую прочность сцепления покрытий с основным материалом деталей [3, 5]. Это обусловило целесообразность применения МЭУ для упрочнения и восстановления нежестких деталей (например, втулки, гильзы, кольца, полые валы, штоки и др.). Вместе с тем, такие возникающие дефекты в процессе обработки, как разнотолщинность и недостаточно высокая сплошность покрытий не позволяют использовать МЭУ для упрочнения и восстановления поверхностей деталей автотракторной и сельскохозяйственной техники, износ которых превышает 0,2 мм на диаметр.

Для устранения указанных недостатков на кафедре технологии металлов БГАТУ разработано устройство для комбинированной упрочняющей обработки (КУО) нежестких деталей типа тел вращения, реализация которого осуществляется на принципиально новом технологическом оборудовании для МЭУ с последующей пневмовибродинамической обработкой (ПВДО). Комбинированная упрочняющая обработка рабочих поверхностей деталей выполняется производственным модулем модели УНПРМ-1, смонтированным на базе токарного станка модели JEY BD-8VS, посредством нанесения капель-расплава материала КФМП на установке для МЭУ модели УМЭУ-2 и одновременным поверхностным пластическим деформированием сформированных поверхностных слоев рабочим органом – ударником-насадкой пневмоинструмента для ПВДО (рисунок).

Принцип работы устройства заключается в подаче в рабочий зазор между полюсным наконечником 5 и обрабатываемой поверхностью детали из бункера-дозатора 1 КФМП (например, Fe-10% V, C-300, P6M5K5, P6M5Ф3, ПЖРВ-2) зернистостью 150 – 300 мкм в потоке смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ – раствор эмульсола Э2Б). Под воздействием постоянного магнитного поля (ПМП), формируемого системой неодимовых постоянных магнитов 4, частицы КФМП выстраиваются вдоль магнитных силовых линий в виде цепочек-электродов. Конструкция системы магнитов создает оптимальную форму магнитных потоков, обеспечивающих постоянную величину магнитной индукции в рабочем зазоре в пределах 0,8 Тл и приближает распределение магнитного поля по торцу

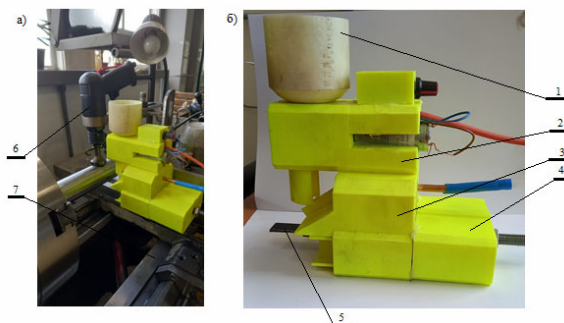
полюсного наконечника к однородному. По частицам КФМП от сварочного инвертора модели InvertecV270T (на рисунке не показан) пропускается технологический ток силой 100 – 190 А, под влиянием которого цепочки-электроды нагреваются, расплавляются и в виде капель-расплава материала порошка переносятся на обрабатываемую поверхность детали. Вследствие воздействия ПМП обеспечивается более равномерное формирование разрядных цепочек из частиц КФМП вдоль магнитных силовых линий в рабочем зазоре. В рабочей зоне устройства происходит стабилизация режима короткого замыкания, позволяющая получить устойчивый процесс МЭУ и равномерное распределение капель расплава материала КФМП по поверхности. При КУО детали МЭУ с ПВДО покрытия, в виде монолитных соединений расплавленного порошка с основой, дополнительно подвергаются воздействию рабочего инструмента ПВДО, который сглаживает гребешки микронеровностей поверхности после МЭУ. Это позволяет значительно снизить количество концентраторов электромагнитного поля, за счет которых при МЭУ электроэрозия расплавленного порошка в зоне нанесения покрытия становится эквивалентной переносимому на основу заготовки материалу. Следует отметить, что комбинированная обработка поверхностей деталей МЭУ с ПВДО позволяет получить толщину наплавленного слоя 0,5 – 1,0 мм на диаметр. При этом ПВДО, как низкотемпературный процесс, может положительно влиять на остаточные напряжения, возникающие в процессе МЭУ, и обеспечивать получение сжимающих напряжений, повышающих усталостную прочность обработанных изделий. С учетом обеспечения устойчивости и стабильности процесса комбинированной обработки МЭУ с ПВДО возникает возможность прогнозирования физико-механических и качественных характеристик упрочняемых поверхностных слоев деталей.

Цель исследований – выполнить сравнительный анализ физико-механических свойств и параметров качества поверхностных слоев, полученных традиционным способом МЭУ и способом комбинированной упрочняющей обработки МЭУ с ПВДО.

Исследования проводились на цилиндрических образцах из стали 45 с покрытиями из КФМП ФБХ-6-2 и Р6М5К5, полученными МЭУ и КУО МЭУ с ПВДО. МЭУ поверхностей выполнялось на установке модели УМЭУ-2, КУО – производственным модулем модели УНПРМ-1 на оптимальных режимах [2, 5]. ПВДО осуществлялось рабочим органом пневмоинструмента – тарельчатым ударником-насадкой, обеспечивающим контакт с обрабатываемой поверхностью с частотой ударного воздействия около 4,5 тыс. уд/мин. Толщина упрочненных поверхностных слоев определялась по распределению микротвердости на приборе ПМТ-3М; разнотолщинность – по разности максимальной и минимальной местных тол-

щин покрытий образца; объемная пористость покрытий – методом гидростатического взвешивания. Измерение шероховатости поверхности производилось на профилографе-профилометре Mitutoyo SJ-201P.

В процессе экспериментальных исследований выявлено, что наибольшее значение средней микротвердости (рисунок) наблюдается у покрытий из КФМП ФБХ-6-2, полученных КУО МЭУ с ПВДО, и составляет $676 \text{ HV}_{0,05}$, что на 8,0% больше микротвердости покрытий, полученных МЭУ ($622 \text{ HV}_{0,05}$) и в 3,3 раза больше по сравнению с материалом основы ($206 \text{ HV}_{0,05}$). Это обстоятельство обусловлено формированием мелкодисперсной мартенситной структуры упрочненных слоев в результате их разогрева и линейного поверхностного пластического деформирования с последующим скоростным охлаждением.



а – устройство КУО (МЭУ с ПВДО); б – электромагнитная система устройства КУО (МЭУ с ПВДО)

- 1 – бункер-дозатор; 2, 3 – система подачи КФМП, СОЖ в рабочий зазор;
4 – замкнутая магнитная система; 5 – полюсный наконечник с механизмом регулирования рабочего зазора; 6 – инструмент для ПВДО;
7 – токарно-винторезный станок модели JEY BD-8VS

Рисунок – Установка для комбинированной упрочняющей обработки рабочих поверхностей нежестких деталей МЭУ с ПВДО

При этом микротвердость покрытий из КФМП ФБХ-6-2 и Р6М5К5 после ПВДО повышается на 6,7 – 8,9%, что объясняется равномерным распределением по обрабатываемой поверхности расплава материала КФМП, уменьшением концентрации остаточного аустенита. Установлено, что незначительные колебания и достаточно плавное изменение значений микротвердости по толщине покрытий, полученных КУО МЭУ с ПВДО порошков ФБХ-6-2 и Р6М5К5, обусловлены однородностью и плотностью нанесенных слоев. Результаты исследований качественных характеристик упрочненных поверхностей КФМП (таблица) показывают, что КУО МЭУ с ПВДО по сравнению с МЭУ покрытий при уменьшении

средней их толщины на 3,27 – 3,39%, позволяет повысить качество за счет снижения их объемной пористости в 1,11 – 1,12 раза и средней разнотолщинности до 1,36 – 1,40 раза.

Таблица – Показатели качества упрочненных поверхностей

Материал покрытий из КФМП	Средняя толщина покрытий, мкм	Средняя разнотолщинность покрытий, мкм	Объемная пористость покрытий, %
Магнитно-электрическое упрочнение			
ФБХ-6-2	244	40	2,8
Р6М5К5	240	46	3,0
Магнитно-электрическое упрочнение с ПВДО			
ФБХ-6-2	236	36	2,0
Р6М5К5	232	41	2,2

В результате выполненных исследований установлено:

1. ПВДО покрытий, полученных МЭУ, позволяет увеличить их микротвердость на 6,7 – 8,9% по сравнению с обработанными поверхностями только МЭУ.

2. ПВДО нанесенных покрытий МЭУ позволяет уменьшить среднюю их толщину на 3,27 – 3,39%, а также снизить их объемную пористость в 1,11 – 1,12 раза и среднюю разнотолщинность до 1,36 – 1,40 раза.

Список использованной литературы

1. Акулович, Л.М. Анализ высокоэффективных методов обработки при проектировании технологических комплексов / Л. М. Акулович [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 1999. Т. 72, № 5. – С. 971–979. <https://elib.psu.by/handle/123456789/32902>

2. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк : ПГУ. 1999. – 240 с.

3. Чижик, С.А. Комбинированный способ упрочнения и финишной абразивной обработки поверхностей деталей в магнитном поле / С.А. Чижик [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2021. Т. 17. № 11 – С. 509–520. DOI:10.36652/1813-1336-2021-17-11-509-519

4. Акулович, Л.М. Оптимизация технологических факторов магнитно-электрического упрочнения / Л.М. Акулович [и др.] // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2020. Т. 65, № 4. – С. 404–412. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-4-404-412>

5. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.

Summary. The paper presents research results on microhardness and coating quality obtained via combined strengthening treatment.

Рустамов Р.М., доктор технических наук, профессор;
Аскарров С.Р., базовый докторант,
*«Наманганский государственный технический университет»,
г. Наманган, Республика Узбекистан*

АНАЛИЗЫ, КАСАЮЩИЕСЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРКА МАШИН И ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ РЕМОНТНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ ОВОЩЕВОДЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ ОБЛАСТЕЙ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

Ключевые слова: Ферганская долина, овощеводческий кластер, парк машин, ремонт и техническое обслуживание, мобильный сервис, подразделение технического обслуживания.

Keywords: Fergana Valley, vegetable cluster, machinery fleet, repair and maintenance, mobile service, maintenance unit.

Аннотация. В данной статье рассмотрены задачи и вопросы обоснования состава парка машин и подразделений ремонтно-технического обслуживания для овощеводческих кластеров Ферганской долины. Особое внимание уделяется организации эффективной технической инфраструктуры.

Abstract. This article examines the tasks and issues related to substantiating the composition of the machinery fleet and repair-maintenance service units for vegetable-growing clusters in the Fergana Valley. It focuses on optimizing the technical infrastructure to enhance operational efficiency.

В Ферганской долине производство овощей является одним из наиболее интенсивных и наиболее чувствительных к технологиям направлений регионального сельского хозяйства.

Своевременная подготовка почвы, посев или высадка рассады, междурядная обработка, внесение удобрений, защита растений, уборка урожая и транспортные работы напрямую зависят не только от наличия машин, но и от уровня их технической готовности. Поэтому проектирование парка машин и состава инфраструктуры ремонтно-технического обслуживания необходимо рассматривать не как отдельные управленческие решения, а как единую систему.

В Узбекистане имеется ряд исследований, посвящённых проектированию парка машин и сервисной инфраструктуры для сельскохозяйственных кластеров. Б. Эгамназаров обосновал структуру сервисных центров для рисоводческих кластеров, Т. Хамракулов уделил внимание параметрам ремонтной базы для зерновых кластеров, М. Джиянов исследовал станции технического обслуживания для хлопково-текстильных кластеров, а Ж.Ачилов изучил рациональное количество мобильных мастерских и параметры обслуживания [1, 2, 3, 4]. Хотя эти работы непосредст-

венно не посвящены овощеводству, заложенные в них методические принципы могут быть адаптированы к специфическому производственному профилю овощеводческих кластеров Ферганской долины.

Исследование охватывает овощеводческие кластеры, действующие в Андижанской, Наманганской и Ферганской областях Ферганской долины. Вместо анализа на примере конкретного хозяйства в статье выбран территориально обобщённый подход, а в качестве расчётной единицы принят базовый кластер площадью 1000 га. Такой масштаб позволяет полноценно описать производственную и сервисную систему и одновременно даёт возможность пересчитывать результаты для более мелких или более крупных предприятий.

Основными методами исследования являются сравнительный анализ, нормативная оценка, группировка технологических процессов и структурно-функциональное проектирование. Общее выражение для расчёта потребности в машинах при выполнении i -го технологического процесса записывается следующим образом:

$$N_i = \frac{Q_i}{w_i \cdot D_i \cdot K_{u,i}}, \quad (1)$$

где N_i – число машин, необходимое для выполнения i -го технологического процесса,

Q_i – объём работ;

W_i – производительность одного машинно-агрегатного комплекса;

D_i – число дней, отведённых на данную операцию.

Коэффициент $K_{u,i}$ характеризует использование рабочего времени и техническую готовность. Сезонная нагрузка планового технического обслуживания может быть выражена следующим образом:

$$M_{mo} = \sum_{j=1}^m \frac{H_j}{I_j} \quad (2)$$

где M_{mo} – количество запланированных технических обслуживаний;

H_j – сезонное время работы машины j -го типа;

I_j – интервал между техническими обслуживаниями;

m – число типов машин в парке.

Число работников, необходимое для k -го сервисного подразделения, можно оценить по трудоёмкости следующим образом:

$$R_k = \frac{L_k}{F_k \cdot K_k} \quad (3)$$

где R_k – требуемое число работников;

L_k – общая трудоёмкость, возложенная на k -е подразделение;

F_k – эффективный годовой фонд рабочего времени на одного работника;

K_k – коэффициент производительности труда.

Выбор Андижанской, Наманганской и Ферганской областей в качестве единой аналитической территории опирается на ряд общих производственных особенностей. Во-первых, в этих регионах овощеводство носит интенсивный характер, а интервалы между основными полевыми работами коротки. Во-вторых, в течение одного вегетационного сезона требуется последовательное и многократное использование нескольких категорий машин. В-третьих, в полевых условиях в напряжённые периоды возникает высокая потребность в оперативной диагностике, мелком ремонте и мобильном техническом обслуживании.

Поэтому статья направлена не на описание одного конкретного предприятия, а на предложение обобщённой территориальной модели планирования, которая впоследствии может быть уточнена данными, характерными для конкретного кластера. Такой подход особенно полезен на методическом этапе, поскольку до перехода к оптимизации на уровне предприятия он раскрывает операционную логику организации парка машин и сервисной системы.

Рассмотренные исследования показывают, что состав парка машин следует формировать не на основе отдельных закупок техники, а исходя из последовательности технологических процессов [1,2]. Для базового овощеводческого кластера площадью 1000 га этот принцип предполагает следующие группы машин, охватывающие весь производственный цикл:

- машины для обработки почвы: универсальные тракторы, плуги, дисковые бороны, фрезы, выравниватели и оборудование для формирования борозд;
- машины для посева и высадки рассады: точные сеялки, рассадопосадочные машины, маркеры рядков, а также устройства для укладки мульчи или ленты капельного орошения;
- машины для ухода и защиты растений: междурядные культиваторы, опрыскиватели, агрегаты для внесения удобрений и лёгкие вспомогательные агрегаты;
- уборочные машины: копатели, уборочные платформы, сортировочные устройства и погрузочное оборудование, адаптированное к типам овощных культур;
- транспортные и вспомогательные машины: прицепы, полуприцепы, погрузочные устройства и малотоннажный полевой транспорт для непрерывного вывоза урожая.

Одной из важных особенностей овощеводческих кластеров является то, что одна универсальная категория тракторов может участвовать в нескольких операциях в течение одного сезона. Это повышает эффективность использования капитала, но одновременно усиливает сервисную нагрузку. Поэтому выбор машин должен быть согласован с мощностью

технического обслуживания, наличием запасных частей и удобством сервисного обеспечения.

В рассмотренных исследованиях кластеров зафиксировано использование моделей ARION 630C, MX-140, Беларусь 1221.2, VT-150, TTZ-80.10, MTЗ-80, AXOS 340C, John Deere 6175M, New Holland T-7060 и Case Puma 180 [1,2,3]. В условиях овощеводческого кластера эти машины следует трактовать не как жёсткий перечень, а как базовые категории, разграниченные по мощности и назначению. Окончательный выбор зависит от состава имеющегося парка, совместимости агрегатов, обеспечения запасными частями и возможностей местного сервиса.

Анализ рассмотренной литературы показывает, что в составе системы технического сервиса для сельскохозяйственных кластеров должны присутствовать не только ремонтные мощности, но и элементы диагностики, мойки, хранения и мобильного оперативного реагирования. Уделяет особое внимание сервисным отделениям, технологическом оснащении станций технического обслуживания и инженерных кадрах. В совокупности эти выводы обосновывают сервисную структуру для овощеводческих кластеров Ферганской долины, объединяющую стационарные и мобильные компоненты.

Стационарное подразделение выполняет более глубокий ремонт и плановое техническое обслуживание, тогда как мобильный компонент предотвращает задержки в поле, обеспечивает оперативную наладку и снижает вероятность длительных остановок.

Кадровая структура подразделения ремонтно-технического обслуживания должна зависеть от числа машин, их технической сложности и объёма сезонной нагрузки. В минимальный состав для базового овощеводческого кластера следует включить инженера-механика, специалиста по диагностике или технического контролёра, двух или трёх ремонтников, сварщика, специалиста по электрооборудованию, кладовщика, а также водителя-механика для мобильного сервисного автомобиля. По мере увеличения масштаба кластера и разнообразия состава парка эту структуру целесообразно поэтапно расширять.

При планировании сервисной нагрузки особенно важны три фактора: интервал между плановыми техническими обслуживаниями, расстояние от сервисного подразделения до производственных полей и пик спроса в наиболее напряжённые периоды сезона. Результаты Ж.Ачилова показывают, что оптимизация этих параметров снижает потребность в дополнительных мобильных подразделениях и повышает экономическую эффективность [4]. Для овощеводческих кластеров этот вывод особенно важен в период уборки урожая, поскольку время простоя немедленно влияет на потери урожая и процесс координатции транспорта.

Предполагается, что предложенный парк машин и сервисная структура повысят эффективность по нескольким направлениям. Во-первых, увеличение доли планового технического обслуживания сокращает число аварийных отказов. Во-вторых, наличие мобильного сервиса уменьшает простой машин в поле. В-третьих, функции диагностики и ремонта-сборки позволяют восстанавливать агрегаты вместо их полной замены. В-четвёртых, системное хранение запасных частей и инструментов снижает сезонные перебои, связанные с закупками и логистикой.

Годовой технико-экономический эффект в общем виде можно выразить следующим образом:

$$E = \Delta C_t + \Delta C_y + \Delta C_h - C_s \quad (4)$$

где E – годовой экономический эффект;

ΔC_t – экономия за счёт сокращения времени простоя;

ΔC_y – экономия, связанная с уменьшением потерь урожая;

ΔC_h – результат снижения трудовых и вспомогательных затрат;

C_s – затраты на организацию и эксплуатацию сервисного подразделения.

Результаты анализа позволяют сделать следующие выводы:

- базовый кластер площадью 1000 га является удобной аналитической единицей для планирования парка машин и интеграции системы ремонтно-технического обслуживания в овощеводстве;

- состав парка машин должен формироваться исходя из последовательности технологических операций; при этом обработку почвы, посев и высадку рассады, уход, уборку урожая, а также транспортно-вспомогательные функции необходимо рассматривать отдельно;

- для овощеводческих кластеров Ферганской долины подразделение ремонтно-технического обслуживания должно сочетать структуру стационарной мастерской с возможностями мобильного сервиса для поддержания технической готовности в напряжённые периоды.

Таким образом, статья предлагает исходную методическую основу, служащую для научного и практического проектирования парка машин и подразделений ремонтно-технического обслуживания для овощеводческих кластеров Ферганской долины. На следующем этапе необходимо откалибровать модель по данным конкретных кластеров, уточнить потребность в количестве машин и оборудования, а также количественно оценить годовой экономический эффект в реальных условиях эксплуатации.

Список использованной литературы

1. Б. Эгамназаров, Обоснование состава машин и ремонтно-сервисных баз для рисоводческих кластеров, диссертации доктора философии (PhD), Наманган, 2024.
2. Т. Хамракулов, Обоснование состава машин и ремонтно-сервисных баз для зерновых кластеров, диссертации доктора философии (PhD), Гульбахор, 2024.

3. М. Джиянов, Обоснование состава машин и станций технического обслуживания для хлопково-текстильных кластеров, диссертации доктора философии (PhD), Гульбахор, 2021.

4. Ж. Ачилов, Обоснование рационального количества и параметров обслуживания мобильных мастерских сервисных центров, диссертации доктора философии (PhD), Гульбахор, 2024.

Summary. Thus, this article provides a basic methodological framework for the scientific and practical design of machinery fleets and maintenance units for vegetable growing clusters in the Fergana Valley. The next step is to calibrate the model using data from specific clusters, determine the required number of machines and equipment, and quantify the annual economic impact under real-world operating conditions.

УДК 631.331

Земляной А.А., кандидат технических наук;

Мишин Б.С., кандидат технических наук;

Ланцев В.Ю., доктор технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»,

г. Мичуринск, Российская Федерация

СТЕНД ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, РЕМОНТА И ПРЕДПОСЕВНОЙ ПОДГОТОВКИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СЕЯЛОК ТОЧНОГО ВЫСЕВА

Аннотация. В работе рассматривается проблема повышения эффективности эксплуатации пневматических сеялок точного высева для пропашных культур. Актуальность исследования обусловлена необходимостью модернизации технической базы агропромышленного комплекса, высокой степенью износа сельскохозяйственной техники и значительными трудозатратами на техническое обслуживание. Предложена разработка и внедрение специального стенда для настройки, диагностики и обслуживания сеялок, что позволяет сократить время и трудозатраты на подготовку техники к посевному сезону, повысить качество высева и снизить потери семенного материала.

Abstract. The paper discusses the problem of improving the efficiency of pneumatic precision seeders for row crops. The relevance of the study is due to the need to modernize the technical base of the agro-industrial complex, the high degree of wear and tear of agricultural machinery, and the significant labor costs associated with maintenance. The paper proposes the development and implementation of a special stand for the adjustment, diagnostics, and maintenance of seeders, which can reduce the time and labor costs associated with preparing the machinery for the planting season, improve the quality of seeding, and reduce the loss of seed material.

Ключевые слова: сеялки точного высева, техническое обслуживание, эксплуатация сельскохозяйственной техники, стенд для настройки и диагностики.

Keywords: precision seeders, maintenance, operation of agricultural machinery, and a stand for tuning and diagnostics.

В соответствии с научно-технической программой развития сельского хозяйства постановлением № 996 Правительством Российской Федерации приняты приоритетный национальный проект «Развитие агропромышленного комплекса» и «Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции». В них большое значение отводится технологиям возделывания сельскохозяйственных культур и повышения урожайности [1].

Одной из решающих технологических операций в процессе возделывания пропашных культур, является качественный высев. Высев пропашных культур требует соблюдения строгих агрономических сроков и оптимальных климатических условий. Это делает процесс посева особенно актуальным и важным для обеспечения высоких урожаев. Надежная посевная техника играет решающую роль в достижении дружных всходов и качественного урожая [2].

Своевременное и качественное проведение технического обслуживания и предпосевной подготовки сеялок, позволяет повысить эффективность технологического процесса посева.

Современные технические устройства в сельском хозяйстве стремятся универсализировать, что приводит к большому числу настраиваемых параметров и внедрению сложных в эксплуатации и настройке компонентов сеялок точного посева. Однако для обеспечения полноценной работы сеялок недостаточно одного заключения МИС и паспорта по эксплуатации. Необходимо поддерживать работоспособность и проводить качественное техническое обслуживание и ремонт имеющейся техники на предприятиях, которое включает проверку, замену изношенных деталей, и настройку оборудования для предотвращения поломок, что в конечном итоге отразится на производительности [3].

Для поддержания работоспособности сеялок проводится ремонт и восстановление. Проведением техническим обслуживанием занимаются специализированные предприятия на базе бренда техники, но часто, ремонтно-обслуживающие и предпосевные работы выполняются механизаторами в мастерских хозяйства, которые недостаточно оснащены технологическим оборудованием и дополнительной оснасткой, необходимой для выполнения регламентированных работ в соответствии с требованиями технической документации [4].

Стоит отметить, что обычно сеялки точного посева хранятся на открытых площадках личных подворьях механизаторов. Влияние погодноклиматических условий на состояние техники, часто недооценивают, что приводит к выходу из строя ответственных элементов сеялки, а при высокой стоимости посевной техники следует не только сохранить имеющийся арсенал машинно-тракторного парка, но и повысить эффективность тех-

нического обслуживания, тем самым сохранить уровень готовности машин к посевному сезону, и сократить время, затрачиваемое на выполнение технологических операций [5].

Для обеспечения готовности посевной пневматической техники необходимо внедрять современные подходы к техническому обслуживанию и ремонту машин, а также развивать системы дефектовки и оценки состояния техники, для предупреждения будущих возможных поломок.

Учеными Мичуринского ГАУ разработан стенд для проведения технического обслуживания, обкатки и испытаний пневматических сеялок точного высева, который защищен патентом № 215854 [6]. На рисунке 1 показан общий вид стенда в составе с сеялкой точного высева.

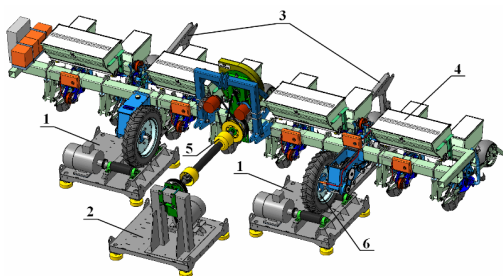


Рисунок 1 – Общий вид стенда для технического обслуживания и настройки сеялок точного высева: 1 – блок электропривода опорно-приводного колеса; 2 – блок электропривода вентилятора; 3 – опорные регулируемые стойки; 4 – сеялка точного высева; 5. - карданный приводной вал; 6. – опорное приводное колесо.

В общем виде стенд состоит из трех блоков и модуля управления показанных на рисунке 2. Блоки опорно-приводного колеса 1 и 2 выполнены в виде платформ с роликами, подключенными через муфту к электродвигателю. Блоки 1 и 2 не связаны между собой, так как большинство сеялок точного высева имеют привод высевающих аппаратов от опорно-приводного колеса, которые перемещаются относительно рамы при изменении ширины междурядий и приводят в движение левую и правую часть сеялки, это позволяет устанавливать на стенд сеялки без переоборудования. Блок электропривода вентилятора 3, который представляет собой независимую платформу с электродвигателем соединенный с обгонной муфтой через поликлиновую ременную передачу, шкив электродвигателя имеет две модификации для изменения передаточного отношения.

Вентилятор пневматической установки сеялки приводится в движение через карданный вал по такому же принципу, как и подключение вентилятора сеялки к ВОМ трактора. Блочная система стенда повышает мобильность и универсальность, это позволяет его применять для проверки сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от приводного колеса.

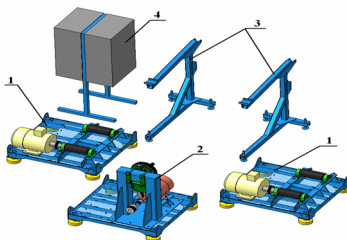


Рисунок 2 – Состав стенда для технического обслуживания и настройки сеялок точного высева: 1 – блоки электропривода опорно-приводного колеса; 2 – блок электропривода вентилятора; 3 – опорные стойки (рычаг); 4 –модуль управления

На рисунке 3 изображена схема установки сеялки на стенд для проведения технического обслуживания и настройки. Блоки электропривода опорно-приводного колеса 1 должны находиться на одной высоте, регулирование осуществляется опорными стойками с виброгасителями, относительно друг друга установлены параллельно по роликам. За счет опорных стоек 3 обеспечивается регулировка усилия прижатия к роликам опорно-приводное колесо с каждой стороны сеялки, при этом должно быть обеспечено равномерное прижатие приводным колесом на ролики без проскальзывания. Блок электропривода вентилятора 2 устанавливается напротив вала вентиляторной установки, при этом необходимо соблюдать допустимое угловое отклонение в шарнирах, регламентированное паспортом и руководством по эксплуатации карданного вала. При правильной установке сеялки на стенд обеспечивается свободный доступ ко всем узлам сеялки для проведения технического обслуживания, ремонта и настройки. Для выполнения предпосевной подготовки и регулировки параметров высева при смене культуры или сорта, может использоваться штатная система контроля высева 7, если же такая система не предусмотрена контроль можно выполнять по весовому анализу.

Предложенный стенд имеет ряд преимуществ [7]:

- позволяет сократить время проведения ТО, ремонта и предпосевной подготовки сеялок точного высева разных фирм производителей, за счет блочно-модульной конструкции (доступность к узлам, удобство монтажа и демонтажа элементов сеялки, удобство регулировок);
- возможность осуществлять пробный запуск в тестовом режиме для выявления дефектов и неисправностей после длительного хранения;
- возможность в стационарном режиме имитировать процесс высева;
- возможность вносить изменения в настройки процесса высева в режиме реального времени без остановки процесса высева на стенде и потери посевного материала;
- значительно повышает скорость перенастройки сеялки при смене культуры и семенного материала;
- экономит семенной материал и удобрения за счет качественной предпосевной подготовки и точности настроек режимов высева.

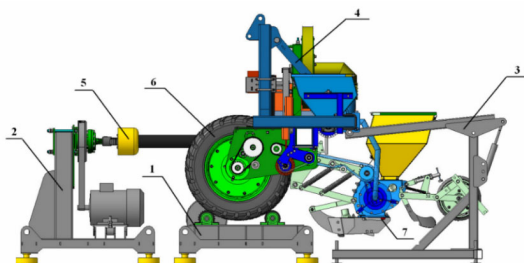


Рисунок 3 – Схема установки сеялки точного высева на стенд:

- 1 – блок электропривода опорно-приводного колеса; 2 – блок электропривода вентилятора; 3 – опорные стойки (рычаг); 4 – сеялка точного высева;
- 5 – карданный вал; 6 – опорно-приводное колесо; 7 – система контроля высева

Заключение. Предложенный стенд повышает эффективность проведения технического обслуживания, ремонта и предпосевной настройки сеялок точного высева. Внедрение специального стенда для настройки, диагностики и обслуживания сеялок позволяет сократить время и трудозатраты на подготовку техники к посевному сезону, повысить качество высева и снизить потери семенного материала.

Список использованной литературы

1. Повышение эффективности эксплуатации пневматических сеялок точного высева / А.А. Земляной, О.А. Полякова // Наука и Образование. – 2024. – Т. 7, № 4.
2. Сельскохозяйственные машины: (устройство, работа и основные регулировки) / Романенко В.А. [и др.] // учебное пособие Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2014. – 231 с.
3. Анализ технико-эксплуатационных и технологических характеристик современных посевных комплексов / А. Ю. Несмиян, П. А. Иванов, И. М. Пластинин // Современные научные исследования: проблемы и перспективы: Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, Зеленоград, 04–05 марта 2025 года. – Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2025.
4. Разработка и обоснование методов и режимов ТО и Р специальных машин / А.А. Земляной, В.Ю. Ланцев // Наука и Образование. 2021. Т. 4, № 2.
5. Основные направления модернизации ремонтно-обслуживающей базы и развития технического сервиса в АПК Республики Беларусь / С. Б. Юркевич, И. С. Крук // Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения, оснащения и технического сервиса в АПК: сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 06–07 июня 2023 года. – Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2023. – С. 132–137
6. Пат. 215854 Стенд для обкатки и испытаний пневматических пропашных сеялок / А.А. Земляной, А.А. Завражнов, В.Ю. Ланцев [и др.] // Пат. 215854 Рос. Федерация. № 2022111004: /; заявл. 21.04.2022; опубл. 29.12.2022. Бюл. №1. 9 с.
7. Исследование технических характеристик сеялок точного высева с высевными аппаратами вакуумно-дискового типа (на примере пропашной сеялки МС-

8 производства ПАО "Миллеровосельмаш") / А.А. Завражнов, А.И. Завражнов, А.А. Земляной [и др.] // Наука в центральной России. – 2021. – № 6(54). – С. 17–29. DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-17-29.

Summary. The proposed stand increases the efficiency of maintenance, repair, and pre-sowing adjustment of precision seeders. The introduction of a special stand for adjusting, diagnosing, and servicing seeders reduces the time and labor required to prepare the equipment for the sowing season, improves the quality of seeding, and reduces seed loss.

УДК 657.47

Кочетов Н.В., кандидат технических наук, доцент;
Миранович О.Л., кандидат технических наук, доцент;
Подорожня И.В.

ОАО «Приборостроительный завод Оптрон», г. Минск, Республика Беларусь

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ

Аннотация. В статье показан опыт научно-экспериментального предприятия ОАО «Приборостроительный завод Оптрон» по организации производства специального научного оборудования – испытательного стенда для двухколёсного индивидуального транспортных средств. Серийное производство недорогого отечественного электротранспорта, предназначенного для использования в условиях грунтовых дорог (в сельской местности и лесном хозяйстве) планируется освоить в ближайшие годы.

Abstract. The article shows the experience of the scientific and experimental enterprise OJSC "Instrument-Making Plant Optron" in organizing the production of special scientific equipment - a test bench for two-wheeled individual vehicles. Serial production of inexpensive domestic electric transport intended for use in conditions of unpaved roads (in rural areas and forestry) is planned to be mastered in the coming years.

Ключевые слова: испытательный стенд, калькуляция себестоимости индивидуального производства, динамические нагрузки, датчики.

Keywords: test bench, calculation of the cost of individual production, dynamic loads, sensors.

Введение. При создании электромотоциклов возникла задача всесторонних испытаний объекта для достижения заданных характеристик. Рассматривалось два варианта решения задачи: приобретение готового испытательного стенда или изготовление стенда оригинальной конструкции.

За пределами Беларуси основными изготовителями являются «Motomea Testing Systems» (США), «Dinolab», «Промотекс» (Российская федерация), «Hofmann TeSys Prüftechnik» GmbH (Германия), «Taian Dongtai Machine Manufacturing» Co. (Китай). Отличительной чертой зарубежных

изготовителей являются узкая специализация, высокие цены, избыточные функциональные особенности, за которые приходится платить. При индивидуальной поставке по заказу потребителя цены существенно растут.

В результате анализа был выбран второй вариант. В реальной действительности применение рассматриваемого оборудования может позволить:

повысить качественный уровень продукции, обеспечивается экономия энергии, снизить влияние человеческого фактора на некоторые процессы, улучшить условия труда путём автоматизации и контроля процесса.

В работе приведено описание объекта и особенности его разработки. Особое внимание уделено обоснованию выбора конструкции, технологии изготовления, исходя из имеющихся у ОАО «Приборостроительный завод Оптрон» наработок.

Работа над созданием проводилась в несколько этапов. Первоначально задавались параметры стенда на основе характеристик электромотора. Потом проводились проектные работы, выбор варианта конструкции, выполнялись необходимые расчёты. После чего было изготовление, приобретение комплектующих, отладка и испытания.

Все работы проводились коллективом предприятия на производственной базе ОАО «Приборостроительный завод Оптрон» НАН Беларуси.

Выбор варианта изготовления. В последние годы особое значение приобрели санкционные ограничения, которые существенно повысили стоимость логистики поставки. Это существенно повысило сроки поставки и реальную цену приобретения. Обычно поставкой сложного оборудования дело не заканчивается: необходимо пригласить поставщика для установки, отладки оборудования для доведения его до состояния первоначальных показателей, инструктажа и обучения персонала потребителя. В итоге отечественная экономика взяла курс на развитие собственного производства и импортозамещение.

Эта тенденция коснулась и ОАО «Приборостроительный завод Оптрон».

При этом проявились положительные моменты. Предприятие имеет собственную базу технологического металлообрабатывающего оборудования, соответствующий кадровый штат, хороший конструкторско-технологический отдел. Работа в рамках одного предприятия позволяет быстрее решать организационно-распорядительные мероприятия, согласования, оперативно устранять возникающие в процессе создания объекта вопросы. Имеющиеся ресурсы используются интенсивнее.

Характеристики стенда. Исходя из требований к характеристикам электромоторов, разрабатываемых ОАО «Приборостроительный завод Оптрон», с учётом среднесрочных перспектив выпускаемой продукции, было составлено техническое задание на разрабатываемый испытательный стенд, таблица 1.

Таблица 1 – Характеристики испытательного стенда «eMotoСтенд-1»

Показатель	Значение
Диапазон частоты вибраций и ударов	0...300 Гц
Диапазон скорости	0...120 км/ч
Максимально допустимая масса транспортного средства	250 кг
Масса стенда не более	700 кг

Конструкция стенда должна быть из недорогой конструкционной стали и других доступных элементов отечественного производства. Номенклатура покупных элементов должны быть доступны на рынке.

В процессе проектирования технические характеристики испытательного стенда были существенно расширены и уточнены. Это было вызвано предполагаемым расширением номенклатуры испытываемых транспортных средств с учётом перспективы на 5-10 лет, таблица 2.

Таблица 2 – Дополненные характеристики испытательного стенда

Показатель	Значение
Диапазон регулирования амплитуды динамических сил	0...500 кДж
Диапазон измерений датчика крутящего момента	0...300 Н·м
Диапазон регулировки колесной базы	800...1500 мм
Диапазон измерения размаха виброперемещения	1...1000 мкм;
Диапазон рабочих частот при измерении виброускорения	2...10000 Гц
Диапазон рабочих частот при измерении виброскорости	10...2000 Гц
Диапазон рабочих частот при измерении виброперемещения	10...1000 Гц

Целесообразно использовать рамную конструкцию каркаса с использованием труб. Жёсткость конструкции обеспечивается на основе треугольных элементов. После проработки нескольких вариантов эскизных проектов, были рассчитаны ориентировочные калькуляции изготовления каждого из вариантов конструкции.

Точность и достоверность результатов испытаний определяется типом применяемой измерительной аппаратуры и регистрирующих технических средств. Достоверный выбор технических средств оказывает влияние на качество испытательного процесса. Основными элементами регистрирующей технической системы являются датчики.

Экономический анализ затрат

При анализе был проработан определённый объём специальной литературы [1-5].

Поскольку затраты были неоднородными, необходимо было их разгруппировать. На практике есть несколько видов группировок [2, 3]. За основу взяли группировку по способу отнесения на себестоимость (прямые и косвенные расходы). При этом опирались на нормативную базу [6] и методические рекомендации [7 - 9].

Прямые расходы составили сумму всех затрат, непосредственно идущих на стенд. Важное значение имеет стоимость металла и прокатных профилей, которые производятся в Союзном государстве в достаточном количестве, в широком ассортименте и по приемлемым, ниже общемировых, ценам. Некоторые изделия, например датчики, предприятие может приобрести в дружественных странах, таблица 3.

Таблица 3 – Оборудование, покупные изделия и материалы (ориентировочно)

№	Наименование оборудования	Вид (марка)	Кол. шт.
1	Переносной регистратор-анализатор	Регистратор электронный многоканальный Ф1772	1
2	Весы платформенные	ВСП4- 1000.2В9 1000* 750	2
3	Датчик крутящего момента $\pm 300\text{Н}^*\text{м}$	МА20В-300-Т45/USB	3
4	Прочие датчики		
5	Компьютер	(монитор, мышь, клавиатура, системный блок)	1
6	Металл в ассортименте	(сталь, алюминий, дюралюминий и т.д.)	-
7	Крепёж и расходные материалы	(болты, винты, гайки, шайбы, шплинты припой, флюс, изолента)	-
8	Пневмосистема	пневмоцилиндры 10, пневмоклапаны 2-3, манометры 10	-
9	Комплектующие в ассортименте и запасные части	реле, кабели, датчики, платы, платы управления, контроллеры и др.	-

При проектировании оригинальной рамной конструкции большое влияние имеют геометрические параметры используемых элементов рамы (размеры, материал и конфигурация профиля). Жёсткость рамной конструкции будет также зависеть от структуры сочленения элементов рамы. Возможно множество вариантов конструкции. После технических расчётов часть из вариантов была отклонена как не удовлетворяющая требованиям технического задания. Оставшиеся варианты конструкции анализировались на предмет экономических показателей. Из материала рамного каркаса был выбран сплав на основе алюминия. Обладая невысоким весом алюминиевые рамы могли иметь несколько сечений профиля, которые позволяли добиться необходимой жёсткости конструкции. Виды рассматриваемых профилей приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Варианты используемого профиля элементов рамы

Вариант	Название	Особенности
А	Круглая труба	Равнопрочная и равножёсткая, повышенная сложность монтажа и сборки
Б	Квадратная труба	Пониженная жёсткость при изгибе
В	Сочетание квадратной трубы и уголка	Повышенная сложность при монтаже
Г	Профильная труба	Оптимальное сочетание прочности и жёсткости при сложной нагрузке

Укрупнённый расчёт себестоимости изготовления элементов рамной конструкции в зависимости от профиля сечения включает в себя стоимость изготовления элементов рамной конструкции, механосборочные работы, контроль и испытание на прочность, жёсткость, сохранение целостности при сложных динамических нагрузках. Результат расчётов приведён в таблице 5.

Таблица 5 – Себестоимость изготовления вариантов рамной конструкции (без учёта других составляющих, которые примерно одинаковы), тыс. руб.

Вид работ	Вариант рамной конструкции			
	А	Б	В	Г
Поиск и покупка материала	0,9	1,1	1,2	1,1
Механическая обработка	1,3	1,2	0,9	0,5
Сборка	3,5	2,8	2,9	3,2
Всего	5,7	5,1	5,1	4,9

Для рамной конструкции было принято решение использовать алюминиевый конструкционный профиль AlMg0,7Si 6063 T6 по ГОСТ 22233-2018 так как он соответствует необходимой жёсткости, прочности и простоты сборки.

Косвенные расходы вызвали определённые сложности, поскольку завод имеет несколько направлений деятельности. Подобная проблема имеет место и в зарубежной практике [10].

Поэтому мы допустили некоторые упрощения: 1) трудоёмкость производства сварочных и механосборочных работ; 2) затраты на отладку и регулировку были приняты примерно одинаковыми для всех вариантов.

Выводы. Широкое развитие кооперации, международной торговли, аутсорсинга не исключает изготовление отдельных видов продукции собственными силами. Это оправданно, если предприятие имеет собственную производственную базу, есть квалифицированные специалисты, а изготавливаемый объект достаточно сложный и имеет специфику применения.

Такой подход позволяет сократить время заказа объекта, избежать многочисленных согласований с изготовителем, уточнений и ошибок, обойти санкционные ограничения. При этом предприятие не переплачивает за брендовую составляющую, за избыточные опции, которые добавляют поставщики, за таможенные затраты и страховку, логистику поставок.

Список использованной литературы

1. Савицкая, Г. В. Анализ хозяйственной деятельности и нормативное калькулирование: учеб.-метод. пособие / Г. В. Савицкая. – 2-е изд. – Минск: Новое знание, 2022. – 312 с.
2. Алексеев, В. С. Калькуляция и сметное нормирование в приборостроении: учебное пособие / В. С. Алексеев. – СПб.: Лань, 2023. – 245 с.
3. Баранов, П. А. Ценообразование на инновационную продукцию машиностроения: монография / П. А. Баранов, К. Р. Сидорова. – М.: ИНФРА-М, 2024. – 189 с.
4. Кочетов, Н.В. Аналитические модели повышения конкурентоспособности машиностроения. Минск: Право и экономика, 2020. 234 с.

5. Любушкин, Н. П., Бабичева, Н. Э. Финансовый анализ: учебник. М.: Эксмо, 2010. – 336 с.

6. Об утверждении Основных положений по составу затрат, включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг): постановление Минэкономики Респ. Беларусь от 12.12.2022 № 187 // Эталон – Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.

7. Богданович, А. И. Методы калькулирования себестоимости в промышленности Республики Беларусь: современные подходы / А. И. Богданович. – Минск: БелНИИЭ, 2022. – 156 с.

8. Калькулирование себестоимости в условиях цифровизации: сб. науч. тр. / под ред. Л. П. Савицкой. – Минск: БГЭУ, 2023. – 210 с.

9. Коротков, А. Д. Сметное дело в приборостроении: Справочник / А. Д. Коротков. – М.: Академия, 2022. – 312 с.

10. Роберт С. Каплан, Робин Купер. Функционально-стоимостной анализ. Практическое применение. Williams, 2007, 352 с.

УДК 631.333 –189.2

Жешко А.А., кандидат технических наук, доцент

РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрен алгоритм вычисления эксплуатационных показателей машин для внесения твердых минеральных удобрений.

Annotation. The design features of technical means for high-precision application of solid mineral fertilizers are considered.

Ключевые слова: разбрасыватель удобрений, коэффициент использования времени смены, производительность, расход топлива, алгоритм, эксплуатационные показатели.

Keywords: fertilizer spreader, shift time utilization factor, productivity, fuel consumption, algorithm, operational indicators.

Технические средства химизации земледелия являются машинами общего назначения, которые используются для обработки всех сельскохозяйственных культур [1]. К ним относятся комплексы машин для внесения твердых и жидких минеральных удобрений; твердых, жидких и полужидких органических удобрений, химических мелиорантов и пестицидов. Приоритет названных машин подтверждается тем, что доля их использования в технологиях возделывания всех без исключения сельскохозяйственных культур составляет 40 % и более [2], включая основное, припосевное, подкормочное внесение удобрений, операции по борьбе с вредителями, сорняками и болезнями при уходе за

сельскохозяйственными культурами, а также технологические операции по известкованию почв [3]. В связи с тем, что машины химизации используются с ранней весны до поздней осени, их годовая загрузка выше, чем у другой сельскохозяйственной техники. Кроме того, работа машин для внесения удобрений сопряжена с взаимодействием с агрессивными средами, что возлагает определенные требования к обеспечению их надежности [4].

Одним из критериев оценки эффективности работы машин для внесения удобрений является их производительность. Представим производительность машины для внесения удобрений W_p как функцию от ширины захвата B и объема бункера V , т. е. $W_p = f(B, V)$. Для этого выразим коэффициент использования времени смены τ , который в данном случае определяется как отношение времени основной работы по внесению удобрений t_p к действительному времени смены t_d , т. е. $\tau = t_p/t_d$.

Тогда, учитывая, что $\tau = t_p/t_d$, для определения коэффициента времени смены получим формулу

$$\tau = \frac{10\gamma V(T - t_{to} - t_{ot} - t_{pz})}{TBHv_p \left(\frac{2l_{tp}}{v_{tp}} + \frac{10\gamma V}{BHv_p} + \frac{\gamma V}{W_z} + t_{pd} + t_x \right)}. \quad (1)$$

где γ – плотность минеральных удобрений, кг/м³; V – объем бункера, м³; T – время смены, ч; t_{to} – время на техническое обслуживание агрегата, ч; t_{ot} – время на отдых и личные надобности оператора, ч; t_{pz} – подготовительно-заключительное время, ч; B – ширина захвата штанговой машины, м; H – норма внесения минеральных удобрений, кг/га; v_p – рабочая скорость движения агрегата, км/ч; W_z – производительность загрузчика минеральных удобрений, кг/ч; l_{tr} – расстояние транспортировки, км; v_{tr} – транспортная скорость разбрасывателя, км/ч; t_{pd} – время необходимое для подъезда загрузочного средства к разбрасывателю, ч; t_x – общее время, затрачиваемое на развороты во время разгрузки 1 бункера удобрений, ч;

Производительность разбрасывателя удобрений составит

$$\begin{aligned} W_p &= 0,1Bv_p\tau = \frac{\gamma V(T - t_{to} - t_{ot} - t_{pz})}{TH \left(\frac{2l_{tp}}{v_{tp}} + \frac{10\gamma V}{BHv_p} + \frac{\gamma V}{W_z} + t_{pd} + t_x \right)} = \\ &= \frac{\gamma V(T - t_{to} - t_{ot} - t_{pz})}{TH \left(\frac{2l_{tp}}{v_{tp}} + \frac{10\gamma V}{BHv_p} + \frac{\gamma V}{W_z} + t_{pd} + \frac{(2\xi(l_T + l_p) + 8R_0) \left(\frac{10^4 \gamma V}{BHL_g} - 1 \right)}{10^3 v_p} \right)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Необходимо отметить, что формула (2) позволяет определить производительность разбрасывателя удобрений в зависимости от конструктивных параметров и конкретных производственных условий.

Алгоритм функционирования программного приложения для расчета эксплуатационных показателей машин для внесения удобрений представлен на рис. 1.

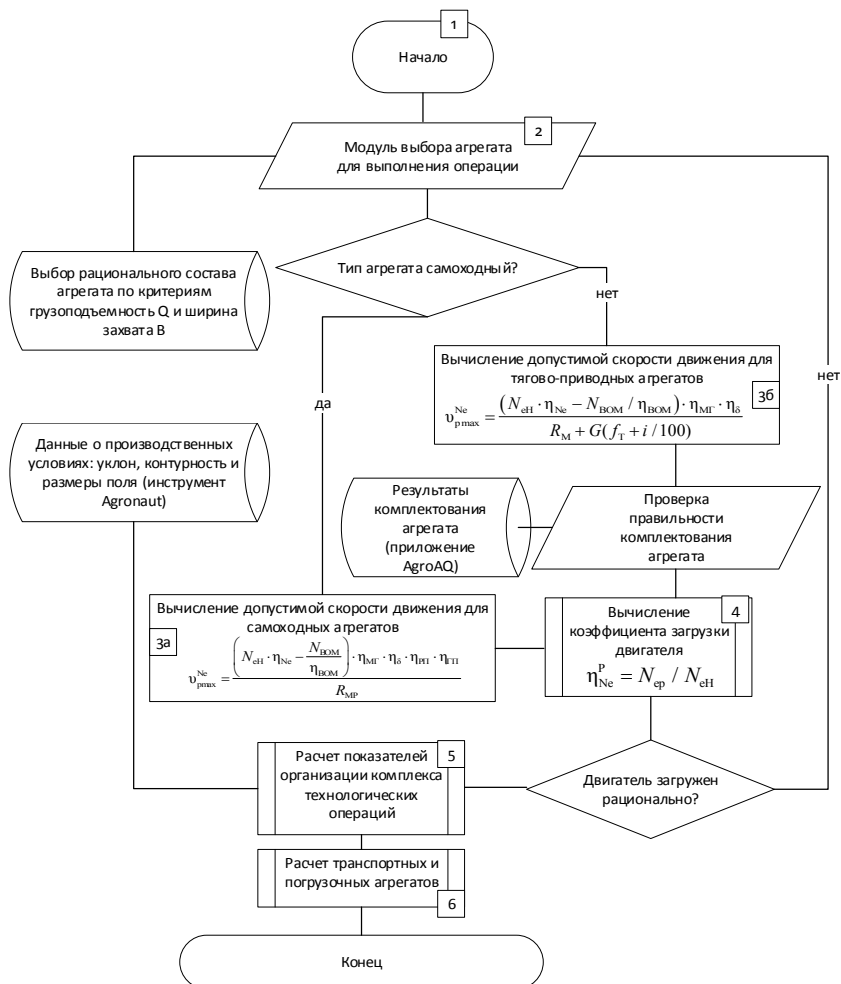


Рисунок 1 – Алгоритм функционирования программного приложения для расчета эксплуатационных показателей машин для внесения удобрений

На модуль выбора агрегата для выполнения операции 2 подается информация о имеющейся в распоряжении технике для внесения удобрений и данные о характеристике обрабатываемого участка. Далее по критериям грузоподъемности и ширины захвата разбрасывателя определяется наиболее производительный состав агрегата с учетом конкретных производственных условий.

В блоке проверки типа агрегата происходит переход к определению допустимой скорости движения по загрузке двигателя. Для тягово-приводных агрегатов выполняется проверка правильности комплектования с учетом функционала приложения AgroAQ, а также проводится дополнительная проверка загрузки двигателя. Далее выполняются расчеты для комплекса технологических операций с учетом данных о конкретных производственных условиях, после чего результаты вычислений передаются в блок расчета вспомогательных транспортных и погрузочных агрегатов в зависимости от особенностей организации процесса внесения удобрений.

Предлагаемая функциональная модель и алгоритм (рис. 1) реализованы в программном приложении для расчета эксплуатационных показателей машин внесения удобрений (рис. 2). Видно, что форма состоит из заголовка 1, блока ввода исходных данных 2, блока выбора основного агрегата для внесения удобрений 3, блока выбора погрузочного агрегата 4, блока ввода данных о составляющих времени смены 5.

Список использованной литературы

1. Научно-технические основы построения машин химизации земледелия / Л. Я. Степук [и др.] / НПЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва, БГСХА. – Гомель: БГСХА, 2022. – 410 с.
2. Степук, Л. Я. О качестве, количестве и экономической эффективности машин для внесения удобрений / Л. Я. Степук, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. / НПЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2009. – Вып. 43. – С. 14–19.
3. Степук, Л. Я. Сравнительная оценка отечественных и зарубежных разбрасывателей твердых минеральных удобрений (грузоподъемность и масса) // Л. Я. Степук, А. А. Жешко, С. А. Антошук / Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. / НПЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2010. – Т.1. – С.54–59.
4. Степук, Л. Я. К вопросу оптимизации количественного состава парка машин химизации / Л. Я. Степук, А.А. Жешко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. / НПЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2012. – Т. 1. – С.119–128.

Summary. An algorithm for the functioning of a software application for calculating the performance of fertilizer machines is proposed. The implementation of the proposed algorithm in a software application allows calculating the technical, economic and operational parameters of machines for applying mineral fertilizers for specific production conditions.

Жешко А.А., кандидат технических наук, доцент

РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАШИН ХИМИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Аннотация. Представлены результаты разработки программного приложения для комплектования машин химизации земледелия.

Annotation. The results of the development of a software application for completing agricultural chemicalization machines are presented.

Ключевые слова: заделка удобрений, внутрипочвенное внесение, дисковая борона, рабочие органы, почвообработка, распределение удобрений.

Keywords: fertilization, intra-soil application, disc harrow, working organs, tillage, fertilizer distribution.

Существующие технологические схемы применения удобрений предполагают их сплошное и локальное внесение. В первом случае удобрения рассеивают по площади поля вспloшную и при последующей почвообработке их заделывают с использованием различных почвообрабатывающих машин: (плугов, лушильников, дискаторов, чизелей и комбинированных почвообрабатывающих агрегатов с различным сочетанием рабочих органов). Выбор конкретного рабочего органа для заделки не является определяющим, заделку совмещают с последующей обработкой почвы. Однако технологические операции по заделке удобрений в почву являются энергзатратными. На затраты энергии влияет в первую очередь тяговое сопротивление конкретного рабочего органа. В этой связи актуальным направлением является изучение зависимости тягового сопротивления от конструктивно-технологических параметров заделывающих рабочих органов.

Как показали исследования [1, 2], наиболее эффективными для заделки удобрений являются дисковые рабочие органы. Как видно из рисунка 1 при заделке дисковым рабочим органом основная доля удобрений локализуется на глубине 0 – 10 см. Необходимо отметить, что использование бороны с чрезмерным углом атаки приводит к отбрасыванию почвы что снижает качество заделки [3, 4].

На величину тягового сопротивления заделывающих рабочих органов влияет значительное количество факторов, таких как тип почвы, ее влажность и гранулометрический состав, глубина обработки, скорость движения агрегата, засорённость участка камнями, вид предшествующей механической обработки и другие параметры. Для изучения тягового сопротивления различных рабочих органов для заделки минеральных удобрений нами предложена тензометрическая экспериментальная

установка, оснащенная универсальным креплением, что позволяет исследовать тяговое сопротивление рабочих органов и их комбинаций как в лабораторных, так и в полевых условиях. Конструкция универсального крепления позволяет устанавливать дисковые рабочие органы на пружинных стойках, стойках с резиновыми демпферами и цилиндрических выдвижных стойках.

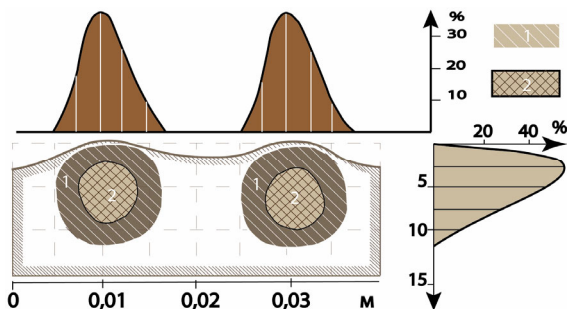


Рисунок 1 – Распределение удобрений в почве после сплошного внесения и заделки передней секцией дисковой бороны 1 – 30%, 2 – 70% удобрений

С целью получения регрессионных моделей зависимости тягового сопротивления различных рабочих органов при их использовании для заделки удобрений проводились экспериментальные исследования на различных агротехнических фонах, с варьированием рабочей скорости, глубины обработки, угла атаки и других значимых факторов рабочих органов для заделки удобрений в почву.

По результатам выполненных исследований построены математические модели, которые позволяют определять тяговое сопротивление рабочих органов для основной обработки почвы в зависимости от значимых факторов. Полученные модели интегрированы в программное приложение и являются основной при выполнении тягового расчета [5, 6, 7].

Программное приложение реализовано для платформы Android и имеет интуитивно-понятный интерфейс для работы с основными и вспомогательными модулями. Реализация приложения представлена в виде скриншотов эмулятора смартфона на рисунке 2.

В верхней части каждого из экранов располагается меню перехода к соответствующим окнам: исходные данные, каталог рабочих органов, каталог сельскохозяйственных машин, каталог тракторов, справочная информация.

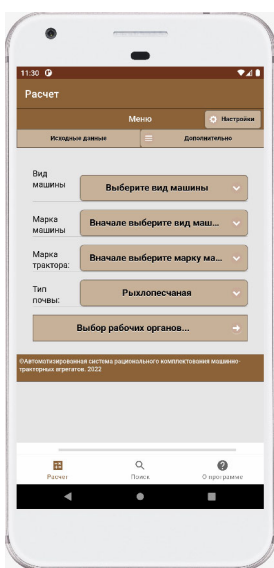
В нижней части приложения располагается навигационное меню для перехода к расчетам, поиску техники в сети, к окну информации о приложении. Исходными данными являются: техническая характеристика энергетического средства; техническая характеристика

сельскохозяйственной машины для основной обработки почвы; данные о конкретных производственных условиях, в которых предполагается эксплуатировать скомплектованный агрегат.

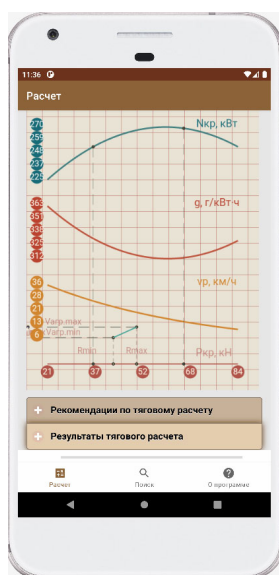
На основном фрагменте экрана, загружаемом по умолчанию при запуске приложения, располагается меню выбора исходных данных – вида и марки машины, марки трактора и типа почвы (рисунок 2, а). Информация о конкретных производственных условиях, таких как тип почвы и агротехнический фон, а также другие расчетные параметры хранятся в базах данных системы. Для учета таких параметров в процессе выполнения расчета достаточно выбрать из выпадающего списка «Тип почвы» соответствующее значение.

Окно с потенциальной характеристикой содержит график, который отражает основные результаты вычислений рациональности комплектования машинно-тракторного агрегата (рисунок 2, б).

Результатом расчета будут являться графическая интерпретация потенциальной характеристики (рисунок 2, б) и краткая рекомендация по целесообразности комплектования выбранных агрегатов.



а)



б)

Рисунок 2 – Программное приложение для комплектования машин химизации земледелия

Кривая тягового сопротивления комплектуемой машины ограничена по оси ординат пунктирными прямыми, которые соответствуют значениям

максимальной и минимальной допустимой скорости, проекции точек пересечения ограничивающих линий с кривой тягового сопротивления соответствуют минимальному и максимальному значениям тягового сопротивления агрегата.

Таким образом, если кривая тягового сопротивления лежит внутри ограничивающих по мощности вертикальных пунктирных линий, как показано на рисунке, то агрегат для внутривспашечного внесения удобрений рационально комплектован для агрегатирования с выбранным энергетическим средством. Под графиком потенциальной характеристики располагаются информационные блоки с краткими рекомендациями по тяговому расчету и основными результатами тягового расчета.

Выполненные расчеты подтвердили корректность работы программного приложения для комплектования агрегатов внутривспашечного внесения минеральных удобрений с энергетическими средствами.

Список использованной литературы

1. Каплан, И.Г. Качество внесения удобрений – Миннеаполис, США. – 2004.
2. Каплан, И.Г. Обоснование параметров качества сплошного и локального внесения удобрений / И.Г. Каплан // Совершенствование процессов механизации земледелия и ремонта МТП. – Минск, ЦНИИМЭСХ, 1984. – С. 87–93.
3. Каплан, И.Г. Оценка качества распределения удобрений при их внесении / И.Г. Каплан, И.В. Румянцев. – Вестник сельскохозяйственной науки. – 1986. – №5. – С. 31 – 37.
4. Степук, Л. Я. Сравнительная оценка отечественных и зарубежных разбрасывателей твердых минеральных удобрений (грузоподъемность и масса) // Л. Я. Степук, А. А. Жешко, С. А. Антошук / Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. / НППЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2010. – Т.1. – С.54–59.
5. Степук, Л. Я. О качестве, количестве и экономической эффективности машин для внесения удобрений / Л. Я. Степук, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. / НППЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2009. – Вып. 43. – С. 14–19.
6. Степук, Л. Я. К вопросу оптимизации количественного состава парка машин химизации / Л. Я. Степук, А.А. Жешко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. / НППЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2012. – Т. 1. – С.119–128.
7. Ленский, А.В. Построение математических моделей для определения тягового сопротивления / А.В. Ленский, А.А. Жешко, А.А.Алетдинова // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Том 16. № 3. С. 96–106 DOI: https://doi.org/10.22450/199996837_2022_3_96

Summary. Based on the results of studies of the traction resistance of working bodies for embedding fertilizers in the soil, regression models have been built, which are used in the algorithm of operation of a software application that makes it possible to efficiently assemble a tractor unit for specific production conditions.

Толочко Н.К., доктор физико-математических наук, профессор;

Копчик Д.И., преподаватель-стажер

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ОСОБЕННОСТИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ТЕРМОПЛАСТОВ

Аннотация. Рассмотрены особенности процессов листовой штамповки термопластов. Намечены основные пути совершенствования этих процессов, связанные с определением рациональных значений температурных и силовых параметров штампования.

Abstract. The features of thermoplastic sheet stamping processes are examined. The main ways to improve these processes, related to determining rational values for temperature and force parameters of stamping, are outlined.

Ключевые слова: листовая штамповка, термопласты, параметры штампования.

Keywords: sheet metal stamping, thermoplastics, stamping parameters.

Применение пластиковых деталей для сельскохозяйственной техники вместо традиционных металлических позволяет повысить их эксплуатационные свойства, уменьшить массу и себестоимость. Характерным тому примером являются отвалы плугов, изготавливаемые из термопластов, в частности, из полиэтилена PE-1000, относящегося к категории сверхвысокомолекулярных полимеров [1].

В последние годы на предприятиях, занимающихся листовой штамповкой металлов, получили распространение штампы, у которых стальные матрицы и пуансоны не имеют монолитной конструкции, а состоят из секций в виде плоскопараллельных пластин, установленных с зазором относительно друг друга на матрицедержателе и пуансонодержателе и соответствующих по форме сечениям матрицы и пуансона плоскостями, перпендикулярными поверхности матрицедержателя и пуансонодержателя. Зазоры между секциями матрицы или между секциями пуансона могут быть сравнимы с толщиной секций и даже превышать их в 1,5-2 раза, так что вес матриц и пуансонов благодаря секционной конструкции уменьшается более чем в 2 раза. Как следствие, становятся меньше недостатки матриц и пуансонов, обусловленные их весом, в частности, снижаются сложность и стоимость изготовления, облегчается транспортировка, повышается степень ремонтопригодности.

В отличие от монолитных матриц и пуансонов, у которых формообразующие поверхности являются сплошными, секционные матрицы и пуансоны имеют, соответственно, секционные

формообразующие поверхности, состоящие из отдельных, отстоящих друг от друга участков. Тем не менее получаемые с помощью таких матриц и пуансонов стальные отвалы имеют высококачественную (гладкую, безрельфную) поверхность, что объясняется близкими значениями твердости матрицы и пуансона, с одной стороны, и штампуемой листовой металлической заготовки, с другой, даже если заготовка при штамповании подвергается предварительному нагреву.

При освоении технологии листовой штамповки термопластов предприятию в экономическом отношении желательно не проводить длительное и дорогостоящее технологическое перевооружение, а использовать прежнее штамповое оборудование с секционными матрицами и пуансонами, которое ранее служило для листовой штамповки металлов. Более того, секционные матрицы и пуансоны можно весьма эффективно производить с помощью аддитивной технологии листового ламинирования – Sheet Lamination (SL), получившей распространение в последние годы [2]. Дело в том, что SL-технология позволяет создавать детали сравнительно быстро и дешево непосредственно из металлических листов, что особенно актуально при производстве новых деталей, когда возникает необходимость в соответствующей штамповой оснастке, а именно в матрицах и пуансонах с новой геометрией формообразующих поверхностей, проектирование и изготовление которых традиционным путем является длительным и дорогостоящим.

Несмотря на указанные преимущества секционных матриц и пуансонов их применение для штампования пластиковых заготовок сопряжено с определенными проблемами, обусловленными существенными различиями в условиях штампования листовых пластиковых и металлических заготовок.

Одна важная особенность штампования листовой пластиковой заготовки состоит в том, что ее предварительно нагревают до размягчения термопластичного полимерного материала, из которого она приготовлена, в результате чего возникает опасность снижения качества поверхности штампуемой детали, а именно: образования на ней характерного полосчатого рельефа (типа последовательности борозд и грядок) из-за частичного вдавливания стальных секций матрицы и пуансона в нагретый лист из термопласта [3]. Появление вмятин в отштампованной пластиковой заготовке обусловлено тем, что штампование происходит в соответствии с типовым процессом термоформования термопластов, когда заготовка нагревается до такой температуры, при которой термопласт переходит в высокоэластическое состояние, т.е. настолько сильно размягчается, что может деформироваться при сравнительно слабых механических воздействиях [4]. Как следствие, величина изгибающих

усилий, необходимая для формования листа термопласта, нагретого до такой температуры, может оказаться достаточной для вдавливания в него стальных секций матрицы и пуансона.

Другая важная особенность штампования листовой пластиковой заготовки состоит в том, что отштампованная деталь после извлечения из штампа не всегда сохраняет заданную форму, приобретенную первоначально в результате штамповки. Нередко наблюдается явление пружинения (springback) – частичное возвращение отштампованной детали к ее плоской форме исходной листовой заготовки, приводящее к снижению точности формования. Явление пружинения давно известно в практике штамповки и гибки различных листовых материалов, причем, в большей мере оно изучалось применительно к металлам, в меньшей – применительно к полимерным материалам. В частности, остаются практически не изученными закономерности пружинения сверхвысокомолекулярных полимеров (типа полиэтилена PE-1000), отличающихся особой молекулярной структурой и, как следствие, особыми механическими свойствами.

Таким образом, при осуществлении штампования листовых термопластов приходится сталкиваться с двумя взаимосвязанными проблемами, из них первая – проблема предотвращения образования отпечатков секций матрицы и пуансона на поверхности штампуемого листа термопласта, вторая проблема предотвращения пружинения.

Для решения первой проблемы применяют два основных технологических подхода. Согласно первому подходу, секционные матрицы и пуансоны оснащают металлическими листовыми защитными накладками, которые устанавливают на участках поверхности секций матрицы и пуансона, обращенных друг к другу, создавая тем самым сплошные формообразующие поверхности, аналогичные тем, которые имеются у монолитных матриц и пуансонов [1]. Такой подход приводит к трудоемкой и длительной технологической подготовке производства, а также к повышенной стоимости штампования деталей. Поэтому более предпочтительным является второй подход, лишенный этих недостатков, согласно которому секционные матрицы и пуансоны используют без защитных накладок, но при этом необходимо экспериментальным путем подбирать подходящие значения температуры нагрева формующего листа термопласта и изгибающего усилия формования, при которых обеспечивается заданное изменение формы листа и вместе с тем предотвращается вдавливание секций матрицы и пуансона в лист, размягченный в результате нагрева [3].

Необходимость подбора рациональных значений тепловых и силовых параметров процесса штампования, в свою очередь, требует проведения

соответствующих испытаний, характер и результаты которых могут быть различными с учетом таких факторов, как размеры штампуемой листовой пластиковой заготовки и вид термопласта, из которого она изготовлена (его термомеханические свойства); величина полного прогиба заготовки (радиуса гибки), достигаемого при штампования; особенности секционного строения матриц и пуансонов. В ходе этих испытаний необходимо определить возможные сочетания минимальных значений температуры нагрева пластиковой заготовки и давления штампования, при которых, с одной стороны, обеспечивается полный прогиб размягченной в результате нагрева заготовки, а с другой – не допускается вдавливание ребер секций матрицы и пуансона в поверхность заготовки с образованием в ней вмятин.

Для решения второй проблемы, как и первой, применяют два основных технологических подхода. Согласно первому подходу, широко распространённому в практике листовой гибки металлов, осуществляют перегиб – формирование детали за пределами целевого угла (величина перегиба обычно определяется экспериментально). Однако в случае штамповки деталей со сложной геометрией такой подход связано с необходимостью изготовления специальных матриц и пуансонов с соответствующей геометрией формообразующих поверхностей, что приводит к трудоемкой и длительной технологической подготовке производства, а также к повышенной стоимости штампования деталей (по аналогии с первым подходом, используемым для решения первой проблемы). Поэтому более предпочтительным является второй подход, лишенный этих недостатков, согласно которому необходимо экспериментальным путем подбирать подходящие значения температуры нагрева формируемого листа термопласта и температуры его охлаждения, когда он, будучи отформованным, находится в зажатом состоянии между матрицей и пуансоном с учетом факторов пружинения, к которым относятся, как и в случае решения первой проблемы, размеры штампуемой листовой пластиковой заготовки и вид термопласта, из которого она изготовлена (его термомеханические свойства) [5, 6].

Следует заметить, что разные полимерные материалы характеризуются различиями не только в характере внешнего проявления пружинения, но и в его механизмах, которые зависят от особенностей механических свойств полимеров, определяемых их молекулярной структурой. Проводившиеся до сих пор исследования пружинения в основном относились к высокомолекулярным полимерам. Что же касается особенностей пружинения сверхвысокомолекулярных полимеров, то они на сегодняшний день остаются почти не исследованными. Поэтому представляет особый интерес изучение пружинения сверхвысокомолекулярных полимеров, в частности, полиэтилена РЕ-1000,

механические свойства которых определяются их уникальной молекулярной структурой, отличающейся наличием сверхдлинных молекулярных цепей.

Таким образом, дальнейшее совершенствование процессов листовой штамповки термопластов, в том числе с использованием секционных матриц и пуансонов, изготавливаемых с помощью аддитивной технологии листового ламинирования, связано с необходимостью комплексного исследования закономерностей протекания этих процессов, в частности, определения рациональных значений температурных и силовых параметров штампования, при которых обеспечивается заданное формоизменение листовой пластиковой заготовки и вместе с тем предотвращается вдавливание секций матрицы и пуансона в размягченный при нагреве лист термопласта, а также пружинение отштампованной детали после снятия усилия штампования.

Список использованной литературы

1. Толочко Н.К. [и др.]. Изготовление оснастки для листовой штамповки пластиковых отвалов плугов с использованием аддитивной технологий листового ламинирования // Перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь: сб. докл. Междунар. науч.-практ. симп., Минск, 27 сент. 2023 г. / Нац. акад. наук Беларуси, ГНПО порошковой металлургии; редкол.: А.Ф. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2023. – С. 144-149.
2. Толочко Н.К. [и др.]. Изготовление металлических деталей сельхозтехники с использованием аддитивной технологии листового ламинирования // Механика машин, механизмов и материалов. – 2025. – №1. С. – 59-65.
3. Толочко Н.К. [и др.]. Технологические особенности листовой штамповки термопластичных полимерных материалов // Агропанорама. – 2024. – №6. – С. 8-14.
4. Шерышев М.А. Технология переработки полимеров: изделия из полимерных листов и пленок: учебное пособие для вузов / М.А. Шерышев. –Москва: Издательство «Юрайт», 2024. – 644 с.
5. Zakaria M. [et al]. Spring-back of thick curved uni-directional carbon fibre reinforced composite laminate for aircraft structure application // Int. J. Recent Technology and Engineering (IJRTE). – 2019. – V. 7, Iss. 6S. – P. 224-228.
6. Ozdemir A.O., Subasi M., Karatas C. Investigating the effects of forming parameters on molding force and springback in deep drawing process of thermoplastic composite laminates // Journal of Science (GU J. Sci.). 2021. No 34. P. 506-515

Summary. The features of thermoplastic sheet stamping processes are examined. It is shown that further improvement of these processes, including the use of sectional dies and punches manufactured using additive sheet lamination technology, requires a comprehensive study of their regularities. Specifically, it is necessary to determine rational values for temperature and force parameters of stamping that ensure the desired shape change of the sheet plastic blank while preventing the indentation of the die and punch sections into the thermoplastic sheet, which has softened during heating, and preventing springback of the stamped part after the stamping force is removed.

Ружьев В.А.¹, кандидат технических наук, доцент;

Калинин А.Б.¹, доктор технических наук, доцент;

Теплинский И.З.¹, кандидат технических наук, профессор;

Ловкис В.Б.², кандидат технических наук, доцент

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», г. Пушкин, Российская Федерация

² Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ЗНАКОПЕРЕМЕННАЯ ДЕФОРМАЦИЯ В ВОПРОСЕ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОЧВОРЕЖУЩУЮ ЧАСТЬ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Аннотация. В статье рассматривается взаимосвязь между физикой знакопеременного деформирования металлов, в частности эффектом Баушингера, и технологиями упрочнения рабочих органов сельскохозяйственной техники. Проанализированы механизмы изменения механических свойств материалов при циклических нагрузках и влияние термической обработки на эти процессы. На основе патентных данных предложены рекомендации по оптимизации параметров наплавки износостойких покрытий с учетом остаточных напряжений и структурных превращений в зоне термического влияния.

Abstract. This article examines the relationship between the physics of alternating metal deformation, specifically the Bauschinger effect, and hardening technologies for agricultural machinery. The mechanisms underlying changes in the mechanical properties of materials under cyclic loads and the influence of heat treatment on these processes are analyzed. Based on patent data, recommendations are proposed for optimizing the deposition parameters of wear-resistant coatings, taking into account residual stresses and structural transformations in the heat-affected zone.

Ключевые слова. эффект Баушингера, знакопеременная деформация, износостойкое покрытие, рабочие органы почвообрабатывающих машин, наплавка, остаточные напряжения.

Key words. Bauschinger effect, alternating deformation, wear-resistant coating, working parts of tillage machines, surfacing, residual stresses.

Эксплуатация почвообрабатывающих машин сопряжена с интенсивным абразивным износом рабочих органов, таких как диски борон и лемехи плугов. Традиционные методы повышения твердости поверхности не всегда обеспечивают долговечность из-за сложного характера нагрузок, включающего ударные воздействия и циклическое изменение знаков напряжений в процессе взаимодействия с уплотненным слоем почвы. В связи с этим актуальной становится изучение поведения материала не только под статической нагрузкой, но и в условиях знакопеременного деформирования [1, 2, 3]. Одним из ключевых физических явлений, опреде-

ляющих сопротивление материала повторному нагружению противоположного знака, является *эффект Баушингера*. Понимание природы данного эффекта позволяет корректировать технологические процессы нанесения защитных покрытий для максимизации ресурса деталей.

Эффект Баушингера, суть которого заключается в том, что после нагружения в одном направлении сопротивление материала малым пластическим деформациям при нагружении в обратном направлении снижается. Это проявляется в уменьшении пределов упругости и текучести при смене знака нагрузки.

Исследования на примере конструкционных сталей демонстрируют, что характер упрочнения или разупрочнения зависит от схемы нагружения [3, 4, 5]. При циклическом изгибе без промежуточной обработки наблюдается разупрочнение в зоне локализованной деформации. Однако применение термической обработки (отпуска) между циклами устраняет эффект Баушингера и способствует интенсивному упрочнению. В частности, нагрев до 300°C приводит к полигонизации субструктуры зерен, что повышает предел текучести до уровня предела прочности.

Важно отметить, что при сдвиговой деформации механизм упрочнения действует независимо от реверсивности нагружения, и эффект Баушингера не фиксируется. Это указывает на то, что дислокационные механизмы могут по-разному активироваться в зависимости от типа напряженного состояния. Для рабочих органов с.-х. машин, испытывающих комплексное нагружение (изгиб, удар, трение), учет этих различий критически важен при выборе режимов упрочнения.

Существующие методы восстановления и упрочнения почворезущих деталей часто используют наплавку [6, 7, 8]. Однако сплошное покрытие может приводить к перегреву тонкостенных элементов и короблению. Перспективным решением является дискретное нанесение износостойкого материала.

Анализ патентных решений показывает эффективность способа, включающего дуговую наплавку точек износостойким присадочным материалом большей плотности, чем основа детали [9, 10]. Ключевыми параметрами данной технологии являются: расположение точек вдоль линий армирования, параллельных режущей кромке; расстояние от кромки до линии армирования, равное ширине заточки рабочей грани, имеющей напряжения сжатия; шаг между линиями армирования не более трех диаметров точек; расположение точек в шахматном порядке с перекрытием промежутков основного металла; контроль ширины зоны термического влияния (не более 0,2 диаметра точки).

Такая геометрия нанесения обеспечивает равномерное заглубление детали в почву и снижение скорости износа в активной зоне трения (рис.1).

Формирование системы опережающих трещин в уплотненном слое почвы за счет ударного взаимодействия с точками наплавки уменьшает связность абразивных частиц.

Сопоставление данных о физике эффекта Баушингера и параметров наплавки позволяет выявить скрытые резервы повышения долговечности. Процесс дуговой наплавки по своей природе является циклическим термомеханическим воздействием. Каждая наплавленная точка вызывает локальный нагрев и последующее охлаждение основного металла, что аналогично циклам термообработки, исследованным в контексте эффекта Баушингера.

В патентной документации [9, 10] указано на создание напряжений сжатия на рабочей грани. Согласно теориям эффекта Баушингера, остаточные макроскопические напряжения, образованные при пластической деформации, влияют на сопротивление обратному нагружению. Контролируемое формирование сжимающих напряжений в поверхностном слое может компенсировать растягивающие нагрузки, возникающие при эксплуатации, тем самым нивелируя негативное проявление эффекта разупрочнения.



Рисунок 1 – Нанесенные износостойкие покрытия (точки) на почворезущую поверхность дискатора (апробация в полевых условиях)

Ограничение ширины зоны термического влияния (ЗТВ) (до 0,2 диаметра точки) способствует быстрому отводу тепла и предотвращает нарушение исходной структуры закалки основного металла. Это коррелирует с данными о том, что низкотемпературные нагревы могут закреплять дислокации. Если параметры наплавки подобраны так, что температура в ЗТВ соответствует режиму отпуска (около 300°C), это может привести к устранению эффекта Баушингера в подповерхностном слое и повышению его прочностных характеристик за счет полигонизации.

Рабочий орган дискатора испытывает знакопеременные нагрузки при вращении и взаимодействии с неоднородной структурой почвы (рис. 1). Если материал покрытия или основы склонен к эффекту Баушингера, это может привести к преждевременному снижению предела текучести в зонах контакта. Использование материалов и режимов, снижающих чувствительность к смене знака нагрузки (например, за счет легирования или формирования определенной дислокационной структуры), повысит стабильность свойств в процессе эксплуатации.

Расположение точек в шахматном порядке обеспечивает перекрытие промежутков основного металла. Это создает условия для многократного деформирования контактного слоя почвы, что снижает ее прочность. Однако для самого металла детали это означает распределение термических циклов. Необходимо, чтобы последующие циклы наплавки не вызывали разупрочнения ранее упрочненных участков из-за эффекта Баушингера, возникающего при термическом расширении и сжатии соседних зон.

На основе проведенного анализа можно сформулировать ряд рекомендаций для совершенствования технологии упрочнения почворезущих органов:

При выборе режимов наплавки следует учитывать температуру подогрева и межслойного охлаждения как инструмент управления структурным состоянием. Целесообразно стремиться к режимам, обеспечивающим кратковременный отпуск в зоне термического влияния для снятия вредных остаточных напряжений без потери твердости [11].

Геометрия нанесения покрытия должна учитывать направление основных эксплуатационных нагрузок [12]. Поскольку эффект Баушингера зависит от направления приложения нагрузки относительно направления прокатки или деформации, ориентация линий армирования должна быть оптимизирована под вектор сил сопротивления почвы.

Проблема повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин не может быть решена исключительно путем увеличения твердости поверхности. Необходимо учитывать кинетику изменения механических свойств материала под воздействием циклических нагрузок и термических циклов. Эффект Баушингера является важным фактором, определяющим сопротивление материала повторному деформированию противоположного знака.

Интеграция знаний о природе данного эффекта в технологию нанесения износостойких покрытий позволяет обоснованно выбирать параметры наплавки (шаг точек, температуру, последовательность). Создание напряжений сжатия на рабочей грани, контроль ширины зоны термического влияния и использование промежуточной термической обработки способствуют устранению негативных проявлений знакопеременной деформации. В результате достигается не только повышение микротвердости по-

верхности, но и стабилизация прочностных характеристик всего объема детали, что в совокупности приводит к значительному увеличению срока службы рабочих органов почвообрабатывающих машин в условиях интенсивного абразивного износа.

Список использованной литературы

1. Калинин А.Б., Ружьев В.А., Дзбук И.С., Гринько С.В., Суслов А.С. Рациональные режимы функционирования дисковых рабочих органов // Сельский механизатор. – 2016. – №1. – С. 8-9.

2. Ружьев В.А., Калинин А.Б., Теплинский И.З. [и др.] Совершенствование рабочих органов машин и орудий для обработки почвы на основе реологической модели почвенного состояния // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 11. – С. 163–174. – DOI 10.28983/asj.y2024i11pp163-174.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025613752 Российская Федерация. Методы и средства повышения эффективности технологических процессов функционирования почвообрабатывающих рабочих органов машин и орудий: заявл. 14.02.2025; опублик. 14.02.2025 / В.А. Ружьев, А.Б. Калинин, И.З. Теплинский [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО СПбГАУ.

4. Результаты применения современных сварочных технологий упрочнения рабочих элементов корпуса лемешного плуга / Д.А. Капошко, В.А. Ружьев, Н.М. Ожегов, В.П. Чеботарев // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК, Минск, 06-07 июня 2019 г. – Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2019. – С. 66–70.

5. Ружьев В.А., Ловкис В.Б., Криштанов Е.А., Смирнова Ю.И., Дзбук И.С. Режимы работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата с оптимизированными конструкционными параметрами рабочих органов // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – №3 (31). – С. 4–10.

6. Губарев В.Д., Ружьев В.А., Калинин А.Б. [и др.] Анализ технологического функционирования рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего агрегата при внесении конструктивных изменений // Известия Международной академии аграрного образования. – 2021. – № 56. – С. 12–15.

7. Методы наплавки износостойких покрытий на поверхности деталей почвообрабатывающих машин / Д.А. Капошко, А.А. Воронин, В.В. Ковалев [и др.] // Проблемы энергообеспечения, автоматизации, информатизации и природопользования в АПК: Сборник материалов международной научно-технической конференции, Брянск, 20-21 декабря 2016 г. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2016. – С. 5-16.

8. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин с учетом экологических требований / В.А. Ружьев, Н.М. Ожегов, Д.А. Капошко // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 38. – С. 254–259.

9. Патент № 2697747 С2 Российская Федерация, МПК В23К 9/04, С23С 26/00, В23Р 6/00. Способ нанесения износостойких покрытий на рабочую поверхность почворежущих деталей почвообрабатывающих машин: № 2017125899: заявл. 18.07.2017; опублик. 19.08.2019 / Н.М. Ожегов, В.А. Ружьев, В.Д. Сулеев.

10. Патент на полезную модель № 172891 U1 Российская Федерация, МПК A01B 15/16, A01B 23/06, B23K 9/04. Почвообрабатывающий сферический диск: № 2016137210: заявл. 16.09.2016: опубл. 28.07.2017 / Н.М. Ожегов, В.А. Ружьев, О.С. Кузьмин, Н.П. Григорьев.

11. Современные методы упрочнения дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин / Н.М. Ожегов, В.А. Ружьев, В.Д. Губарев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2(76). – С. 95–98.

12. Патент на полезную модель № 230333 U1 Российская Федерация, МПК A01B 13/08, A01B 49/02. Агрегат для основной безотвальной обработки почвы с низким тяговым сопротивлением: № 2024121631: заявл. 30.07.2024: опубл. 28.11.2024 / В.А. Ружьев, А.Б. Калинин, И.З. Теплинский [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО СПбГАУ.

Summary. The problem of increasing the wear resistance of agricultural machinery components cannot be solved solely by increasing surface hardness. It is necessary to consider the kinetics of changes in the material's mechanical properties under cyclic loads and thermal cycles. The Bauschinger effect is an important factor determining a material's resistance to repeated deformation of the opposite sign.

УДК 631.3:681.9

Копчик Д.И., преподаватель-стажер

*Учреждение образования «Белорусский Государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Рассматривается применение аддитивных технологий для восстановления и изготовления деталей сельскохозяйственной техники.

Abstract. The use of additive technologies for the repair and manufacturing of agricultural machinery parts is considered.

Ключевые слова. Аддитивные технологии, трехмерные (3D) изделия, 3D-принтер, 3D-печать.

Keywords. Additive technologies, three-dimensional (3D) products, 3D printer, 3D printing.

Аддитивные технологии (Additive Technologies) – это обобщенное название технологий изготовления трехмерных (3D) изделий по их компьютерным моделям путем последовательного добавления (наращивания) материала. Свое название (в буквальном переводе с английского – «добавляющие») они получили от английского слова «add» (добавлять) «вычитающим», или – в противоположность субтрактивным, традиционным технологиям (Subtractive Technologies), предусматривающим достижение требуемой формы изделия путем удаления («вычитания») материала с заготовки в результате ее механической, электроэрозионной и т.п. обра-

ботки. Аддитивные технологии обычно называют сокращенно АМ технологиями (Additive Manufacturing – аддитивное производство).[9]

Обзор литературы. В аддитивном производстве-технологии формирования трёхмерных объектов путём последовательного наращивания слоёв [3] – в качестве конструкционного материала применяется тонкодисперсный порошок, листовой материал и т. п., изготовленные как из различных металлов, так и из неметаллов. Оборудованием выступает 3D-принтер [4]. Многообразие используемых в последнее время материалов при 3D-печати даёт возможность выпускать изделия с разными свойствами, но лишь в отдельных случаях делает полученные детали пригодными для непосредственной эксплуатации в узлах машин. Особенно востребованной является печать деталей из металла. Это стало осуществимым благодаря разработке более совершенных технологий печати [1]. К сожалению, подобные способы изготовления металлических деталей на сегодняшний день всё ещё достаточно редко встречаются на предприятиях. Причина этого – крайне высокая стоимость оборудования, расходных материалов и в целом всей технологической цепочки [2]. Однако в работе [8] авторы, изучая применение технологии стереолитографии с использованием в качестве печатного материала фотополимера, утверждают, что применение дорогостоящих технологий в аддитивном производстве вполне оправдано, поскольку в итоге снижаются материальные и временные затраты.

Наряду с рассмотренными технологиями следует отметить и 3D-сканирование [6]. Эта технология даёт возможность создавать пространственные модели объектов в виде цифровых моделей (CAD-модели). Полученные модели деталей можно видоизменять, дорабатывать или просто копировать.

Сканирующее оборудование обладает достаточно высокой точностью (менее 10–15 микрон), что позволяет проводить сравнительный анализ проектной документации (исходной CAD-модели) и изготовленных деталей на предмет отклонений размеров и формы [7].

Сканирование позволяет формировать необходимую проектную документацию для последующего применения в производстве (особенно при выпуске деталей со сложной геометрией). 3D-сканирование широко применяется в различных инженерных расчётах [5].

Проведя обзор литературы, отметим, что в большинстве случаев авторы рассматривают отдельные технологии и этапы аддитивного производства. В целом же примеров полного технологического процесса – от проектирования до получения конечного товарного продукта – крайне мало.

Материалы и методы. В настоящее время в научных, образовательных и производственных организациях необходимо формировать структурные подразделения с соответствующим оснащением, позволяющим вести деятельность в области аддитивных технологий. В последнее время на базе предприятий и учебных заведений созданы и успешно действуют подразделения, занимающиеся сферой аддитивных технологий. Подобные

центры в своём техническом оснащении применяют высокотехнологичное оборудование, дающее возможность не только осуществлять проектирование, но и выпускать готовую продукцию. К примеру, в государственной корпорации РОСАТОМ реализуется бизнес-направление «Аддитивные технологии», в рамках которого организованы Центры аддитивных технологий общего доступа (ЦАТОД) с обучающими функциями. В 2025 году был открыт Центр аддитивных технологий в городе Минск. Центр оснащен двумя машинами, печатающими металлом по технологии селективного лазерного сплавления, установкой для печати песчано-полимерных форм для литья, а также 3D-сканером.

На базе Белорусского государственного аграрно технического университета открыта лаборатория аддитивных технологий, которая оснащена 3D принтерами, печатающими по технологии FDM и SLM также имеется 3D сканер.

Имеющееся оборудование и технологии позволяют получать изделия только из пластика. Широкая номенклатура деталей из полимеров, применяемых в узлах современных машин, пользуется большим спросом, и производство вышедших из строя пластиковых изделий очень востребовано.

Результаты работы: В качестве примера нами предложена последовательность реверс-инжиниринга изношенного корпуса туковысевающего аппарата. Сначала корпус туковысевающего аппарата следует сканировать и получить облако точек, затем преобразовать его в полигональную модель (рис. 1), полигональную поверхность преобразовать в твердотельную CAD-модель (рис. 2).

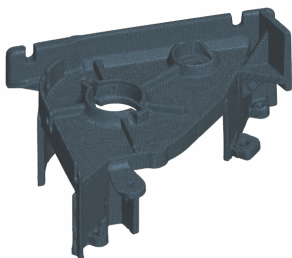


Рисунок 1 – Полигональная поверхность туковысевающего аппарата

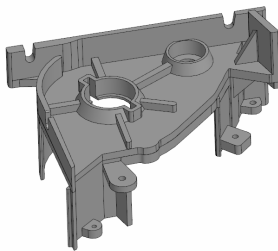


Рисунок 2 – Твердотельная CAD-модель туковысевающего аппарата

Применение наукоёмких современных методов аддитивного производства должно существенно сказаться на процессе восстановления работоспособности устройств, особенно импортного происхождения. Отсутствие необходимой номенклатуры запасных частей либо восстановленных элементов приводит к простоям машин и систем, что влечёт за собой значительные экономические потери. Использование аддитивных технологий позволяет отчасти решить указанные проблемы, оперативно изготавливать детали любой сложности и заметно сокращать время на их производство.

Список использованной литературы

1. Additive Manufacturing (3D Printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges / T. D. Ngo [et al.] // *Composites Part B: Engineering*. – 2018. – Vol. 143. – P. 172–196. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb> – Дата доступа: 27.04.2026
2. Анализ аддитивного оборудования для 3D-печати деталей / И. Г. Голубев [и др.] // *Технический сервис машин*. – 2019. – № 1 (134). – С. 194–200. – EDN: ZCGKNB.
3. Литунов, С. Н. Обзор и анализ аддитивных технологий. Часть 1 / С. Н. Литунов, В. С. Слободенюк, Д. В. Мельников // *Омский научный вестник*. – 2016. – № 1 (145). – С. 12–17. – URL: [Электронный ресурс]: <https://clck.ru/3DXM4T> – Дата доступа: 27.04.2026
4. Мальцева, О. В. Развитие мирового рынка 3D-принтеров / О. В. Мальцева // *Российский внешнеэкономический вестник*. – 2018. – № 9. – С. 88–97. – URL: [Электронный ресурс]: <https://journal.vavt.ru/rfej/article/view/1610> – Дата доступа: 27.04.2026.
5. Нефёлов, И. С. Восстановление изношенных деталей машин при помощи дополнительных ремонтных деталей, изготовленных методами аддитивных технологий / И. С. Нефёлов // *Ремонт, восстановление, модернизация*. – 2018. – № 11. – С. 15–17. [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.31044/1684-2561-2018-0-11-15-17> – Дата доступа: 27.04.2026
6. Перспективы применения аддитивных технологий при ремонте сельскохозяйственной техники / И. Г. Голубев [и др.] // *Труды ГОСНИТИ*. – 2018. – Т. 130. – С. 214–219. – EDN: YVGNHL
7. Rapid Prototyping for Assembly Training and Validation / A. Ahmad [et al.] // *IFAC-PapersOnLine*. – 2015. – Vol. 48, Issue 3. – P. 412–417. [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.116> – Дата доступа: 27.04.2026
8. Suryatal, B. K. Fabrication of Medium Scale 3D Components Using Stereolithography System for Rapid Prototyping / B. K. Suryatal, S. S. Sarawade, S. P. Deshmukh // *Jornal of King Saud Univercity – Engineering Sciences*. – 2023. – Vol. 35, Issue 1. – P. 40–52. [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.02.012> – Дата доступа: 27.04.2026
9. Толочко, Н. К. Аддитивные технологии в производстве и ремонте машин: учебное пособие / Н. К. Толочко, С. О. Нукешев, Н. Н. Романюк, С. И. Мендалиева; Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина. – Нур-Султан: [б. и.], 2022. – 192 с.

Summary. The application of high-tech modern additive manufacturing methods should have a significant impact on the process of restoring the functionality of devices, especially those of foreign origin. The lack of the necessary range of spare parts or restored components leads to downtime of machines and systems, which entails significant economic losses. The use of additive technologies makes it possible to partially solve these problems, quickly manufacture parts of any complexity, and significantly reduce the time required for their production.

Мисько В.Г., старший преподаватель

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ПРИ РАБОТЕ НА ПОЧВАХ С ПОВЫШЕННОЙ ИЗНАШИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Аннотация. В статье приведено теоретическое обоснование формирования абразивной прослойки при трении поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих машин в массе абразивных частиц, основанное на анализе их морфологии, свойств полидисперсной абразивной среды почвы, включающих ее гранулометрический состав, изнашивающую способность, а также сил, действующих на абразивные частицы в зоне контакта с поверхностью режущих элементов. Предложен технологический метод формирования топографии контактирующей поверхности рабочего органа, обеспечивающий ее защиту от изнашивания путем смещения абразивной прослойки в сторону почвенной среды.

Abstract. The article provides a theoretical justification for the formation of an abrasive layer during the friction of the surfaces of the working bodies of soil-processing machines in the mass of abrasive particles, based on an analysis of their morphology, the properties of the polydisperse abrasive soil medium, including its granulometric composition, wear capacity, and the dynamics of the abrasive particles in the contact zone with the surface of the cutting elements of the working bodies. A technological method is proposed for forming the topography of the working body's contact surface, which ensures its protection from wear by shifting the abrasive layer towards the soil medium.

Ключевые слова: абразивные частицы, самоорганизация процесса трения, зона контакта, абразивная прослойка, впадины неровностей, дисперсность почвенной среды, динамика абразивных частиц почвы.

Keywords: abrasive particles, self-organization of the friction process, contact zone, abrasive layer, irregularities, soil dispersion, and dynamics of soil abrasive particles.

Особенностью условий работы рабочих органов почвообрабатывающих машин является воздействие на их поверхности массы незакрепленных твердых (абразивных) частиц. Вследствие разной нагрузки и величин относительного перемещения абразивных частиц поверхности рабочих органов изнашиваются неравномерно [1]. Так, при вспашке песчаных и супесчаных почв насквозь протирается грудь отвалов тракторных плугов и изнашивается нижняя часть крыла отвала. Диски борон на глинистых почвах сильно затупляются, на песчаных почвах они изнашиваются по толщине. Казалось бы, что местам наибольшего износа должно соответствовать и наибольшее давление, однако нельзя пренебрегать и скоростью скольжения частиц в этих зонах. Установлено, что на всех почвах

наибольшее давление испытывает носок лемеха, а давление грунта у пятки на 40-50% меньше. Объясняется это тем, что пятка лемеха находится у открытой стенки борозды, где усилие деформации почвы значительно ниже. Степень воздействия давлением в значительной мере зависит от структуры и фракционного состава почвы. Структура почвы (ГОСТ 27593-88) отображает физическое строение ее твердой части и порового пространства, обусловленных размером, формой и расположением, как механических элементов, так и состоящих из них агрегатов. Интенсивность изнашивания металлических поверхностей рабочих органов в абразивной среде почвы обусловлена рядом специфичных условий: постоянно изменяющимися внешними условиями; коррозионно-механическим истиранием переменного характера; проявлением эффекта самоорганизации процессов трения; застреванием абразивных частиц во впадинах неровностей на контактируемых поверхностях. При малой высоте неровностей во впадинах застревают микрочастицы (глина), и в зоне контакта происходит преимущественно трение скольжения (рисунок 1, а), а с увеличением высоты неровностей (рисунок 1, б) во впадинах застревают и абразивные макрочастицы. Абразивные частицы могут занимать положение, в котором они имеют возможность проворачиваться при контакте с незакрепленными частицами почвы, в результате чего происходит истирание острых граней контактирующих частиц и они приобретают округлую форму. Вместе с тем, застрявшие частицы, контактируя с соседними абразивными частицами почвы, смещают их в сторону массы незакрепленных твердых частиц почвы. При этом округлая форма застрявшей частицы позволяет ей совершать вращательное движение под действием сил трения с соседними абразивными частицами почвы, частично превращая переход процесса трения скольжения в процесс трения качения, при котором уменьшается интенсивность изнашивания. Такая особенность процесса изнашивания создает в зоне трения своеобразный компенсатор, преобразующий трение скольжения в трение качения с проскальзыванием (аналогия природного явления – скольжение по булыжному дорожному покрытию). Кроме этого, изнашивание металлических поверхностей обусловлено одновременным механическим (абразивным) воздействием твердых частиц и химическим (коррозионным) воздействием жидкой составляющей порового пространства почвы.

При контакте рабочих органов с почвенной массой интенсивность изнашивания их поверхностей определяется, главным образом, механическим составом почвы, в частности, количеством абразивных частиц в почве и их твердостью, а также степенью их фиксации в почвенной массе. Чем больше в почве содержится песчаных частиц

размером (0,25...1,00) мм, тем больше абразивный износ металла. Наибольшее влияние на изнашивающую способность почвы оказывают минеральные частицы кварца и гранита (твердость HV 7...11 ГПа), являющиеся основной составной частью (36,6...70,8%) многих песчаных почв. В глинистых почвах таких частиц содержится меньше, поэтому интенсивность изнашивания рабочих органов на суглинистых и глинистых почвах значительно ниже, чем на песчаных.

Независимо от вида абразивных частиц их перемещение по контактируемой поверхности сопровождается микрорезанием, упругим и (или) пластическим деформированием материала детали. Поэтому почву рассматривают «как твердое тело с весьма шероховатой поверхностью и подвижным активным слоем» [1], а трение – как самоорганизующийся процесс [2], балансирующий трение и износ. Так как самоорганизация процесса формирования структуры контактирующей среды происходит с учетом указанных особенностей, то интенсивность изнашивания поверхности при трении в абразивной массе значительно ниже, чем при трении по закрепленному абразиву.

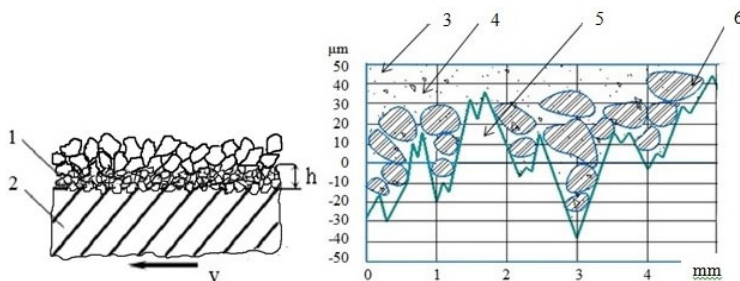


Рисунок – Схема контакта массы абразивных частиц с гладкой (а) и с шероховатой (б) поверхностями:

1, 5 – рабочий орган; 2, 3, 4 – слой почвы; 6 – абразивные частицы;
 h – толщина абразивной прослойки

Процесс взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающих машин при перемещении в почвенной среде сводится к воздействию на почву клина с плоской или криволинейной поверхностью, при этом происходит уплотнение скалывание, а затем и перемещение почвы по его рабочей поверхности [3]. Давление, оказываемое почвой на клин, зависит от характера деформирования, параметров клина, скорости перемещения, физико-механических свойств и состояния почвы. Абразивные частицы почвы под действием приложенного к ним давления и сдвигающего усилия производят его изнашивание. Абразивные частицы, находясь в контакте с поверхностью рабочего органа, совершают сложное движение, включающее вращение и проскальзывание. Такой характер движения

зависит от непрерывно изменяющихся сил, как по величине, так и по направлению, физико-механических свойств абразива, шероховатости поверхности изнашиваемой детали и ряда других факторов.

Особенности механизма изнашивания металлических поверхностей в абразивной среде почвы, заключающиеся во вдавливании абразивных частиц в контактируемый поверхностный слой, их сколжении и(или) перекатывании по поверхности изнашивания, могут служить ориентиром при создании технологических барьеров износу металлических поверхностей.

Закономерность распределения давлений на рабочих органах почвообрабатывающих и посевных машин при взаимодействии их с почвой мало изучена. Попытки ряда исследователей определить их экспериментальным путем не дали положительных результатов.

В. П. Горячкин, рассматривая точку приложения равнодействующей на корпус плуга, предполагал, что максимальное давление концентрируется ниже лезвия лемеха, в местах наибольшего износа. Это предположение вполне согласуется с основными закономерностями упругопластических деформаций твердых тел и общей теорией клина.

Зная закономерности перемещения абразивных частиц, можно подобрать размеры, форму и геометрические параметры рабочих органов почвообрабатывающих машин, обеспечивающие наибольшую долговечность в конкретных условиях эксплуатации.

На основании экспериментальных исследований установлено, что в почве с повышенной изнашивающей способностью, включающей 70% песчаной и 25% супесчаной, из всех содержащихся абразивных частиц 87% имеют округлую форму, в том числе 23% сферическую и 28% эллипсоидальную. Округлая форма абразивных частиц почвы способствует их перекатыванию при контакте с поверхностями рабочих органов и с другими твердыми частицами почвы, что снижает коэффициент трения контактирующих поверхностей.

Исследованием динамики абразивных частиц почвы в зоне контакта с поверхностями рабочих органов почвообрабатывающих машин установлено, что абразивные частицы эллипсоидальной формы совершают одновременно поступательное и вращательное движения относительно контактируемых поверхностей, оказывая на них деформирующее и царапающее воздействия.

Шероховатая поверхность рабочих органов задерживает движущиеся по ней абразивные частицы и шаржирует поверхность рабочего органа, что вынуждает образовавшуюся абразивную прослойку смещаться в сторону контактирующей почвенной среды, уменьшая изнашивание поверхностей рабочих органов.

Список использованной литературы

1. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М. М. Севернев[и др.]; под ред. М. М. Севернева. – Минск :Беларус. навука, 2011. – 333 с.
2. Тавтилов, И. Ш. Основы теории трения и изнашивания: учеб.пособие / И. Ш. Тавтилов, В. И. Юршев, А. С. Кириленко // 2-е изд., перераб. и доп.; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2021. – 192 с.
3. Горячкин, В. П. Теория, конструкции и производство сельскохозяйственных машин / В. П. Горячкин. деталей Москва: Сельхозгиз,1937. деталей – Т.3. – 1357 с.;Т.4. –1358 с.

Summary. The article provides a theoretical justification for the formation of an abrasive layer during the friction of the surfaces of the working bodies of soil-processing machines in the mass of abrasive particles, based on an analysis of their morphology, the properties of the polydisperse abrasive soil medium, including its granulometric composition, wear capacity, and the dynamics of the abrasive particles in the contact zone with the surface of the cutting elements of the working bodies. A technological method is proposed for forming the topography of the working body's contact surface, which ensures its protection from wear by shifting the abrasive layer towards the soil medium.

УДК 637.112.5

Жилич Е.Л.¹; Бернацкая Д.В.¹;

Романович А.А.², кандидат технических наук, доцент;

Бондаренко И.И.², кандидат технических наук, доцент;

Ведищев С.М.³, доктор технических наук, профессор

¹ РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

³ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Российская Федерация

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОМЕРОВ ТЕЛА И ЖИВОЙ МАССЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Аннотация. Для повышения качества процесса определения живой массы и промеров тела животного используют устройства дистанционного определения данных показателей, это снижает риск опасной реакции животных на стрессовую ситуацию и существенно сокращает время получения измерений. В статье приведены результаты аналитических и теоретических исследований методов и устройств для дистанционного измерения тела и живой массы сельскохозяйственных животных.

Abstract. To improve the efficiency of live weight and body measurements, remote measurement devices are used to measure these parameters. This reduces the risk of

dangerous reactions to stress and significantly reduces the time it takes to obtain measurements. This article presents the results of analytical and theoretical studies of methods and devices for remotely measuring live weight and body weight in farm animals.

Ключевые слова: молочное скотоводство, масса, параметры, камера.

Key words: Dairy cattle breeding, weight, parameters, camera.

Введение

Молочное скотоводство Республики Беларусь занимает ведущее место среди отраслей общественного животноводства. Дальнейшее его развитие во многом зависит от интенсификации кормопроизводства, организации правильного кормления, ухода и содержания скота, а также качества выращенного молодняка, предназначенного для производства.

При переводе скотоводства на промышленную основу резко повысились требования к племенным и продуктивным качествам животных и одновременно возросло значение их оценки по конституции и экстерьеру, так как для рентабельного ведения молочного и мясного скотоводства требуются здоровые, высокопродуктивные животные с крепкой конституцией и соответствующими экстерьерными показателями. Только такие животные в условиях промышленной технологии могут обладать наиболее высокой продуктивностью и устойчиво передавать свои качества потомству.

Главными видами продуктивности крупного рогатого скота является молочная и мясная. Определение показателей, характеризующих продуктивность скота, их правильный учет необходимы для оценки и отбора, организации правильного кормления животных и др.

На сегодняшний день, в сельском хозяйстве одной из наиболее трудоемких технологических операций является взвешивание животных. Поэтому для повышения эффективности процесса определения живой массы и промеров тела животного необходима разработка устройства для дистанционного определения данных показателей, что в конечном итоге позволит снизить риск опасной реакции животных на стресс и существенно сократить время получения промеров.

Решение указанной проблемы позволит:

- снизить трудоемкость процесса взвешивания животных;
- получать данные о состоянии животных;
- повысить продуктивность животных;
- более эффективно распределять рабочее время специалистов, ранее задействованных для оценки упитанности;
- своевременно производить корректировку рационов как для каждого животного индивидуально, так и для группы или стада в целом.

Таким образом, вышеуказанное доказывает актуальность работы и становится очевидным факт в необходимости создания отечественных дистанционных систем определения промеров тела и живой массы сельскохозяйственных животных, которые позволят приблизить решения стратеги-

ческих задач, поставленных перед животноводческой отраслью сельского хозяйства нашей страны.

Основная часть

Живая масса в комплексе с другими признаками является одним из главных показателей хозяйственной ценности как мясного, так и молочно-го скота. Самые достоверные данные о развитии получают на основании взвешивания на весах, которые перед каждым взвешиванием проверяют на точность работы. Взвешивать животных принято утром до кормления и поения или спустя 3-4 ч после кормления. Для получения более точных данных о живой массе взвешивание проводят два дня подряд, вычисляют и берут среднюю живую массу из двух взвешиваний [1].

При отсутствии весов живую массу скота можно определить путем обмера, но с меньшей точностью. Основанием для этого является существенная взаимосвязь между размерами тела животного и его живой массой.

Перспективное направление в создании ферм нового поколения – полная автоматизация производственных процессов, превращение биотехнического комплекса фермы в гибкую самоадаптирующуюся систему машин, параметры и режимы которых увязаны с продуктивностью животных.

Ферма, работающая по такому принципу, может классифицироваться как «умная». При этом подразумевается высокоавтоматизированное сельскохозяйственное предприятие, в котором благодаря интеллектуальной составляющей в проектировании и управлении машинами, могут объединиться данные, полученные с датчиков, со знаниями специалистов [2].

«Умная» ферма, по определению специалистов, должна предоставить владельцам современных молочных ферм – инструмент поддержки принятия решений и технологий автоматизации, позволяющий органично объединить оборудование, услуги и интеллектуальную составляющую (знания) для повышения качества молока, управления стадом, повышения продуктивности и рентабельности.

На сегодняшний день бесконтактные дистанционные измерения параметров экстерьера животных представляют значительный интерес как для животноводства в целом, так и в частности в селекционно-племенной работе с крупным рогатым скотом. Измерение животных или взятие промеров является более объективным способом, по сравнению с глазомерной и пунктирной оценкой [3].

В скотоводстве наиболее распространены следующие промеры:

- высота в холке, спине, пояснице, крестце, седалищных буграх;
- глубина, ширина и обхват груди за лопатками;
- косая длина туловища;
- обхват пясти;
- ширина зада в маклоках и седалищных буграх;
- длина и ширина головы;

Для снижения трудовых и материальных затрат компания DeLaval предложила систему определения упитанности коров DeLaval BCS.

Автоматическая система определения упитанности позволяет не только получать данные о состоянии животных в режиме реального времени, но и более эффективно распределять рабочее время специалистов, ранее задействованных для оценки упитанности. Ежедневный подсчет балла позволяет своевременно скорректировать рацион как для каждого животного индивидуально, так и для группы или стада в целом. Для каждой породы есть свой рекомендованный балл, в зависимости от дня в доении.

Однако, самую большую эффективность могут получить хозяйства при использовании данной системы совместно с автоматизированными кормостанциями, благодаря чему можно ежедневно корректировать рацион индивидуально для каждого животного, группы или стада в целом [4].

Камера системы определения упитанности коров BSC автоматически фотографирует и определяет балл упитанности. Оценки упитанности отправляются в программу управления стадом DeLaval DelPro, где управляющий фермой может проанализировать результаты индивидуально по каждой корове, группе или по стаду в целом.

Любые отклонения позволяют предпринимать профилактические действия на ранних стадиях, что позволяет сохранить высокую продуктивность животных.

Использование данной системы позволяет добиться точного кормления, повышения производства молока, улучшения воспроизводства, улучшения здоровья коров в целом, а также снижения трудозатрат.

Следующим представителем системы дистанционного определения живой массы является приложение «Ангус» фирмы «ИнфоТеКС», позволяющее менее, чем за минуту определить вес животного дистанционно. Комплекс «Ангус» включает в себя смартфон, сканер, и разработанное программное обеспечение.

Программное обеспечение сопоставляет снимок животного с эталонным силуэтом, учитывая возраст и пол животного, и далее выводит на экран мобильного устройства показатели веса.

Аналогичными являются следующие системы [5]:

1) Farm Weight – это комплексное решение для управления весом скота, предлагающее не только оценку веса, но также функции отслеживания роста и отчетности о производительности. Интуитивно понятный интерфейс и возможность синхронизации с другими системами управления фермой делают его надежным вариантом для производителей, серьезно настроенных оптимизировать производство;

2) WeightMaster – разработан, чтобы облегчить контроль веса скота в любом месте. Благодаря возможностям экспорта данных и подробной ана-

литике она позволяет производителям вести точный учет веса скота с течением времени, помогая принимать обоснованные решения о здоровье и питании животных;

3) Beef Cattle Weight – это приложение, специально разработанное для мясного сектора, помогает производителям оценить живой вес животных для продажи и убоя. Вес мясного скота упрощает процесс оценки веса, предоставляя быстрые оценки, которые могут помочь максимизировать прибыль.

В области молочного скотоводства более широкое распространение получила система для дистанционной оценки упитанности молочных коров BCS Cowdition Bayer AG на базе мобильных устройств от подразделения Bayer Animal Health. Программное обеспечение Bayer's BCS Cowdition находится в свободном доступе.

Компания «Байер» является активным участником цифровизации сельского хозяйства, предлагая простые и удобные инструменты для менеджмента в животноводстве.

В описании коровы можно выбрать необходимую породу. Представлены практически все «импортные» породы, однако отсутствуют породы, распространенные в странах СНГ. Имеющаяся возможность сопоставления с генетически наиболее близкой породой, в свою очередь дает дополнительный процент погрешности при определении живой массы и промеров тела животного. При работе приложения для оценки упитанности используются шаблоны очертания, которые необходимо сопоставлять с силуэтом коровы.

Заключение

Несмотря на наличие на рынке систем дистанционного определения промеров тела и живой массы сельскохозяйственных животных, их использование в Республике Беларусь является затруднительным, поскольку они имеют ряд недостатков. В случае с системой определения упитанности коров DeLaval BCS – это высокая стоимость и необходимость приобретения и монтажа комплекса управления стадом DeLaval DelPro. В двух других – это отсутствие в каталоге приложений распространенных пород коров в республике, что в последующем негативно отразится на точности измерений.

Также используемые сканеры и алгоритмы определения упитанности имеют ряд недостатков, в виду сложностей возникающих при наложении программных шаблонов на животное, находящееся в динамике, поскольку в данном случае невозможно четко сопоставить силуэт животного с соответствующим шаблоном.

Другой, немаловажной причиной является алгоритмизация при обработке полученного двумерного изображения, в виду невозможности опре-

деления минимально установленного количества промеров тела. Также, необходимо отметить отсутствие возможности интеграции всех вышеуказанных систем в отечественную систему управления менеджментом стада.

Также во всех существующих на сегодняшний день дистанционных системах отсутствует корреляционная связь между измеренными промерами тела животного и баллом упитанности, что и дает большой процент погрешности при определении живой массы животного.

Список использованных источников

1. Экстерьер, конституция и продуктивность крупного рогатого скота : учеб. – метод. пособие по дисциплине «Молочное скотоводство» для студентов по специальности 1-74 03 01 «Зоотехния» и слушателей ФПК и ПК / М. М. Карпеня [и др.]. – Витебск : ВГАВМ. – 2020. – 68 с.
2. Технологическая концепция и конструктивно-технические решения молочно-товарного комплекса нового поколения / В. Н. Тимошенко, А. А. Музыка, М. В. Барановский, А. С. Курак // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2022. – № 25-2. – С. 83–93.
3. Определение числовых значений экстерьера с использованием мобильных систем и информационных технологий / И. А. Баранова, С. Д. Батанов, О. С. Старостина [и др.] // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. – № 3(47). – С. 16–20.
4. Казакевич П. П. Технологическая концепция «умной» молочной фермы : монография / П. П. Казакевич, В. Н. Тимошенко, А. А. Музыка ; рец. : Н. А. Садовов, А. Ф. Трофимов ; РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству». – Жодино, 2021. – 245 с.
5. Инновации на ферме: приложения для взвешивания крупного рогатого скота [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dailymobs.com/ru/innovating-on-farm-applications-for-cattle-weighing/>. Дата доступа : 16.05.2024.

УДК 631.17

Теплов Д.В., директор,

член Совета директоров специализированной техники «Росспецмаш»;

Тарасова Е.В., руководитель направления по внешнеэкономическим связям;

Шумилова А.С., агротехнолог

ООО «Краснокамский ремонтно-механический завод»,

г. Краснокамск, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВКИ СЕНАЖА

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы внедрения наукоемких кормозаготовительных технологий в условиях современных агропредприятий. Выявлены ключевые барьеры распространения заготовки сенажа в упаковке, связанные с информационными разрывами, человеческим фактором и отсутствием интегрированной системы технического сервиса. На примере скоростного

упаковщика Speedway 120 (Краснокамский РМЗ) показано, как сочетание высокой производительности до 500 т/смену, экономии расходных материалов до 50% и цифрового мониторинга критически важных параметров процесса позволяет преодолеть технологические ограничения, усилить эффект ресурсосбережения и повысить экономическую отдачу кормопроизводства. Обоснована необходимость перехода от простой поставки оборудования к комплексному техническому сервису, включающему агротехнологический надзор, методическое сопровождение и цифровизацию эксплуатации.

Abstract. This article examines the implementation of knowledge-intensive forage harvesting technologies in modern agricultural enterprises. Key barriers to the widespread adoption of wrapped silage technology are identified, including information deficits, the human factor, and the lack of an integrated technical service system. Using the example of the Speedway 120 high-speed packer (Krasnokamsk RMZ), it is demonstrated how the combination of high productivity (up to 500 t/shift), up to 50% savings in consumables, and digital monitoring of critical process parameters enables overcoming technological constraints, improving resource efficiency, and enhancing the economic returns of feed production. The study substantiates the need to transition from basic equipment supply to comprehensive technical service, encompassing agrotechnological supervision, methodological support, and operational digitalization.

Ключевые слова технический сервис, цифровизация, сенаж в упаковке, линейная упаковка, кормопроизводство, Speedway 120, цифровой мониторинг, ресурсосбережение.

Keywords: technical service, digitalization, packaged haylage, linear packaging, feed production, Speedway 120, digital monitoring, and resource conservation.

Введение. Внедрение наукоемких технологий в сельское хозяйство и надзор за соблюдением критически важных параметров определяют скорость укоренения инноваций и практическую пользу для агрокомплекса. При эксплуатации нововведений сельхозтоваропроизводители сталкиваются с рядом проблем, в первую очередь обусловленных человеческим фактором: нечетким распределением ответственности, информационными разрывами, высокой загруженностью персонала и отсутствием времени на системную аналитику, укоренившимися устаревшими представлениями о фундаментальных основах растениеводства, а также невозможностью специалистов самостоятельно верифицировать результаты и объективно оценить корректность принимаемых решений [2, 3]. Преодоление данных барьеров требует скоординированных усилий научно-исследовательских организаций и промышленных партнёров, поскольку именно от качества методического сопровождения, обучения кадров и адаптации разработок к локальным условиям производства, зависит реальная экономическая отдача агропромышленного комплекса от цифровой трансформации.

Ресурсосбережение в кормопроизводстве выступает значимым фактором устойчивости агропромышленного комплекса [4]. В условиях

климатической нестабильности и роста цен на энергоресурсы возрастает потребность в гибких, ресурсосберегающих технологиях заготовки объемистых кормов. Технология заготовки сенажа в упаковке известна в России и Беларуси с 80-х годов прошлого века, но на практике доминируют традиционные способы закладки сенажа в траншеях и курганах. Групповая (линейная) упаковка, несмотря на доказанную экономическую целесообразность, остается недостаточно распространенной из-за устойчивого стереотипа о ее низкой производительности и высокой трудоемкости, как в индивидуальной упаковке. При этом реальные барьеры ее внедрения лежат не в области инженерных ограничений, а в сфере организации производственного процесса. Отсутствие агротехнологического сервиса сводит на нет потенциал наукоемкого решения.

В настоящей статье рассматривается комплексный подход к внедрению скоростной линейной технологии заготовки сенажа в упаковке, в котором ключевую роль играет не просто поставка высокопроизводительного оборудования, а интеграция скоростного упаковщика Speedway 120 с системой цифрового мониторинга и сопровождением квалифицированного технического сервиса. На основе анализа технических характеристик агрегата, данных полевых испытаний и лабораторных исследований качества кормов обосновывается тезис о том, что современный сервис, включающий агротехнологический надзор, верификацию параметров в режиме реального времени и методическую поддержку персонала, становится решающим условием успешной коммерциализации инновации. Исследование опирается на материалы производственных испытаний, спецификации машиностроительных предприятий и методологические подходы к оценке эффективности цифровой трансформации в АПК, демонстрируя, как синергия инженерных решений и организационного сопровождения позволяет преодолеть технологические ограничения и обеспечить стабильное производство кормов экстра-класса.

Материалы и методы. Исследование проведено методом системного анализа технологических процессов кормозаготовительного цикла. Сравнительная оценка проводилась между траншеями, индивидуальной упаковкой рулонов и линейной (групповой) упаковкой сенажа в линию. Оценка производительности, материалоемкости и качества кормов осуществлялась на основе спецификаций производителя (Краснокамский РМЗ), данных полевых испытаний и лабораторных анализов готовой продукции. Изучение эффективности технического сервиса включало анализ архитектуры программно-аппаратного комплекса цифрового мониторинга: методов сбора данных (влажность, температура, плотность, масса, геолокация), алгоритмов передачи информации (в режиме реального

времени, через накопитель или локальную сеть), а также механизмов оперативного реагирования на отклонения от регламента. Верификация полученных выводов проводилась путем сопоставления технологических параметров линейной упаковки с требованиями к кормам для высокопродуктивного поголовья и анализа организационно-технических барьеров внедрения в хозяйствах с поголовьем 800–2000 голов.

Результаты. Производительность и логистика: скоростной линейный упаковщик Speedway 120 обеспечивает производительность до 120 рулонов в час, что в комплексе с тремя пресс-подборщиками позволяет заготавливать до 500 т сенажа в смену. Данный показатель сопоставим со скоростью закладки в небольшие траншеи на предприятиях с поголовьем до 2000 голов. Складирование готовой продукции возможно на технологических площадках у ферм или на обочинах полей без вывода пашни из оборота. Экономия ресурсов: при линейной упаковке рулоны плотно прижимаются торцами, а упаковка агрострейч пленкой производится только по наружному периметру линии. Это снижает расход дорогостоящей пленки в 2 раза по сравнению с индивидуальной упаковкой, что напрямую влияет на себестоимость единицы корма. Технические характеристики оборудования: масса упаковщика составляет 2200 ± 50 кг. Высокая металлоемкость позволяет выдерживать большой вес рулонов и дает устойчивость при работе с рулонами диаметром до 1,6 м или прямоугольными тюками высокой плотности. Агрегат работает в автономном режиме от бензинового двигателя, вмещает до 4 рулонов одновременно, выгрузка происходит по наклонному скатному столу с боковыми конусными валиками, обеспечивающими стабильность линии на наклонном рельефе. Ширина агрострейч плёнки 750 мм, растяжение до 70% без разрывов благодаря конструкции кареток с разноскоростным вращением валов. Имеется датчик обрыва плёнки. Опционально поставляется гидравлический привод колес для самостоятельного перемещения или разворота машины на поле. Система оптического копирования соседней линии и пульт дистанционного управления (до 100 м) позволяют упаковщику функционировать в автоматическом режиме без оператора. Цифровой мониторинг осуществляется через программно-аппаратный комплекс, который собирает данные по каждому рулону (масса, влажность, температура, давление, координаты) в режиме реального времени. Информация интегрируется с учётными системами (например, 1С), исключая необходимость взвешивания на стационарных весах и минимизируя ошибки учета. При отсутствии связи данные аккумулируются в локальном накопителе и синхронизируются при появлении сети.

Обсуждение. Полученные данные подтверждают, что линейная технология заготовки сенажа не является альтернативой траншейному

способу, а представляет собой отдельный вид корма с параметрами, сопоставимыми с концентратами при обменной энергии до 13,33 МДж/кг СВ, сырой протеин до 23,29 % на кг СВ [1]. Данная Технология решает локальные зоотехнические задачи, обеспечивая кормами экстра-класса сверхпродуктивных животных. Производительность в 500 т/смену полностью опровергает стереотип о ее малой производительности. Технология чувствительна к соблюдению регламентов. Последовательность операций (кошение, подвяливание, прессование, транспортировка, упаковка) не терпит нарушений. Отклонение от нормативной плотности или температуры приводит к потере питательности и снижению качества партии до уровня традиционного траншейного сенажа, что нивелирует экономические преимущества. Жесткость регламентов продиктована биохимическими особенностями сырья, а не инженерными ограничениями процесса. В «Технологии КРМЗ: сенаж в линию» этапы заготовки выстраиваются в логичную и технически воспроизводимую последовательность. В условиях неустойчивого летнего климата линейная упаковка сенажа может выступать эффективным «страховым» методом заготовки корма. Легкая техника проходит по увлажненным почвам, где тонут кормоуборочные комбайны. Сенаж в упаковке позволяет начать уборку на 1 – 2 недели раньше обычных сроков растягивая кормосырьевой конвейер, а так же заготавливать корм мелкими партиями в кратковременные погодные «окна» между осадками. Линейная упаковка сенажа дает экономии агротехнич пленки на 50% по сравнению с индивидуальной упаковкой. Сенаж в упаковке по технологии КРМЗ не требует выделения пахотных земель под хранение корма, как курганы и встраивается в стратегию ресурсосбережения. Ключевым условием реализации этого потенциала становится не просто поставка оборудования, а внедрение комплексного технического сервиса, ориентированного на технологическую дисциплину. Программно-аппаратный комплекс телеметрии непрерывно верифицирует критические параметры каждой партии (влажность, плотность, температуру, массу), однако система не блокирует работу агрегата в автоматическом режиме, сохраняя ответственность за принятие решений за человеком. При выявлении отклонений агротехнолог, анализирующий данные в реальном времени, инициирует связь с оператором упаковщика. При необходимости корректировки настроек оператор надевает гарнитуру со встроенной камерой, динамиком и лазерной указкой, а сервисный инженер завода, видя на своём мониторе рабочую зону в режиме реального времени, дистанционно наводит лазер на узлы агрегата и пошагово инструктирует оператора по регулировке. Такой формат удаленного реагирования устраняет информационные разрывы, сокращает время диагностики и устранения нештатной ситуации с нескольких дней до минут и гарантирует стабильное качество упаковки даже при работе с новым

персоналом или в сжатые агрономические сроки. Таким образом, гипотеза о том, что успешная коммерциализация наукоемкой технологии зависит от интеграции оборудования с квалифицированным сервисным сопровождением, полностью подтверждена. Преодоление барьеров возможно при скоординированных усилиях производителя техники и агропредприятия, где цифровой контур выступает основой для превентивного технологического надзора, но не заменяет квалификацию специалистов. Перспективным направлением дальнейших исследований является интеграция систем цифрового мониторинга с предиктивной аналитикой и ИИ-алгоритмами планирования уборочных работ на основе метеопрогнозов, а также разработка экономических моделей внедрения линейной упаковки для хозяйств различной мощности и специализации.

Заключение. Интеграция оборудования Краснокамского РМЗ в кормозаготовительный процесс, позволяет достичь технологической устойчивости. За счет цифрового мониторинга и комплексного технического сервиса линейная заготовка сенажа может реализовать свой наукоемкий потенциал и добавить минимум 20% питательности к текущим показателям кормов. Результаты имеют стратегическое значение для снижения себестоимости кормов, минимизации погодных и операционных рисков. Технология готова к внедрению в хозяйствах и особенно ценна в регионах с неустойчивым летним климатом. Ключевое условие успеха заключается в переходе от продажи оборудования к комплексному сервису, включающему цифровизацию, обучение персонала и методическое сопровождение. В перспективе предстоит решить вопросы интеграции кормозаготовительных цифровых систем в единые платформы точного земледелия.

Список использованной литературы

1. Морозков, Н.А. Качество объёмистых кормов в пермском крае и пути его повышения / Н.А. Морозков, Е.В. Суханова, Н.Е. Завьялова // Пермский аграрный вестник. – №4 (32). – Пермь : ПГАТУ им. акад. Д.Н. Прянишникова, 2020. – С. 59-69.
2. Проблемы внедрения наукоемких технологий / А. В. Баранцев, В. В. Кулямин, В. А. Омельченко, О. Л. Петренко // Труды Института системного программирования РАН. – 2004. – Т. 8, № 1. – С. 9-24.
3. Проблемы и перспективы внедрения наукоемких инновационных технологий в агропромышленном комплексе Казахстана / А. А. Таубаев, Б. М. Жукенов, Е. И. Борисова, Ю. М. Сайфуллина // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. – 2020. – № 3. – С. 106-113.
4. Ши, Ч. Рациональное производство как сущность ресурсосбережения / Ч. Ши, Е. Быковская // Проблемы конкурентоспособности потребительских товаров и продуктов питания. – сборник научных статей 2-й Международной научно-практической конференции. – Курск : ЮЗГУ, 2020. – С. 440-443.

Шмыков С.Н., кандидат экономических наук, доцент;

Ипатов А.Г., кандидат технических наук, доцент;

Малинин А.В., аспирант

*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет»,
г. Ижевск, Российская Федерация*

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ КЕРАМИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ АЛМАЗНЫМ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ

Аннотация. В работе рассмотрена технология наращивания восстановительного покрытия, заключающаяся в формировании тонкого восстановительного покрытия методом короткоимпульсного лазерного оплавления керамической композиции на основе карбонитрида бора с последующим алмазным выглаживанием. Описана технология формирования покрытия и результаты исследований покрытия после алмазного выглаживания.

Abstract. The paper considers the technology of building up a restorative coating, which consists in forming a thin restorative coating by the method of short-pulse laser melting of a ceramic composition based on boron carbide with subsequent diamond smoothing. The technology of coating formation and the results of research of the coating after diamond smoothing are described.

Ключевые слова: Восстановительное покрытие, высокоскоростная лазерная наплавка, керамическая композиция, алмазное выглаживание.

Keywords: Restorative coating, high-speed laser surfacing, ceramic composition, diamond smoothing.

Введение. Восстановление изношенных деталей машин сопряжено с обеспечением требуемого ресурса изделия, которое невозможно без дополнительных технологических операций по упрочнению восстановительного слоя. Поэтому в современном ремонтном производстве широкое применение находят комбинированные технологии восстановления, которые подразумевают синтез восстановительного слоя методами наплавки с последующим упрочнением наплавленного слоя различными методами [1-3]. Комбинированные технологии восстановления несомненно имеют высокую актуальность в виду отсутствия в ремонтном производстве технологических процессов наращивания восстановительных покрытий с высокими физико-механическими свойствами [4,5]. В работе [6] представлена технология восстановления изношенных деталей машин высокоскоростной лазерной наплавкой керамических материалов. В работах отмечается высокая износостойкость, задиростойкость восстановительных керамических покрытий. При этом отмечается, что формируемые покрытия имеют сложности в финишной обработке, поскольку обладают высокой твердостью по-

верхности. В данной работе предлагается использовать технологию алмазного выравнивания восстановительных керамических покрытий. Использование алмазного выравнивания позволяет обеспечить высокую чистоту, точность поверхности и формирует упрочненный слой за счет наклепа.

Материалы и методика исследований. Комбинированная технология нанесения восстановительного керамического слоя состоит из следующих последовательных операций (табл.1).

Таблица 1 – Маршрутная карта технологии комбинированной наплавки керамического восстановительного слоя

№ операции	Наименование операции	Оборудование, приспособление, инструмент
005	Моечная	Раствор «Лабомид 315»
010	Дефектовочная	Микрометром МК Н25 ГОСТ 6507-90, профилометра TIME TR200, призмы I-1-1 ГОСТ 5641-66, индикатор ИЧ02 кл. 0 ГОСТ 577-68
015	Механическая (шлифовальная)	Станок круглошлифовальный 3У131, круг 1 450х10х305 15А 32 С2 7 К 35м/с АА 1 кл. ГОСТ 2424-83
020	Слесарная (подготовительная)	Шаровая планетарная мельница АГО-2С, порошки карбида бора В ₄ С марки F5, нитрида бора гексагонального BN марки А, оксида магния MgO марки ОСЧ 11-2 и оксида лития LiO марки ХЧ, весы ВЛЭ 1023С1
025	Наплавочная (лазерная наплавка)	Иттербиевый волоконный лазер, защитная камера (цеховая), приводной электродвигатель, порошковый присадочный материал, 5% раствор канифоли в спирте
030	Механическая (алмазное выравнивание)	Станок токарно-винторезный 95ТВ, алмазный выравнивающий инструмент 1419–0104, масло индустриальное И40, опорный ролик (специальный)
035	Контрольная	Микрометром МК Н25 ГОСТ 6507-90, профилометра TIME TR200, призмы I-1-1 ГОСТ 5641-66, индикатор ИЧ02 кл. 0 ГОСТ 577-68

Подробная технология нанесения восстановительного керамического покрытия методом высокоскоростного лазерного синтеза описана в работе [7,8] и представлена на рисунке 1. Высокоскоростной лазерный синтез восстановительного керамического покрытия осуществляется с использованием короткоимпульсного лазерного генератора.

Восстанавливаемое изделие помещается в защитную камеру 3, которая на $\frac{3}{4}$ заполнена жидкой порошковой суспензией. Вращением шагового электродвигателя 8 на поверхности восстанавливаемого изделия при помощи валика 5 наносится тонкий слой порошкового керамического по-

крытия. После нанесения порошкового керамического покрытия на поверхности изделия включается подача аргона и осуществляется наплавка керамического восстановительного покрытия. Толщина керамического покрытия колеблется от 0,15 до 0,5 мм в зависимости от количества слоев.

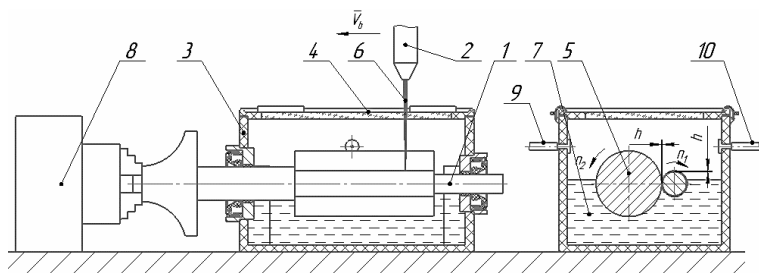


Рисунок 1 – Схема синтеза восстановительного покрытия (на примере вала ТКР)

- 1 – восстанавливаемое изделие, 2 – лазерный излучатель,
3 – камера для защиты от окисления, 4 – кварцевое стекло, 5 – валик выравнивающий, 6 – лазерное излучение, 7 – порошковая керамическая суспензия,
8 – шаговый электродвигатели для привода восстанавливаемого изделия;
9 – канал для подачи аргона; 10 – канал выхлопа.

С целью достижения необходимых параметров шероховатости и чистоты поверхности восстановительное керамическое покрытие подвергается алмазному выглаживанию по схеме, представленной на рис.2.

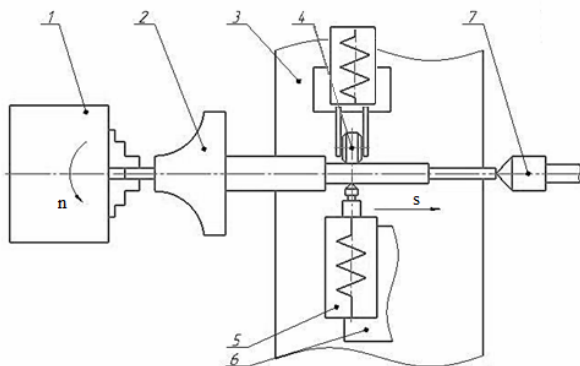


Рисунок 2 – Схема алмазного выглаживания(на примере вала ТКР):

- n – вращение изделия; s – продольное перемещение алмазного выглаживателя;
1 – шпиндель станка; 2 – восстанавливаемое изделие; 3 – суппорт станка;
4 – поддерживающий ролик; 5 – пружинный алмазный выглаживатель;
6 – резцедержатель суппорта; 7 – центра

Алмазное выглаживание осуществляется на токарном станке с использованием разработанного на кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ пружинного алмазного выглаживателя. Выглаживание осуществляется с большим усилием нагружения на алмазный наконечник, поэтому при выглаживании предусмотрен поддерживающий ролик, предупреждающий от изгиба вала. Скорость алмазного выглаживания составляет 20 м/мин, при продольной подаче выглаживателя 0,05 мм/об. В качестве инструмента использовали алмазный наконечник с радиусом сферы 3,5 мм.

Результаты исследований. У исследуемого керамического слоя после алмазного выглаживания трещин и отслоений не наблюдается (состояние поверхности выглаженного слоя получено при помощи оптического инвертируемого микроскопа Olympus-53X) (рис. 3). Поверхность ровная без видимых дефектов, шаржирование поверхности от алмазного наконечника не наблюдается. Трещин на поверхности от напряжений деформаций также не обнаружены. Наблюдаются небольшие вмятины (глубиной не более 10-15 мкм) вызванные дефектом поверхности восстанавливаемого изделия. Шероховатость поверхности после алмазного выглаживания составляет Ra 0,16, при исходной шероховатости поверхности Ra 3,2.

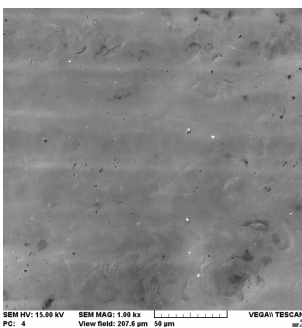


Рисунок 3 – Керамическое восстановительное покрытие после алмазного выглаживания

Основная задача алмазного выглаживания сводилась к формированию упрочнённого слоя. Поэтому нами была исследована микротвердость исследуемого образца по глубине от поверхности сферы при помощи микротвердомера ПМТ – 3М (рис. 4).

Исходная микротвердость восстанавливаемого изделия составила 2,62 ГПа. После алмазного выглаживания микротвердость поверхности керамического покрытия составила 21 ГПа, при микротвердости керамического восстановительного покрытия без алмазного выглаживания 5,5-7,2 ГПа. Повышение микротвердости поверхности составляет более чем в

3,3 раза. Эффективная глубина наклепанного слоя составляет 20 мкм, после которого микротвердость соответствует исходной микротвердости керамического слоя.

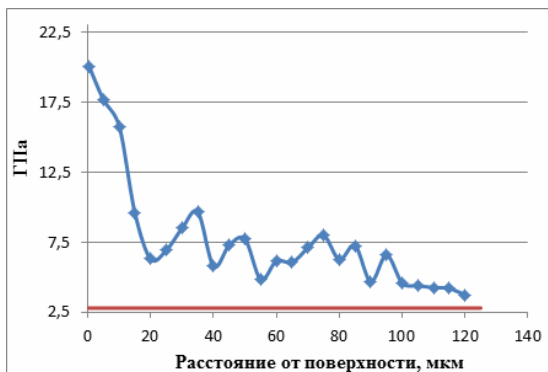


Рисунок 4 – Изменение микротвердости по глубине упрочненного слоя (красной линией представлена величина микротвердости восстанавливаемого изделия)

Выводы. Представленные в работе результаты исследований комбинированной технологии нанесения керамического восстановительного покрытия показали возможность получения восстановительных покрытий с упрочненной поверхностью и низкой шероховатостью. Шероховатость поверхности после алмазного выглаживания составляет $Ra\ 0,16$ при микротвердости поверхности в 21 ГПа, что более чем в 3 раза превышает микротвердость керамического покрытия без алмазного выглаживания. Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке технологических процессов восстановления изношенных деталей машин, а также использованы при дальнейших научных исследованиях.

Список использованной литературы

1. Выбор состава наплавленного слоя в комбинированной технологии восстановления и упрочнения почвообрабатывающего инструмента / С. С. Самотугин, В. В. Буцукин, А. Г. Казак [и др.] // Сварочное производство. – 2024. – № 3. – С. 43-49. – EDN KWWXUN.
2. Коломейченко, А. В. Комбинированная технология восстановления и упрочнения втулок шестеренных гидромоторов с использованием газодинамического напыления / А. В. Коломейченко, В. Н. Логачев, Н. В. Титов // Технический сервис машин. – 2022. – № 4(149). – С. 68-77. – DOI 10.22314/2618-8287-2022-60-4-68-77. – EDN KGTYP.
3. Коломейченко, А. В. Комбинированные способы восстановления и упрочнения деталей машин с использованием МДО-покрытий / А. В. Коломейченко, В. Н. Логачев, Н. В. Титов // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т. 115. – С. 150–157. – EDN QNRVSH.

4. Лялякин, В. П. Восстановление и упрочнение деталей машин в агропромышленном комплексе России и Белоруссии / В. П. Лялякин, В. П. Иванов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2004. – № 2. – С. 2-7. – EDN QVGREO.

5. Восстановление деталей машин: состояние и перспективы / В. И. Черноиванов, И. Г. Голубев; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Федер. гос. науч. учреждение «Рос. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-экон. исслед. по инж.-техн. обеспечению агропром. комплекса» (ФГНУ «Росинформагротех»). – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010.

6. Ипатов, А. Г. Упрочнение и восстановление короткоимпульсной лазерной наплавкой деталей керамическими материалами / А. Г. Ипатов // Сельский механизатор. – 2025. – № 10. – С. 27-29. – DOI 10.47336/0131-7393-2025-10-27-28-29. – EDN NLESEN.

7. Физико-механические свойства керамических покрытий, получаемых короткоимпульсной лазерной наплавкой порошковой смеси на основе бора / А. Г. Ипатов, М. Н. Ерохин, С. П. Казанцев [и др.] // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 71-76.

8. Kharanzhevskiy, E.V., Ipatov, A.G., Makarov, A.V. et al. Towards eliminating friction and wear in plain bearings operating without lubrication. Sci Rep 13, 17362 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44702-6>

УДК 631.353.722

Василевский П.Н.¹, старший преподаватель;

Бондаренко А.Д.², студент

¹ *Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

² *Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РОТОРНЫХ КОСИЛОК МЕТОДАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Аннотация. В работе рассмотрены методы повышения эксплуатационного ресурса режущих элементов роторных косилок, функционирующих в условиях интенсивного абразивного и ударного изнашивания. Основное внимание уделено нитроцементации с последующей закалкой и низким отпускком, обеспечивающей формирование упрочненного диффузионного слоя с повышенной микротвердостью. Показано, что применение поверхностного упрочнения позволяет увеличить износостойкость ножей, улучшить стабильность режущих свойств и повысить срок службы сменных деталей. Отмечена перспективность электроискрового легирования и лазерной модификации поверхности.

Abstract. This paper examines methods for increasing the service life of rotary mower cutting elements operating under conditions of intense abrasive and impact wear. Primary attention is paid to nitrocarburizing followed by hardening and low-temperature tempering, which ensures the formation of a hardened diffusion layer with increased

microhardness. It is shown that surface hardening can increase the wear resistance of blades, improve the stability of cutting properties, and extend the service life of replaceable parts. The potential of spark etching and laser surface modification is highlighted.

Ключевые слова. Роторная косилка, нож, режущий элемент, поверхностное упрочнение, нитроцементация, микроструктура, микротвердость, износостойкость, эксплуатационный ресурс.

Keywords. Rotary mower, knife, cutting element, surface hardening, nitrocarburizing, microstructure, microhardness, wear resistance, service life.

Эксплуатационная надежность роторных косилок в значительной степени определяется состоянием их режущих элементов. Ножи работают в условиях сложного сочетания ударных нагрузок, абразивного воздействия и трения при ограниченной смазке либо в ее отсутствии [1]. При контакте с растительной массой, частицами почвы, песком, мелкими камнями и другими твердыми включениями происходит интенсивное изнашивание рабочей кромки, что приводит к ухудшению качества среза и сокращению срока службы деталей.

Одной из основных причин выхода ножей из строя является развитие поверхностных повреждений в виде сколов, микротрещин, выкрашиваний, зазубрин и каверн. Эти дефекты нарушают геометрию режущей части, повышают сопротивление резанию и снижают эффективность работы косилки. В связи с этим актуальной задачей является разработка технологических решений, направленных на повышение износостойкости и прочности режущих элементов.

К числу наиболее нагруженных деталей относятся ножи дисковых режущих аппаратов роторных косилок, пример конструктивного исполнения которых представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Конструктивное исполнение ножа роторной косилки размером

Практика производства показывает, что для изготовления ножей широко применяются сравнительно недорогие конструкционные стали, подвергаемые стандартной термической обработке – закалке и отпуску. Наиболее распространены стали 45, 40Х, 65Г и аналогичные марки. После обработки такие изделия, как правило, имеют твердость в пределах 35–48 HRC, предел прочности порядка 900–1200 МПа и ударную вязкость 0,2–0,6 МДж/м².

Особенно часто для изготовления ножей используют высокоуглеродистую сталь 65Г. После термической обработки для нее характерны значения $\sigma_B > 600$ МПа, KCU около 30 Дж/см² и твердость 40–50 HRC. Однако при эксплуатации в реальных полевых условиях сравнительно невысокая ударная вязкость может вызывать разрушение ножа при встрече с камнями, металлическими предметами и другими препятствиями. При высоких скоростях вращения режущих органов это повышает опасность выброса фрагментов детали из-под защитного кожуха машины. Вместе с тем наличие марганца в составе таких сталей способствует увеличению прочности, твердости и упругих свойств за счет образования твердого раствора в железе.

Более благоприятное сочетание механических характеристик могут обеспечивать легированные мартенситные стали 33ХС и 30ХГСА. Для стали 33ХС характерны предел прочности $\sigma_B = 880$ МПа и ударная вязкость KCU = 59 Дж/см². Для стали 30ХГСА данные показатели составляют соответственно $\sigma_B = 1670$ МПа и KCU = 75 Дж/см². Применение указанных материалов позволяет получить более высокую сопротивляемость ударному разрушению при сохранении достаточной прочности и технологичности.

Существенное влияние на срок службы ножей оказывает не только выбор материала, но и состояние поверхностного слоя. Наиболее интенсивному разрушению подвергается именно режущая кромка, поэтому перспективным направлением является использование методов поверхностного упрочнения, позволяющих улучшить свойства рабочей зоны без значительного снижения вязкости сердцевины.

Одним из таких методов является нитроцементация с последующей термической обработкой. Эффективность данного подхода обусловлена тем, что при диффузионном насыщении поверхностного слоя углеродом и азотом формируется структура, содержащая карбиды и нитриды, способствующие повышению твердости, износостойкости и стабильности режущих свойств.

При данной обработке формируется выраженный упрочненный слой с характерной многокомпонентной структурой. Микроструктурный анализ показал, что после нитроцементации и закалки поверхностная зона содержит остаточный аустенит, мелкодисперсные карбиды и нитриды, распределенные в мелкоигольчатой мартенситной матрице. Сердцевина изделия была представлена мелкоигольчатым мартенситом отпуска. Микроструктурное состояние материала после различных стадий обработки приведено на рисунке 2.

Исследования показали, что общая толщина сформированного упрочненного слоя находилась в пределах 20–24 мкм. По строению он

включал наружную двухфазную зону с дисперсными выделениями вторичной фазы и внутренний однофазный подслоя, надежно связанный с металлической основой. Такая структура обеспечивает сочетание высокой твердости рабочей поверхности и достаточной прочности переходной области.

Изменение структурного состояния закономерно отразилось на уровне микротвердости обработанной поверхности. После нитроцементации микротвердость диффузионного слоя достигала 9000 МПа, тогда как микротвердость сердцевины составляла около 6000 МПа. После низкого отпуска наблюдалось некоторое снижение твердости поверхностной зоны. Это связано с выделением углерода из пересыщенного твердого раствора и образованием карбидов, а также с уменьшением внутренних термических и структурных напряжений, возникших при закалке.

Следовательно, термодиффузионное упрочнение обеспечивает существенное повышение механических характеристик поверхности ножей при сохранении более вязкой сердцевины. Такое сочетание свойств особенно важно для деталей, работающих в условиях ударного и абразивного изнашивания.

Наряду с химико-термической обработкой практический интерес представляют высококонцентрированные энергетические методы модификации поверхности. К их числу относятся электроискровое легирование и лазерная обработка. Эти технологии позволяют локально изменять состояние режущей кромки и формировать поверхностные слои с улучшенными физико-механическими и триботехническими характеристиками (рисунок 2).



Рисунок 2 – Варианты поверхностной модификации ножа роторной косилки:
а – состояние режущей кромки после электроискрового легирования;
б – состояние поверхности после лазерной обработки

Применение указанных методов способствует значительному увеличению микротвердости лезвийной части, повышению сопротивляемости абразивному воздействию и более длительному сохранению режущей способности. Кроме того, при рациональном подборе параметров обработки возможно формирование эффекта самозатачивания, что положительно сказывается на качестве среза и уменьшает интенсивность затупления ножей в процессе эксплуатации.

Список использованной литературы

1. Шилов И.Н. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / Шилов И.Н., Бетень Г.Ф., Маринич Л.А. – Минск.: БГАТУ, 2010. – 319 с.

Summary. Thus, increasing the service life of rotary mower cutting elements should be considered a comprehensive materials science and engineering challenge. It has been established that traditional structural steels, after standard heat treatment, do not always provide the required blade durability under abrasive and impact wear. Nitrocarburizing followed by hardening and low-temperature tempering creates a hardened diffusion layer 20–24 μm thick with high microhardness, which contributes to increased wear resistance and consistent cutting performance. Electrospark alloying and laser surface modification can provide additional benefits. These hardening methods are an effective way to extend the service life of blades and improve the reliability of rotary mowers.

УДК 658.581

Селюк Ю.Н., старший преподаватель;

Бондарчук О.В., кандидат технических наук

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В АПК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Аннотация. В статье приведена методика реализации риск-ориентированного обслуживания (RCM) электроустановок на примере электроактиватора биологической системы ячменя. Что позволяет обеспечить его рациональную эксплуатацию, снизить затраты на обслуживание, повысить эксплуатационную надежность, снизить ущерб от отказов оборудования.

Abstract. This article outlines a methodology for implementing risk-based maintenance (RCM) of electrical installations, using the example of an electrical activator for a barley biological system. This approach ensures efficient operation, reduces maintenance costs, improves operational reliability and minimizes the damage caused by equipment failures.

Ключевые слова. методика RCM, эксплуатация электрооборудования, надежность, обслуживание.

Key words. RCM methodology, operation of electrical equipment, reliability, maintenance.

В настоящее время АПК РБ – это отрасль с достаточно высоким уровнем электрификации и автоматизации технологических процессов. Вследствие этого значительно возрастают требования к надёжности функционирования высокопроизводительного оборудования, реализация которых возможна за счёт повышения эффективности его эксплуатации. Важная

составляющая рациональной и эффективной системы эксплуатации – это качественное планирование работ по обслуживанию, диагностированию и ремонту. Однако существующие рекомендации [1] являются устаревшими, а также не учитывают современные требования и подходы к организации эксплуатации электрического оборудования. В связи с этим имеется необходимость модернизации нормативной документации, в частности, с использованием методологии RCM.

Вопросы прикладного применения RCM изложены в ряде работ, в частности, в статье [2]. На основании имеющихся в данной работе сведений предлагается возможная методика планирования эксплуатационных работ на примере установки для электроактивации зерна пивоваренного ячменя [3]. Принципиальная электрическая схема (ПЭС) указанной установки представлена на рисунке 1.

В соответствии с подходом, изложенным в [2], электроустановка в целом может считаться основным агрегатом. В результате функционального анализа схемы установки производится идентификация систем, выполняющих независимые функции. В данном случае под ними понимают части электрической схемы (цепи либо группы цепей), для краткости называемые блоками. Затем производится разделение систем (блоков) на узлы – заменяемые при ремонте части, в качестве которых выступают отдельные элементы ПЭС.

С целью выявления наиболее важных для обеспечения надёжного функционирования блоков и элементов (их ранжирования) для каждого из них определяется величина значения приоритетности риска [2]:

$$RPN = S \cdot O \cdot D, \quad (1)$$

где S – тяжесть последствий отказа данной единицы оборудования;

O – вероятность отказа этого оборудования в течение определённого периода времени;

D – вероятность, что отказ не будет обнаружен до проявления его последствий.

Численные значения коэффициентов определяются по рекомендациям [2], [4]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Ранжирование блоков

Наименование блока схемы	Коэффициенты			RPN
	S	O	D	
1. Питание	9	2	8	144
2. Распределение зерна	6	3	6	108
3. Перемещение зерна	8	5	3	120
4. Контроль уровней	5	4	7	140
5. Аварийная сигнализация	1	3	7	21
6. Электрообработка зерна	8	2	6	96

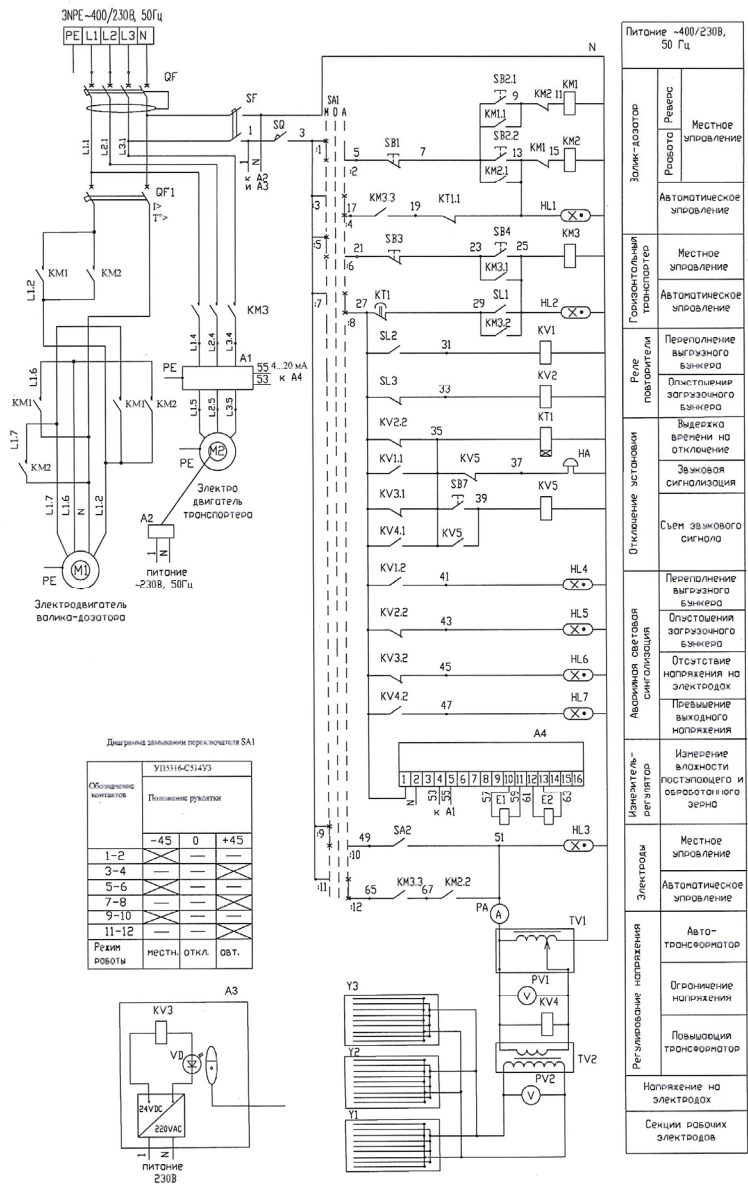


Рисунок 1 – ПЭС установки для электроактивации [3].

На основании полученных результатов выполним распределение блоков по величине RPN . Максимальное значение приоритетности риска $RPN_{max}=144$. Принимаем следующую градацию:

- критичные отказы ($RPN=(0,9...1)RPN_{max}=130...144$);
- умеренно критичные ($RPN=(0,6...0,9)RPN_{max}=86...129$);
- некритичные ($RPN=1...0,6RPN_{max}=1...85$).

Установленные пределы являются ориентировочными и могут быть изменены по результатам дополнительных исследований. Таким образом, согласно таблице 1, критичными являются отказы блоков 1, 4; умеренно критичными – блоков 2, 3, 6; некритичными – блока 5.

Выполняется разделение блоков с критичными отказами на элементы (без учёта их количества) и их приоритизация по изложенной методике. Расчёт произведен на примере блока 1 с наибольшим RPN , результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Ранжирование элементов.

Наименование элемента блока	Коэффициенты			RPN
	S	O	D	
1. Дифференциальный автоматический выключатель 4-полюсный	9	1	8	72
2. Автоматический выключатель 2-полюсный	8	2	8	128
3. Концевой выключатель	10	2	7	140
4. Переключатель универсальный, 6 секций	6	2	8	96

С учётом изложенной выше методики разделения для таблицы 2 критичными являются элементы 2, 3 ($RPN=126...140$), умеренно критичным – 4 ($RPN=84...125$), некритичным – 1 ($RPN=1...83$). Далее в соответствии с методикой RCM следует выполнить анализ причин отказов критичных элементов, разработку стратегии обслуживания и ремонта, обеспечивающей снижение показателя приоритетности риска. Для умеренно критичных блоков следует провести выборочное определение причин отказов, а также способов управления ими без полного разделения на элементы. Дальнейший анализ некритичных блоков производить не требуется.

Предложенный способ применения методологии RCM способствует повышению качества планирования эксплуатационных работ для электроустановок в АПК. Обеспечивается выделение наиболее критичных элементов ПЭС и приоритизация их обслуживания с целью повышения надёжности установки в целом. Для полноценной реализации изложенной методики требуется проведение дополнительных исследований в реальных производственных условиях.

Список использованной литературы

1. Система организации технического обслуживания машин и технологических комплексов в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь : пособие / под ред. В. Г. Самосюка. – Минск : ИПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012. – 685 с.
2. Антоненко И. Н. Методика приоритизации объектов обслуживания на основе оценки критичности отказов // В мире НК, т. 21, № 3, 2018, с. 68–72.
3. Бондарчук, О. В. Методика расчета основных узлов электроактиватора биологической системы ячменя / О. В. Бондарчук // Агропанорама. – 2022. – № 3. – С. 25–28.
4. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств : учеб. –метод. пособие / под ред. С. М. Боровикова. – Минск : БГУИР, 2010. – 68 с.

Summary. The proposed method of applying the RCM methodology helps to improve the quality of operational planning for electrical installations in the agro-industrial complex. It ensures the allocation of the most critical elements of the schematic electrical diagram and prioritization of their maintenance in order to increase the reliability of the installation as a whole.

УДК 631.3.004.67

Круглый П.Е., кандидат технических наук, доцент;

Мисько В.Г., старший преподаватель;

Василевский П.Н., старший преподаватель

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ДОСТУПНОСТИ УСЛУГ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Изложен порядок формирования требований доступности при организации технического сервиса сельскохозяйственной техники. Установлено, что ожидаемая доступность зависит от полноты охвата производственных мощностей заказами, вероятности возникновения дефицита и уровня удовлетворения спроса.

Abstract. The procedure for establishing availability requirements when organizing technical service for agricultural machinery is outlined. It has been established that expected availability depends on the extent of production capacity utilization, the likelihood of shortages, and the level of demand fulfillment.

Ключевые слова. Доступность услуг, технический сервис, полнота охвата мощностей заказами, вероятность возникновения дефицита, уровень удовлетворения спроса.

Keywords. Service availability, technical service, capacity utilization, probability of shortage, demand fulfillment rate.

Доступность $\bar{D}$ системы обслуживания определяется наличием производственных мощностей там и тогда, где и когда они нужны потребителям [1, 2]. Определение необходимого числа рабочих постов и передвижных мастерских и их местоположения, численности персонала, а также политики использования ресурсов – основные задачи при проектировании производственной среды системы обслуживания сельскохозяйственной техники. Поддержание высокой доступности по производственным мощностям, запасным частям, материалам требует тщательного планирования. Обычно планирование производственных мощностей опирается на прогноз потребностей в них и может предусматривать разные стратегии для отдельных видов услуг, что зависит от их относительной популярности на рынке, значимости для всего производственного процесса и прибыльности бизнеса.

Доступность мощностей $\bar{D}$ можно оценивать по трем критериям – полноте охвата мощностей заказами, вероятности возникновения дефицита и уровню удовлетворения спроса:

$$\bar{D} = (P_{обс}, P_{оч}, M_{ож}),$$

где $P_{обс}$ – полнота охвата мощностей заказами;

$P_{оч}$ – вероятность возникновения дефицита;

$M_{ож}$ – уровень удовлетворения спроса.

От этих критериев зависит способность системы обслуживания удовлетворять потребности клиентов. В комплексе эти критерии показывают, в какой мере стратегия управления ресурсами системы обслуживания отвечает ожиданиям потребителей, и позволяют судить, соответствует ли доступность принятому базовому уровню сервиса.

Полнота охвата мощностей заказами $P_{обс}$ показывает, насколько часто складывается ситуация, когда производственные мощности системы обслуживания полностью задействованы заказами потребителей. Иначе говоря, это есть вероятность обслуживания без очереди или без ожидания. Указанный показатель определяет потенциальную возможность приема заказа при безусловном выполнении всех остальных функций и предполагает, что максимальная вероятность обслуживания, т.е. полная доступность всех производственных мощностей, наличия запасных частей и материалов, является стандартом приемлемой доступности. Очевидно, что увеличение мощностей системы обслуживания приводит к улучшению этого критерия. Однако при этом из-за случайности моментов появления заказов и продолжительности обслуживания одновременно снижается фактический уровень использования мощностей системы обслуживания.

Вероятность возникновения дефицита $P_{оч}$ производственных мощностей (или вероятность образования очереди) показывает, насколько часто может возникнуть нехватка мощностей (или пропускной способности), т.е. это показатель наличия услуги. В этом показателе не учитывается тот факт, что наличие одних услуг более значимо, чем других. Дефицит возникает, когда спрос на какую-либо услугу превышает объем доступных мощностей (в том числе по требуемым запасным частям и материалам). Общее число случаев нехватки мощностей для любой услуги говорит о способности (или неспособности) системы обслуживания поддерживать базовый уровень обслуживания.

Для простых систем обслуживания с неограниченным ожиданием, т.е. систем без отказов в обслуживании

$$P_{обс} + P_{оч} = 1,$$

где $P_{обс}$ — полнота охвата мощностей заказами;

$P_{оч}$ — вероятность возникновения дефицита.

Уровень удовлетворения спроса $M_{о.ж}$ показывает масштабы или последствия возникающего дефицита. В логистике этот показатель называют нормой насыщения спроса [3], в теории массового обслуживания — показателем длины очереди. Оценка масштабов дефицита позволяет отслеживать способность системы обслуживания удовлетворять запросы и оправдывать ожидания потребителей. Показатель удовлетворения спроса должен указываться в целевых нормативах уровня обслуживания, которые устанавливают для себя системы обслуживания.

Процедура точного и достоверного измерения уровня удовлетворения спроса предполагает оценку результатов деятельности за некоторый промежуток времени, охватывающий разнообразные заказы клиентов. Показатель удовлетворения спроса можно использовать применительно к конкретному потребителю, некоторой группе потребителей или какому-либо сегменту бизнеса, а также для дифференциации уровней сервиса по отдельным услугам, что позволяет установить, для какой именно услуги не хватает мощностей системы обслуживания и какова потребность клиентов в этой услуге. Так можно вычлениить те услуги, которые имеют наибольшее значение для системы обслуживания и на которые уровень удовлетворения спроса должен быть выше.

Очевидно, что вероятность возникновения дефицита $P_{оч}$ и уровень удовлетворения спроса $M_{о.ж}$ зависят от принятой в системе обслуживания практики выполнения заказов клиентов. Чтобы определить фактические значения показателей $M_{о.ж}$ и $P_{оч}$, необходимо фиксировать все отказы клиентов от обслуживания. Следует отметить, что дефицит влияет на качество обслуживания только в том случае, если это противоречит

запросам потребителей, затрагивая именно те услуги, на которые предъявлен определенный спрос. Сама по себе нехватка мощностей для выполнения той или иной услуги еще не означает, что потребители останутся неудовлетворенными. Вполне возможно, что в некоторых условиях клиент может согласиться на отсрочку выполнения заказа или пойти на изменение других своих требований.

Доступность услуги может обеспечиваться разными способами. Для повышения способности полного удовлетворения спроса, предъявляемого клиентами, многие крупные системы обслуживания создают альтернативные структуры и филиалы. Эти сети филиалов существенно различаются по объему и местоположению.

В техническом сервисе сельскохозяйственной техники наиболее распространена практика обеспечения доступности путем формирования резервных мощностей.

Производственные мощности можно условно подразделить на две категории:

- основные, формируемые исходя из прогнозных потребностей и обеспечивающие общую доступность услуг, или номинальную пропускную способность;

- резервные, служащие средством страховки от ошибок в прогнозах и возможных задержек при выполнении текущих заказов, а также предназначенные для покрытия спроса, превышающего прогнозный, и для приспособления системы обслуживания к неожиданным колебаниям числа заказов.

Чаще основные мощности представляют собой хорошо оснащенные посты или передвижные мастерские, а резервные менее оснащены и менее производительны. В условиях высокой неопределенности резервные мощности могут быть по пропускной способности сопоставимыми с базовыми мощностями системы обслуживания.

Доступность услуг в значительной мере зависит от избранной в системе обслуживания политики формирования и использования резервных мощностей. В обычных условиях система обслуживания использует основные мощности с тем, чтобы полностью использовать их преимущества – автоматизацию, высокую производительность, удобное местоположение и др. При нехватке пропускной способности задействуются резервные посты или передвижные мастерские.

Пользующиеся такими резервными мощностями системы обслуживания, как правило, извещают об этом своих клиентов, что демонстрирует клиентам заботу об их нуждах.

Таким образом, формирование требований доступности услуг на основе критериев полноты охвата мощностей заказами и уровня

удовлетворения спроса позволяет оптимизировать планирование ресурсов при организации технического сервиса сельскохозяйственной техники и обеспечить минимизацию суммарных затрат на производственные резервы.

Список использованной литературы

1. Круглый П.Е. Формирование требований функциональности услуг при организации технического сервиса сельскохозяйственной техники. / П.Е. Круглый, П.Н. Василевский // Современные тенденции развития с.-х. машиностроения и технического сервиса в АПК: материалы Международной науч.-практ. конф. (Минск 4-5 июня 2025 г.). – Минск: БГАТУ, 2025. с. 34-39.

2. Технический сервис транспортных машин и оборудования / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М: ИНФРА, 2014. – 228 с.

3. Прикладная математика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

Summary. Formation of requirements for service availability based on capacity utilization and demand fulfillment criteria will optimize resource planning when organizing technical service of agricultural machinery and minimize total costs for production reserves.

УДК 631.3.004.67

Круглый П.Е., кандидат технических наук, доцент;

Мисько В.Г., старший преподаватель;

Шукан М.М., аспирант

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ПАРКА ХОЗЯЙСТВА АПК ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

Аннотация. Приведена методика формирования рациональной структуры автомобильного парка хозяйства АПК. Выполнен пример расчета автомобильного парка хозяйства.

Abstract. A methodology for forming a rational structure of the vehicle fleet of an agro-industrial complex (AIC) enterprise is presented. An example of calculating the enterprise's vehicle fleet is provided.

Ключевые слова. Автомобильный парк, рациональная структура

Keywords. Vehicle fleet, rational structure.

Формирование концепции, методики, стратегии и тактики обоснования рациональной структуры автомобильного парка хозяйства АПК является весьма актуальной. Актуальность обусловлена необходимостью повышения эффективности агропромышленного комплекса, снижения

эксплуатационных затрат и повышения рентабельности сельскохозяйственного производства за счет экономичного использования транспортных средств.

На эффективность использования автомобильного транспорта существенное влияние оказывают структура грузов и расстояние их перевозки. Поэтому для выбора рациональных типов автомобилей необходимо исследовать структуру грузов не только за год, но и в напряженный период.

Наибольший вес в структуре грузов в напряженный период для автомобильного транспорта имеют зерно, картофель, зеленая масса и молоко.

Грузы перевозятся в хозяйствах на разные расстояния. Ранее было установлено, что выработка автомобилей различных марок в зависимости от расстояния перевозок меняется не пропорционально [1]. Поэтому для выбора типов автомобилей представляет интерес определение общего закона распределения объемов грузов по расстояниям перевозок.

Для этого используется метод [1-6], в соответствии с которым адекватность теоретического распределения эмпирическому проверялась по значению постоянной части энтропии выборки (зависимость (1)).

$$B = \sum_{i=1}^n P_{(xi)} \ln \frac{1}{P_{(xi)}} + \ln \Psi - \ln \sigma, \quad (1)$$

где $P_{(xi)}$ – вероятность попадания в интервал xi ;

n – число интервалов;

Ψ – величина интервала;

σ – стандарт эмпирического распределения.

Так как каждому закону распределения соответствует свое значение B (Максвелла – 1,68, нормальному – 1,42, Эрланга – 0,80...1,39 с параметром $k = 0...4$), то эта величина служит для характеристики вида распределения и одновременно является его критерием.

Перед определением величины B с использованием стандартных компьютерных программ определяются статистические характеристики эмпирических распределений объемов грузов по расстояниям – среднее значение, стандарт, асимметрия.

После определения B строятся эмпирические гистограммы и аппроксимированные кривые распределения объемов грузов по расстояниям перевозок в напряженный период. Значения критерия B для большинства распределений находятся в пределах 1,22...1,38, что означает, что гипотеза о нормальном законе распределения объемов перевозок по расстояниям в напряженный период, как правило, не может быть отвергнута. Однако в ряде случаев распределения удовлетворительно аппроксимируется по закону Эрланга.

Таким образом, анализ распределения объемов перевозок различных грузов по расстояниям в напряженный период позволяет, в сочетании с изложенным ранее, обосновать структуру автомобильного парка хозяйства АПК.

Необходимо отметить, что формирование рациональной структуры автомобильного парка хозяйства АПК зависит от множества факторов, ключевыми из которых являются:

производственная специализация: растениеводство и животноводство (молочное и мясное) определяют объемы и виды перевозимых грузов (зерно, корнеплоды, корма, молоко, животные);

природно-климатические условия: влияют на сроки и интенсивность полевых работ и, соответственно, на пиковые нагрузки на транспорт;

земельная площадь и конфигурация полей: общая земельная площадь предприятия принята 6590 га, из них пашни – 5060 га; протяженность полей и контурность полей влияют на выбор транспортных средств по проходимости и маневренности;

технологии производства: применяемые технологии в растениеводстве и животноводстве, включая комплексы заготовки кормов и уборки урожая, определяют потребность в специализированном транспорте;

имеющаяся инфраструктура: состояние дорожной сети, наличие и расположение складов, ферм и перерабатывающих мощностей;

экономические факторы: стоимость приобретения, эксплуатации и ремонта техники, цены на топливо, наличие лизинговых программ и государственной поддержки;

рынок автомобильной техники: доступность на белорусском рынке определенных марок и моделей автомобилей, их технические характеристики и сервисная поддержка.

Анализ научной литературы [1–3, 7] показывает, что существуют различные подходы к обоснованию рациональной структуры транспортных парков. В основном они базируются на:

расчетно-аналитических методах: определение потребности в транспорте на основе расчета грузооборота и грузопотоков;

нормативных методах: использование установленных норм выработки и расхода топлива для различных видов транспортных работ;

экономико-математическом моделировании: построение моделей, позволяющих найти оптимальное решение при заданных ограничениях (например, минимизация затрат).

Для условий Республики Беларусь наиболее применимым является комплексный подход, сочетающий элементы всех перечисленных методов и уделяющий особое внимание практической реализации и учету специфики отечественного АПК [7].

Методика обоснования рациональной структуры автомобильного парка предприятия включает следующие этапы.

1. Анализ текущего состояния парка: инвентаризация имеющихся автомобилей с указанием марки, модели, года выпуска, технического состояния, балансовой и остаточной стоимости; анализ эксплуатационных затрат (расход топлива, затраты на ремонт и техническое обслуживание).

2. Расчет потребности в перевозках: определение годового объема перевозок по видам грузов (зерно, сахарная свекла, картофель, рапс, корма, молоко, КРС и т.д.) на основе данных годовых отчетов; расчет грузооборота (т·км) с учетом средних расстояний перевозок.

3. Определение необходимого количества и типов автомобилей: расчет потребного количества автомобилей по каждой группе грузоподъемности на основе годового грузооборота и нормативной годовой выработки одного автомобиля; выбор конкретных моделей автомобилей и прицепного состава с учетом их технических характеристик, доступности на рынке Республики Беларусь и рекомендаций «Системы перспективных машин и оборудования для реализации эффективных технологий производства» [8].

4. Формирование рациональной структуры парка: сравнение расчетной потребности с фактическим наличием техники; разработка предложений по списанию устаревшей и изношенной техники; формирование итогового перечня необходимой автомобильной техники.

5. Разработка стратегии и тактики обновления: определение очередности обновления техники; анализ источников финансирования (собственные средства, кредиты, лизинг).

Расчет выполнялся по зависимостям (2...5).

1. Годовой объем перевозок ($Q_{год}$, т):

для продукции растениеводства:

$$Q_{год} = ВП \cdot K_T, \quad (2)$$

где $ВП$ – валовой сбор продукции, т;

K_T – коэффициент товарности.

для молока:

$$Q_{год} = V_{сут} \cdot 365, \quad (3)$$

где $V_{сут}$ – суточный объем производства молока, т.

для прочих грузов (корма, удобрения и т.д.) – на основе данных предприятия.

2. Годовой грузооборот ($P_{год}$, т·км):

$$P_{год} = Q_{год} \cdot L_{cp}, \quad (4)$$

где L_{cp} – среднее расстояние перевозки одного и того же груза (км).

3. Потребное количество автомобилей (A_x):

$$A_x = P_{\text{год}} / (W_{\text{год}} \cdot q \cdot y), \quad (5)$$

где $W_{\text{год}}$ – годовая выработка одного автомобиля, км;

q – номинальная грузоподъемность, т;

y – коэффициент использования грузоподъемности.

Далее выполняется анализ текущего состояния автомобильного парка на основании ведомости основных средств.

Многие автомобили могут иметь значительный срок эксплуатации (более 10-15 лет) и, как следствие, высокую степень износа и низкую остаточную стоимость, что ведет к повышенным затратам на ремонт и топливо.

На основании данных годовых отчетов определяются объемы производства и реализации основной продукции, что позволяет рассчитать необходимые объемы перевозок.

На основе расчетов и анализа существующих и перспективных моделей, рекомендованных для АПК Беларуси, предлагается следующая рациональная структура парка хозяйства.

Грузовые автомобили (самосвалы) – для перевозки зерна, сахарной свеклы, картофеля, органических удобрений:

МАЗ-6501С9 (6х4), грузоподъемность 19 т: 5 единиц – современные, экономичные самосвалы, подходящие для больших объемов перевозок на средние и дальние расстояния;

МАЗ-5550С3 (4х2), грузоподъемность 12 т: 4 единицы – более маневренные автомобили, эффективны для внутрихозяйственных перевозок и работы на полях с низкой несущей способностью грунта.

Специализированные автомобили:

автоцистерна для перевозки молока АЦИП-12М на шасси МАЗ: 2 единицы – для ежедневной доставки молока с трех МТК; вместимость 12 м³ позволит оптимизировать количество рейсов;

автотопливозаправщик АТЗ-11 на шасси МАЗ: 1 единица – для обеспечения топливом техники в полевых условиях;

скотовоз ППС-18 на базе автомобильного прицепа: 1 единица – для перевозки крупного рогатого скота на мясокомбинат.

Грузопассажирские и легковые автомобили:

УАЗ-390945 «Фермер»: 3 единицы – для перевозки бригад, запчастей, малогабаритных грузов; отличаются высокой проходимостью;

Renault Dokker / LADA Largus: 2 единицы – для служебных поездок специалистов, доставки мелких грузов, ветеринарных препаратов; обладают хорошей экономичностью;

Geely Atlas Pro / LADA Niva Travel: 3 единицы – для служебных поездок руководства и главных специалистов; обеспечивают комфорт и проходимость по полевым дорогам.

Прицепной состав:

прицепы-самосвалы тракторные ПСТ-12, ПСТ-18: следует учитывать, что значительную часть транспортной работы выполняют тракторы, поэтому наличие достаточного количества тракторных прицепов является обязательным условием для снижения нагрузки на автомобильный парк в пиковые периоды.

Предлагаемый порядок обновления автомобильного парка.

Стратегия: поэтапное обновление автомобильного парка в течение 5-7 лет с целью замены изношенной техники на новые, более эффективные и экономичные модели, с максимальным использованием лизинговых программ и мер государственной поддержки.

Тактика:

1. Первоочередное списание: В первую очередь подлежат списанию автомобили с истекшим сроком амортизации и высокой стоимостью ремонта.

2. Приобретение новой техники:

лизинг: является наиболее предпочтительным инструментом, так как позволяет обновлять парк без значительных единовременных вложений и относить лизинговые платежи на себестоимость; целесообразно заключение договоров лизинга на новые самосвалы МАЗ и специализированную технику;

собственные средства: направлять на приобретение легковых и грузопассажирских автомобилей, где стоимость ниже, а условия кредитования могут быть более выгодными.

3. Примерный график обновления:

Годы 1-2: Приобретение 2-3 самосвалов МАЗ-6501С9 и 1-2 УАЗ «Фермер» в лизинг. Списание наиболее изношенной техники.

Годы 3-4: Приобретение оставшихся самосвалов, автоцистерн и топливозаправщика. Обновление парка легковых автомобилей.

Годы 5-7: Завершение обновления парка в соответствии с предложенной структурой.

Таким образом, предложенная концепция и методика формирования рациональной структуры автомобильного парка предприятия является научно-обоснованной и практически реализуемой. Ее внедрение позволит: снизить эксплуатационные затраты на 15-20 % за счет уменьшения расхода топлива и затрат на ремонт; повысить производительность транспортных работ за счет использования более грузоподъемной и надежной техники; улучшить условия труда водителей и специалистов; повысить общую рентабельность производства сельскохозяйственной продукции.

Список использованной литературы

1. Миленский В.С., Круглый П.Е., Круглый С.П. Анализ составных частей эргономической системы «водитель – автомобиль – дорога – внешняя среда». Наука и транспорт № 2 (47). Научно-практический журнал. Вестник БелГУТ. – Гомель, 2023. – С. 19–24.

2. Миленький В.С., Круглый П.Е., Круглый С.П. Методы расчета сложности маршрута в зависимости от дорожных условий. – В кн.: Перспективы развития транспортного комплекса: материалы IX Международной заочной научно-практической конференции. – Минск: БелНИИТ «Транстехника», 2024. – С. 204–210.

3. Круглый П.Е., Балько А.А., Круглый П.С. и др. Определение и анализ влияния факторов на показатели использования автомобильных транспортных средств в сельском хозяйстве. – В кн.: Техсервис-2022: материалы научно-практической конференции. – Минск: БГАТУ, 2022. – С. 58-61.

4. Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. – М.: Книга по требованию, 2013. – 145 с.

5. Ивуть Р.Б. Экономика автомобильного транспорта. В 2-х частях. – Минск: БНТУ. Часть 1, 2008. – 455 с., часть 2, 2010. – 275 с.

6. Кобзарь А.И. Прикладная математика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

7. Методические рекомендации по определению оптимальной структуры машинно-тракторного парка в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь. – Минск: БелНИИ АЭ, 2019. – 157 с.

8. Система перспективных машин и оборудования для реализации эффективных технологий производства и первичной переработки основных видов продукции растениеводства и животноводства на 2021-2025 годы и на период до 2030 года. – Минск, 2022. – 64 с.

Summary. Thus, the proposed concept and methodology for forming a rational structure of the enterprise's vehicle fleet is scientifically grounded and practically feasible. Its implementation will allow for: reducing operating costs by 15-20% through decreased fuel consumption and repair expenses; increasing the productivity of transport operations by using higher-capacity and more reliable equipment; improving working conditions for drivers and specialists; and enhancing the overall profitability of agricultural production.

УДК 621.436:681.518.5

Курносов А.Ф., кандидат технических наук, доцент
*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет
инженерии и биотехнологий», г. Новосибирск, Россия*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ЯМЗ-53445-22 В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. Экспериментально определены реакции опор двигателя ЯМЗ-53445-22, эффективный крутящий момент и эффективная мощность при движении на второй передаче и статичной нагрузке двигателя тормозным моментом. Установлено, что в процессе испытаний по предложенной методике двигатель возможно загрузить до номинальной мощности.

Abstract. The engine mount reaction forces, brake torque, and brake power of the YaMZ-53445-22 engine were experimentally determined under second-gear operation with the engine statically loaded by a braking torque. It has been established that, during

testing in accordance with the proposed methodology, the engine can be loaded up to its rated power.

Ключевые слова: реакции опор, эффективный крутящий момент двигателя, эффективная мощность двигателя, частота вращения коленчатого вала

Keywords: support reactions, engine effective (brake) torque, engine effective (brake) power, crankshaft rotational speed

Совершенствование газодинамических процессов в цилиндрах позволило достичь высокой эффективности работы современных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) [1]. В то же время методика контроля эффективной мощности в процессе эксплуатации ДВС не разработана. Текущий контроль индикаторной мощности, оцениваемый по величине цикловой подачи топлива, не позволяет однозначно и достоверно сделать заключение об эффективности работы двигателя, так как повышение цикловой подачи топлива вследствие механического износа элементов топливной системы будет свидетельствовать о повышении индикаторной мощности, несмотря на снижение эффективности работы ДВС [2].

Кроме того, даже при нормальной работе топливной системы неисправности элементов цилиндропоршневой группы, газораспределительного механизма или системы питания воздухом также приведут к снижению эффективной мощности ДВС, несмотря на нормальную расчетную индикаторную мощность [3].

В связи с этим, актуальным и практически значимым становится разработка новых методов и средств определения эффективного крутящего момента и эффективной мощности ДВС.

Диагностирование двигателей с газотурбинным наддувом с помощью цифровых средств измерений согласно разработанных методик позволило авторам оценить эффективность работы отдельных систем ДВС, но для широкого использования требуется разработка программных и аппаратных средств для проведения комплексного диагностирования [4, 5].

Проведенные собственные исследования показали, что эффективную мощность ДВС можно определить по величине реакций его опор в условиях эксплуатации [3]. Однако полученные результаты не позволили установить номинальные значения мощности, так как при предлагаемом режиме работы ДВС «свободный разгон-выбег» загрузка двигателя до номинального значения не была обеспечена. Дальнейшие испытания показали, что загрузку ДВС можно обеспечить при движении автомобиля на низшей передаче при включенных тормозных механизмах. Данный метод позволяет плавно загрузить ДВС, регулируя момент сопротивления движению автомобиля усилием нажатия на педаль тормоза и провести все необходимые измерения в статичном режиме.

Методика проведения экспериментальных исследований предусматривала установку тензометрических датчиков в правую переднюю и правую заднюю опоры двигателя модели ЯМЗ-53445-22,

установленном на автомобиль ГАЗ-САЗ-2507. Выбор правых опор ДВС обусловлен направлением движения коленчатого вала. Создание нагрузки на коленчатый вал обеспечивает загрузку правых опор двигателя и наоборот – разгрузку левых опор. В результате реакции правых опор являются более чувствительными к изменению загрузки ДВС. К тензометрическим датчикам присоединяли измерительное оборудование для регистрации реакций опор. Дополнительно считывали диагностическую информацию (частоту вращения коленчатого вала, цикловую подачу топлива расход топлива и др. показатели) диагностическим сканером через встроенную систему диагностирования.

Общая методика проведения экспериментальных исследований предусматривала пуск и прогрев ДВС совместно с коробкой перемены передач, запуск измерительного оборудования, включение второй передачи и начало движения, обеспечение максимальной подачи топлива в двигатель, при достижении максимальной частоты вращения коленчатого вала плавную загрузку двигателя моментом сопротивления тормозных механизмов. При достижении частоты вращения коленчатого вала 1300 мин^{-1} , соответствующей минимальной частоте вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте, опыт прекращали. Итоговый результат измерений представлял собой среднее значение от пятикратного повторения опыта.

Анализ графика показывает, что величина реакций опор изменяется не мгновенно при воздействии на педаль тормоза. В среднем запаздывание составляет 0,5 с. Частота вращения КВ также практически не изменяется в указанном интервале времени. Следует отметить, что данный период времени зависит от скорости нажатия на педаль тормоза: при увеличении скорости нажатия на педаль время запаздывания изменения реакций сокращается.

Как видно из рисунка, величина реакций на опорах отличается по величине, хотя характер их изменения подобный. Большие значения реакций соответствуют задней правой опоре, меньшие – передней правой. Это объясняется тем, что задние опоры удалены друг от друга, что приводит к большему линейному перемещению точек, в которых измеряются реакции. Таким образом, задние опоры воспринимают основную нагрузку. Увеличение реакций опор происходит в интервале измерений 0,5...1,5 с. Максимальные значения реакций составляют; для задней правой опоры 2229 Н, для передней правой опоры 1659 Н (отклонение на 34%). После 1,5 с измерений реакции постепенно снижаются, что объясняется снижением эффективного крутящего момента двигателя при снижении частоты вращения КВ. Максимальное значение суммарных реакций опор составляет 3875 Н при 1,5 с измерений. Частота вращения КВ при этом составляет 2150 мин^{-1} , что примерно соответствует номинальной частоте вращения КВ. В дальнейшем величина реакций опор постепенно снижается и достигает минимального значения суммарных реакций 3081 Н. Это объясняется программными настройками

электронного блока управления (топливные карты): происходит снижение цикловой подачи топлива при снижении частоты вращения КВ меньше 2150 мин^{-1} для предотвращения повышенного дымления.

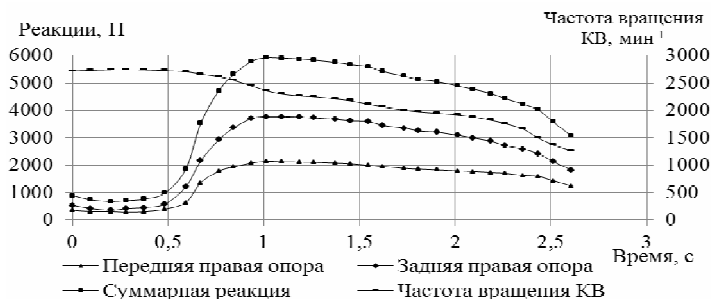


Рисунок 1 – Зависимость изменения реакций опор ДВС и частоты вращения КВ от времени измерений (вторая передача)

В точке максимальных значений реакций опор эффективный крутящий момент достигает 538 Нм, что соответствует мощности 121 кВт (при номинальном паспортном значении 125 кВт). Эффективная мощность при номинальной частоте вращения КВ составила 124 кВт, что соответствует номинальному паспортному значению, эффективный крутящий момент при номинальной частоте вращения КВ составил 505 Нм.

Таким образом, в результате проведённых экспериментальных исследований установлено, что разработанная методика оценки эффективной мощности позволяет достоверно определять её номинальное значение. Вследствие конструктивного ограничения цикловой подачи топлива, реализуемого системой управления ДВС, достижение режима полной загрузки двигателя, соответствующей максимальному крутящему моменту, в условиях предложенного диагностического подхода не обеспечивается. Тем не менее, представленная методика является вполне применимой для целей периодического диагностирования ДВС в эксплуатационных условиях.

Список использованной литературы

1. Гоц А. Н. Топливная экономичность автотракторных двигателей при отключении части цилиндров / А. Н. Гоц, В. Ф. Гуськов // Горение и взрыв. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 56–62.
2. Курносов А.Ф., Гуськов Ю.А. Особенности и характер влияния частоты вращения коленчатого вала на величину импульса реакций опор, оцениваемых при диагностировании двигателя внутреннего сгорания // Агроинженерия. 2023. Т. 25, No 1. С. 56-62. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-56-62.
3. Курносов А. Ф., Гуськов Ю. А., Григорев Н. Н. Совершенствование способа оценки эффективной мощности дизельного двигателя в режиме работы «свободный разгон-выбег» // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 3. – С. 142–147.

4. Чичилов И. И. Совершенствование методики и средств диагностирования дизельных двигателей: диссертация...кандидата технических наук: 05.20.03. – Омск, 2017. – 211 с.

5. Кривцов С. Н. Разработка метода бестормозных испытаний восьмицилиндровых дизельных двигателей в эксплуатационных условиях (на примере двигателя КамАЗ-740): диссертация...кандидата технических наук : 05.20.03. – Иркутск, 2005. – 197 с.

Summary. The experimental investigations carried out have demonstrated that the developed brake power assessment methodology enables reliable determination of its rated value. Owing to a design constraint on the per-cycle fuel delivery imposed by the engine control system, the full-load engine regime corresponding to maximum torque cannot be attained within the framework of the proposed diagnostic approach. Nevertheless, the presented methodology is fully applicable to the periodic in-service diagnostics of internal combustion engines under field conditions.

УДК 004.9

Бережная И.Ш., директор центра аддитивных технологий общего доступа;

Асыка А.В., ассистент

*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет
им В.Я. Горина», г. Белгород, Российская Федерация*

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ: ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ ПОМОЩИ

Аннотация В публикации рассматриваются современные возможности 3D-моделирования и аддитивных технологий в ветеринарной медицине, включая создание индивидуальных имплантов, протезов и анатомических моделей для предоперационного планирования. Описаны преимущества применения 3D-печати для повышения точности диагностики, эффективности хирургических вмешательств и качества реабилитации животных.

Abstract The publication discusses the current possibilities of 3D modeling and additive technologies in veterinary medicine, including the creation of individual implants, prostheses, and anatomical models for preoperative planning. It describes the advantages of using 3D printing to improve the accuracy of diagnostics, the effectiveness of surgical interventions, and the quality of animal rehabilitation.

Ключевые слова. 3D-моделирование, аддитивные технологии, 3D-печать, ветеринария, индивидуальные импланты, протезирование животных, цифровые технологии в медицине

Keywords. 3D modeling, additive technologies, 3D printing, veterinary medicine, customized implants, animal prosthetics, and digital technologies in medicine

3D-моделирование, т.е. создание трехмерных цифровых объектов посредством специального программного обеспечения – современная технология, находящая широкое применение в различных сферах народного хозяйства, включая аграрный сектор и в частности ветеринарию [1, 2].

Использование трехмерных моделей позволяет улучшить диагностику, планирование операций, обучение специалистов и создание индивидуальных протезов или имплантов для животных.

Мы видим следующие направления использования технологий 3D-моделирования в ветеринарии:

1) Визуализация анатомии при планировании операций – создание 3D-модели позволит ветеринарному врачу получить точное представление о внутренней структуре животного, что особенно важно при сложных хирургических вмешательствах, поможет подготовиться к операции, определить оптимальный подход и снизить риски [3].

2) Персонализированные решения и быстрота производства под анатомию конкретного животного следующих изделий:

- имплантов, т.е. устройств, интегрируемых непосредственно в тело животного для восстановления внутренних структур, например, полученные с помощью 3D-печати эндопротезы суставов собакам крупных пород, пластины для остеосинтеза, межпозвонковые распорки (кейджи), костнозамещающие материалы черепа и т.д.;

- протезов, т.е. устройств, заменяющих утраченные конечности и других частей организма животного, или улучшающих функциональность существующих, например, части конечностей домашних питомцев, восстановление клюва у редких птиц и т.д.;

- ортезов, т.е. приспособлений, накладываемых с внешней стороны животного, для изменения структурных и функциональных характеристик нервно-мышечной и скелетной системы, например, полученные с помощью 3D-печати ортезы плюсны для собак и кошек, коленных, скакательных и лучезапястных суставов и т.д.

3) На базе 3D-моделей внутренних органов животных можно проводить тренировки и обучение ветеринарных специалистов, позволяя им практиковаться без риска для животных [4].

4) Симуляция операций на базе виртуальных тренажеров с 3D-моделями различных органов животных.

5) Моделирование патологий при проведении научных исследований, т.е. создание моделей болезней и травм для изучения их развития и поисков методов лечения.

Источниками данных для создания 3D-моделей, которые могут быть применены в ветеринарии выступают:

- данные полученные путем медицинской визуализации – МРТ (магнитно-резонансная томография, при которой детализированные изображения внутренних органов получают с помощью магнитного поля и радиоволн), КТ (компьютерная томография, при которой детализированные изображения внутренних органов получают с помощью рентгеновских лучей) и УЗИ (ультразвуковое исследование);

- данные полученные путем 3D-сканирования, т.е. получения цифровой копии с реального объекта путем измерения геометрических характеристик

(используются специальные 3D-сканеры) и соответствующее программное обеспечение – Scaniverse, Widar, PointShape Inspector, SCENE и др.;

- программы для моделирования (Blender, SketchUp, Autodesk 3ds Max) редактирования (Meshmixer, SculptGL) и анализа 3D-объектов (Fusion 360, PointShape Inspector) и другие.

Конечным продуктом 3D-моделирования для ветеринарии выступает модель, полученная путем 3D-печати: FDM (послойное наплавление), SLA (фотополимерная), SLS (селективное лазерное спекание) и SLM (селективное лазерное сплавление) [5].

На сегодняшний день аддитивные технологии (3D-печать) находят широкое применение в ветеринарии как для домашних, так и для промышленных животных и птицы, позволяя создавать протезы, импланты, хирургический инструмент и т.д.

Специалисты Центра аддитивных технологий общего доступа Белгородского ГАУ обуславливают активное развитие 3D-моделирования и 3D-печати для нужд ветеринарии следующими факторами [6]:

- индивидуальность, т.е. возможность создание решений под конкретные потребности применительно к конкретному животному;

- точность, т.е. получение решений (изделий ветеринарного назначения) высокой точности;

- прочность, т.е. получение изделий заданной прочности;

- универсальность, т.е. возможность получения изделий, находящихся применение в лечении от мелких непродуктивных животных, например, хомяков, до крупных животных, например, слонов или КРС;

- визуализация, т.е. возможность создания 3D-моделей «пациента», что дает возможность планирования лечения, включая хирургические вмешательства;

- позиционирование, т.е. возможность быстрого и точного расположения протезов и имплантов на основе цифровых моделей, что снижает риски для животного, сокращая время реабилитации;

- биосовместимость, т.е. возможность получения изделий из материалов, не вызывающих отторжение со стороны иммунной системы или тканей организма животного, например, титановых сплавов или биосовместимых полимеров;

- гладкость, т.е. возможность получения изделий с низкой шероховатостью, например, путем двухэтапной обработки протезов (гидроабразивной и лазерной), полученных путем порошковой 3D-печати, что снизит травмируемость тканей и бактериальное заражение и увеличит срок службы;

- скорость, т.е. получение изделий в том числе сложной формы в кратчайшие сроки;

- доступность, т.е. возможность получения конкретных решений непосредственно в условиях ветеринарных клиник;

- низкая себестоимость, т.е. возможность получения уникальных изделий по низкой цене (по сравнению с заказом в специализированных центрах, занимающихся изготовлением протезов).

Проведя обзор литературы и открытых интернет-источников выявлены основные направления и примеры применения аддитивных технологий в ветеринарной практике:

- ортопедия и хирургия – изготовление эндопротезов суставов, краниопластика, индивидуальные фиксаторы и т.д.;
- протезирование – реконструкция поврежденных внешних костно-роговых элементов (клювов птиц, панцирей черепахи, копыт скота и т.д.);
- стоматология и челюстно-лицевая хирургия – изготовление индивидуальных дентальных имплантов, хирургических шаблонов для точного позиционирования и т.д.;
- хирургическое планирование и обучение – создание точных анатомических цифровых моделей по данным компьютерной томографии для предоперационного планирования и отработки навыков;
- индивидуальные вспомогательные устройства – протезы, ортопедические биндажи и другие устройства для реабилитации.

Определенный интерес вызывают направления, связанные с созданием базы 3D-моделей, что позволит ветеринарным клиникам применять быстрые решения, что особенно актуально в экстренных ситуациях.

Выбор материала для аддитивного производства в ветеринарии является критически важным этапом, определяющим не только механические свойства конечного изделия, но и его биосовместимость, долговечность, а также возможность стерилизации и безопасность для пациента. Все материалы, используемые в 3D-печати для ветеринарных целей, можно условно разделить на три большие группы: металлы и сплавы (для несущих имплантов), биосовместимые высокотемпературные полимеры (для долгосрочной имплантации) и конструкционные и вспомогательные полимеры (для ортезов, протезов, моделей и временных устройств).

Металлические материалы обеспечивают максимальную прочность и жесткость, что делает их незаменимыми при замещении участков костной системы, испытывающих высокие нагрузки. Наиболее востребован титан и его сплав Ti6Al4V, обладающий отличной коррозионной стойкостью, способностью к остеоинтеграции (врастанию костной ткани) и низким модулем упругости, близким к костной ткани. Нержавеющая сталь (например, 316L) несколько дешевле, однако менее биосовместима и тяжелее, поэтому применяется чаще для временных фиксаторов и инструментов.

Биосовместимые полимеры класса РЕЕК (полиэфирэфиркетон) и медицинского полиамида занимают промежуточное положение между металлами и стандартными пластиками. Они химически инертны, не вызывают отторжения, имеют модуль упругости, близкий к кортикальной кости, и позволяют создавать импланты, которые не экранируют рентгеновское излучение (не дают артефактов на КТ). Основное применение - краниопластика, межпозвонковые кейджи, индивидуальные импланты лицевого скелета.

Конструкционные и вспомогательные полимеры используются для изготовления устройств, не контактирующих с внутренней средой организма длительное время, либо контактирующих через неповреждённые покровы. PLA (полилактид) и PETG - популярные и доступные материалы для FDM-печати, однако они не предназначены для долгосрочной имплантации (PLA биоразлагаем, PETG может вызывать воспаление при контакте с кровью). Нейлон (полиамид) характеризуется высокой износостойкостью и эластичностью, подходит для шарнирных соединений протезов. Фотополимерные и эпоксидные смолы (включая медицинские классы) обеспечивают высокую детализацию и гладкость поверхности, незаменимы для хирургических шаблонов и анатомических моделей. Термополиуретан (TPU) - единственный в этом списке эластомер, позволяющий печатать гибкие, амортизирующие элементы: ортезы с зонами кастомизированной жёсткости, мягкие чехлы протезов, элементы, контактирующие с нежной кожей или опилками (у копытных).

Для несущих имплантов, интегрируемых в костную систему, оптимальным является титановый сплав Ti6Al4V, тогда как для разработки индивидуальных ортезов и протезов конечностей наиболее востребованы термополиуретан (TPU) и нейлон благодаря сочетанию эластичности и износостойкости. В учебных же целях экономически оправдано применение PLA и PETG.

Список использованной литературы

1. Толочко Н.К., Романюк Н.Н., Авраменко П.В. Аддитивные технологии и высшая школа // Высшая школа. 2021. № 1. С. 38–43.
2. Акчурин С. Использование цифровых технологий в практике работы ветеринарных клиник / С. Акчурин, Г. Дюльгер, И. Акчурина [и др.] // Ветеринария сельскохозяйственных животных, №9, 2024.
3. Ляпков А.А. Полимерные аддитивные технологии: учебное пособие для вузов / А.А.Ляпков, А.А.Троян. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 120 с.
4. Зеленецкий Н.В. Анатомия животных. Практикум: учебное пособие для вузов / Н.В. Зеленецкий, М.В. Щипакин, К.Н. Зеленецкий. – Санкт-Петербург: Лань, 2026. – 696 с.
5. Бережная, И.Ш. 3D-моделирование как фактор повышения качества агроинженерного образования / И.Ш. Бережная // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. Актуальные проблемы животноводства: Материалы международной научно-практической конференции, в честь 5-летия Центра Российско-Белорусского сотрудничества, дополнительного образования, содействия трудоустройству обучающихся, Нижний Новгород, 26 сентября 2019 года. – Нижний Новгород: ФГБОУ ВО «Нижегородская ГСХА», 2020. – С. 13–16.
6. Бережная, И. Ш. Особенности применения аддитивных технологий / И. Ш. Бережная // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке : Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти д.т.н., профессора Вендина Сергея Владимировича, Майский, 15 ноября 2024 года. – Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2024. – С. 8-9. – EDN BCTQSH.

Ваулин В.И.¹, кандидат педагогических наук, доцент;

Захарова И.Г.¹, кандидат педагогических наук,

Фролов Д.В.¹, Ваулин С.В.²

¹ *Филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Сызрань, Российская Федерация*

² *ОАО «ТЯЖМАШ», г. Сызрань, Российская Федерация*

ПОСТРОЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация. Целью работы является разработка, внедрение и автоматизация локальной вычислительной сети, отвечающей требованиям отказоустойчивости, безопасности и удобства эксплуатации, соответствующая требованиям к ИТ-сервисам информационных систем предприятия, сформированные в соответствии с архитектурным подходом к управлению предприятием. Методологической основой исследования является сервис-ориентированный подход к анализу требований системы управления предприятием к ИТ-поддержке. Предложена модель сервис-ориентированного архитектурного решения по ИТ-поддержке процессов предприятия и описаны специфические (отраслевые) требования к ИТ-сервисам систем классов BI, ERP, MES, АСУ ТП. Проектирование ИТ-архитектуры предприятия на основе сервисов позволяет спроектировать отвечающую актуальным потребностям бизнеса систему управления информационными потоками, включая автоматизированную систему. Особое внимание при проектировании ИТ-архитектуры предприятия важно уделять системам управления производством (MES) и автоматизированным системам управления технологическими процессами (АСУ ТП). При внедрении подобных систем на практике используются ИТ-решения от разработчиков, специализирующихся на автоматизации предприятий.

Abstract. The aim of the work is to develop, implement and automate a local computer network that meets the requirements of fault tolerance, security and ease of operation, meeting the requirements for IT services of enterprise information systems, formed in accordance with the architectural approach to enterprise management. The methodological basis of the research is a service-oriented approach to the analysis of the requirements of the enterprise management system for IT support. A model of a service-oriented architectural solution for IT support of enterprise processes is proposed and specific (industry-specific) requirements for IT services of BI, ERP, MES, and automated process control systems are described. Designing an enterprise's IT architecture based on services makes it possible to design an information flow management system that meets current business needs, including an automated system. When designing an enterprise's IT architecture, it is important to pay special attention to production management systems (MES) and automated process control systems (APCS). When implementing such systems in practice, IT solutions from developers specializing in enterprise automation are used.

Ключевые слова: автоматизация локальной вычислительной сети, верхне-уровневая архитектура ИТ-сервисов, система управления производством (MES), автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Keywords: automation of a local computer network, top-level IT service architecture, production management system (MES), and automated process control system (APCS).

В современном мире практически каждая организация, независимо от сферы деятельности, использует компьютерную технику. Однако эффективная работа сотрудников возможна лишь при условии корректного взаимодействия всех устройств между собой. Для обеспечения бесперебойного обмена информацией между рабочими станциями, серверами и периферийным оборудованием необходимо проектирование надежной и отказоустойчивой локальной вычислительной сети (ЛВС). Разрабатываемая локальная сеть состоит из нескольких компонентов, которые обеспечивают бесперебойную работу сети. Первым компонентом является сервера, представляющие собой компьютеры, которые управляют данными. Сервера предоставляют сотрудникам платформу для доступа к общим ресурсам и приложениям, таким как базы данных и почтовые клиенты. Вторым компонентом является коммутатор, который подключает сетевые устройства и управляет ими. Коммутаторы используются для создания виртуальных локальных сетей (VLAN), которые сегментируют сеть на более маленькие и управляемые части. Третьим компонентом является маршрутизатор, который соединяет несколько сетей и направляет трафик между ними. Маршрутизаторы используются для подключения локальной сети предприятия к Интернету и другим внешним сетям.

Разработанный проект учитывает все аспекты функционирования современной ЛВС: от физического уровня до организации сетевой безопасности. Особое внимание было уделено созданию масштабируемой архитектуры, позволяющей в будущем расширять сеть без кардинального изменения существующей структуры. Применение структурированной кабельной системы на основе кабелей FastEthernet обеспечивает высокую пропускную способность и возможность перехода на более скоростные протоколы передачи данных. Спроектированная сеть успешно решает поставленные задачи по обеспечению бесперебойного доступа к документам, организации защищенного документооборота и созданию единого информационного пространства предприятия. Разделение сети на логические сегменты с помощью VLAN технологии позволило оптимизировать трафик и повысить уровень безопасности. Реализованная система резервного копирования данных гарантирует сохранность важной информации.

Список использованной литературы

1. Андерсон Дж. CiscoPacketTracer для начинающих: Основы моделирования сетей / Джеймс Андерсон. – Москва, 2023. – 98 с.
2. Браун С. Практические лабораторные работы в CiscoPacketTracer / Стивен Браун. – Санкт-Петербург, 2022. – 145 с.
3. Кларк Д. Практическое руководство по сетевому моделированию / Дэвид Кларк. – Санкт-Петербург, 2023. – 189 с.
4. Ли Х. CiscoPacketTracer: полный курс/Хенри Ли. – Москва, 2021. – 203с.

5. Моррисон К. CCNA Labs с использованием PacketTracer / Кевин Моррисон. – Москва, 2023. – 156 с.
6. Нельсон Б. Продвинутые техники работы в CiscoPacketTracer / Брайан Нельсон. – Санкт-Петербург, 2021. – 167 с.
7. О'Коннор Т. CiscoPacketTracer: от теории к практике / Тим О'Коннор. – Москва, 2022. – 142 с.
8. Тейлор Дж. Изучаем сети через CiscoPacketTracer / Джонатан Тейлор. – Москва, 2023. – 132 с.
9. Уокер Д. Практические сети в PacketTracer / Дерек Уокер. – Киев, 2022. – 154 с.
10. Харрис М. Сети Cisco: моделирование в PacketTracer / Марк Харрис. – Санкт-Петербург, 2023. – 165 с.
11. Шмидт К. Полное руководство по CiscoPacketTracer 8.0 / Карл Шмидт. – Москва, 2022. – 187 с.

Summary. The aim of the work is to develop, implement and automate a local computer network that meets the requirements of fault tolerance, security and ease of operation, meeting the requirements for IT services of information systems formed in accordance with the architectural approach to enterprise management. **Materials and methods:** they include designing the network topology, selecting hardware and software, configuring automated control systems, and testing the functionality of the created local network. **Result.** A model of a service-oriented architectural solution for IT process support is proposed and specific (industry-specific) requirements for IT services BI, ERP, MES and automated process management systems are described. Designing an enterprise's IT architecture based on services makes it possible to design an information flow management system that meets current business needs, including an automated system. When designing an IT architecture, it is important to pay special attention to production management systems (MES) and automated process control systems (APCS). When implementing such systems, IT solutions from developers specializing in enterprise automation are used in practice.

UDC 004.85:635.64

Minqiu Kuang^{1,3}, Bang Ji¹, Xu Li^{1,2},

¹ *College of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China*

² *Hunan Provincial Key Laboratory of Intelligent Agricultural Machinery and Equipment, Changsha 410128, China*

³ *Foshan-Zhongke Innovation Research Institute of Intelligent Agriculture and Robotics, Foshan, 528000, China*

GCP-YOLO: HIGH-PRECISION DETECTION OF TINY CHILI FLOWERS IN COMPLEX GREENHOUSE SCENES

Abstract Precise detection of tiny chili flowers and buds is essential for intelligent greenhouse monitoring, robotic pollination, and early yield prediction. However, reliable visual detection remains challenging due to ultra-small target size, dense distribution, severe foliage occlusion, and dramatic illumination variations in greenhouse environments. Traditional lightweight YOLO models suffer from insufficient fine-

grained feature extraction and are vulnerable to background interference, resulting in high missed and false detection rates. To address these problems, this paper proposes GCP-YOLO based on YOLOv11n. Three core improvements are made: a generalized feature pyramid network (GFPN) for enhanced cross-scale feature fusion; a context-guided cascaded attention (C2CGA) module to suppress background noise and highlight floral morphological features; and extended P2-P6 multi-scale detection heads to improve the perception of tiny and occluded targets. Experimental results demonstrate that GCP-YOLO achieves 92.8% Precision, 83.7% Recall, 90.8% mAP50 and 72.2% mAP50-95. It outperforms YOLOv11n and other mainstream lightweight detectors. Deployed on NVIDIA Jetson AGX Orin, the model reaches an average inference speed of 97.9 FPS with only 6.29 M parameters, which fully meets the requirements of edge real-time detection in agricultural scenarios.

Keywords. Chili flower detection; Tiny object detection; YOLOv11n; GFPN; C2CGA; Edge deployment.

1. Introduction.

Chili is one of the most economically important vegetable crops worldwide. The flowering period directly determines fruit set and potential yield. Accurate detection of chili flowers is a prerequisite for intelligent greenhouse management, automatic pollination robots, and data-driven yield estimation. Nevertheless, chili flower detection faces prominent difficulties: flower buds are extremely small, densely distributed, and frequently sheltered by overlapping leaves. Meanwhile, greenhouse reflections, uneven light and complex backgrounds further degrade detection performance.

Current mainstream detectors such as YOLOv5-v11 and RT-DETR achieve promising results in common detection tasks, but they lack sufficient ability to extract subtle tiny-flower features. They are prone to feature dissipation in deep networks and cannot effectively suppress texture-similar background interference, leading to frequent missed and false detections. To solve the above limitations, this paper develops GCP-YOLO by optimizing feature fusion, attention mechanism and multi-scale detection structure, aiming to achieve high-precision and real-time detection of tiny chili flowers in complex greenhouse environments.

2. Miniature Object Perception Model (GCP-YOLO) Design

2.1 Dataset Construction

Image acquisition was conducted at the vegetable planting base of Hunan Agricultural University. Images were collected at different time periods, illumination conditions and shooting angles to ensure data diversity. A total of 1875 valid original images were screened. Multiple augmentation strategies including brightness adjustment, Gaussian noise addition, random occlusion, geometric transformation and contrast enhancement were adopted, expanding the dataset to 5399 samples. The dataset was divided into training set, validation set and test set at the ratio of 8:1:1.

mAP50 and mAP50-95 are used as evaluation indicators. Model parameters, FLOPs and inference FPS are adopted to evaluate lightweight performance and deployment capability.

3. Experimental Results and Analysis

3.1 Ablation Experiment

Ablation results show that each improved module contributes positively to detection performance. GFPN improves cross-scale feature fusion; C2CGA increases recall and anti-interference ability; P2-P6 detection heads greatly improve mAP under complex occlusion. The combination of all modules achieves the optimal comprehensive performance.

3.2 Comparison with SOTA Methods

Comparative experiments with RTDETR-R50, YOLOv5n, YOLOv6n, YOLOv8n, YOLOv10n and YOLOv11n show that GCP-YOLO achieves the best comprehensive indexes: Precision 92.8%, Recall 83.7%, mAP50 90.8%, mAP50-95 72.2%. Compared with the baseline YOLOv11n, each index is improved by 2.1%, 1.3%, 3.9% and 6.6% respectively, showing superior detection accuracy and robustness.

Table 1 – Comparison with Representative Detection Models for Greenhouse Chili Monitoring (all values in %)

Detector	P	R	mAP50	mAP50-95
RTDETR-R50	91.8	82.3	86.6	61.2
YOLOv5n	93.4	81.9	87.2	66.6
YOLOv6n	93.7	82.9	87.2	67.2
YOLOv8n	92.9	83.1	87.4	68.6
YOLOv10n	93.3	80.2	86.1	67.8
YOLOv11n	90.7	82.4	86.9	65.6
YOLO26n	90.0	78.5	83.3	60.6
GCP-YOLO(Ours)	92.8	83.7	90.8	72.7

3.3 Visualization Analysis

Grad-CAM heatmap visualization indicates that the baseline model is easily disturbed by light and leaf background, with scattered attention areas. In contrast, GCP-YOLO can accurately focus on flower and bud targets, effectively filtering background noise, and has strong adaptability in strong light, shadow and heavy occlusion scenarios.

3.4 Edge Deployment Performance

Deployed on NVIDIA Jetson AGX Orin platform with FP16 mode, the inference speed of GCP-YOLO reaches 97.9 FPS. The model only has 6.29 M parameters and 12.8 G FLOPs, which is lightweight and meets the real-time working requirements of agricultural picking and pollination robots.

4. Conclusion and Future Work

This paper proposes GCP-YOLO for tiny chili flower detection in complex greenhouse environments. By designing GFPN feature fusion structure,

C2CGA attention module and P2-P6 multi-scale detection heads, the proposed model effectively enhances small-target feature extraction and anti-interference ability. Comparative experiments and visualization results verify that GCP-YOLO achieves excellent detection accuracy and maintains lightweight characteristics. The model can be stably deployed on edge devices, providing an effective visual perception solution for intelligent greenhouse monitoring and robotic pollination systems.

References

1. Kuang M Q, Chen X, Li X, et al. Pepper disease and pest identification algorithm based on PDPI-YOLO[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2026, 57(10): 262-274.
2. Kuang M Q, Li X, Chen S, et al. Lightweight chili flower detection method based on improved YOLOv8n[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025, 41: 198-207.
3. Kuang M Q, Li X, Wu B, et al. CF-Detr: A robust transformer-based framework for small-scale chili flower detection[J]. Frontiers in Plant Science, 2026, 17: 1824412.
4. Kuang M Q, Li X, Xie F, et al. Advancements and prospects in key technologies for robotic pollination in greenhouse pepper breeding[J]. Frontiers in Plant Science, 2026, 17: 1778541.
5. Kuang M Q, Xie F, Liu D, et al. A refined yolov5n-based method for detecting pepper flower objects integrating transfer learning[J]. Applied Soft Computing, 2025.
6. Kuang M Q, Zou X, Xie F, et al. DDM-YOLO: A lightweight oriented detection model for mature daylily fruits in complex environments[J]. Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, 2026.
7. Aquino A, Millan B, Diago M, et al. Automated early yield prediction in vineyards[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 144: 26-36.
8. Wu D, Lv S, Jiang M, et al. Using channel pruning-based YOLO algorithm for apple flower real-time detection[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2020, 178: 105742.
9. Xu J, Zhang X, Wang X, et al. ELSD-DETR: An efficient lightweight network for strawberry flower detection[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2026, 243: 111398.

СЕКЦИЯ 2

«Инновации в проектировании и производстве машин и оборудования для АПК»

УДК 631.3-52:004.896

Кутырёв А.И., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
Хорт Д.О., доктор технических наук, главный научный сотрудник;
Смирнов И.Г., доктор технических наук, член-корреспондент РАН,
главный научный сотрудник
*ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
г. Москва, Российская Федерация*

РАЗРАБОТКА ГУСЕНИЧНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ С СИСТЕМОЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА САДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Аннотация. В статье представлена разработанная гусеничная роботизированная платформа для мониторинга садовых насаждений с системой компьютерного зрения на основе нейросетевых алгоритмов (YOLO) и высокоточным позиционированием РТК. Описаны конструктивные особенности платформы, методика автономного построения маршрутов и обработки видеоданных. Роботизированная платформа обеспечивает учёт цветков, завязей и плодов с пространственной привязкой данных к каждому дереву, инвентаризацию насаждений и формирование цифровых карт урожайности.

Abstract. The paper presents the developed tracked robotic platform for orchard monitoring with a computer vision system based on neural network algorithms (YOLO) and RTK high-precision positioning. The design features of the platform, the method of autonomous route planning and video data processing are described. The platform provides counting of flowers, ovaries and fruits with spatial reference to each tree, inventory of plants and generation of digital yield maps.

Ключевые слова: роботизированная платформа, гусеничное шасси, компьютерное зрение, нейросетевые алгоритмы, мониторинг садов, инвентаризация насаждений, прогнозирование урожайности.

Keywords: robotic platform, tracked chassis, computer vision, neural network algorithms, orchard monitoring, orchard inventory, yield prediction.

Своевременный и точный мониторинг промышленных садовых насаждений предполагает ранний учёт количества цветков, завязей и плодов, а также диагностику их состояния [1]. Современные нейросетевые алгоритмы компьютерного зрения, в частности свёрточные нейронные сети (CNN, Convolutional Neural Network), позволяют одновременно решать обе задачи: подсчитывать количество биологических объектов в кроне и классифицировать их состояние [2-4]. Это создаёт основу не только для оценки текущего состояния деревьев, но и для прогнозирования урожайности [5].

Однако на практике внедрение таких алгоритмов ограничено методами сбора первичных данных. Традиционный визуальный контроль агронома отличается высокой трудоёмкостью и субъективностью, а стационарные сенсорные сети, как правило, имеют низкую плотность размещения, что исключает мониторинг отдельных деревьев и не учитывает пространственную неоднородность показателей (различие состояния деревьев на разных участках сада) [6]. В связи с этим перспективным решением становится применение мобильных роботизированных систем, оснащённых компьютерным зрением и способных обеспечивать сбор данных на уровне каждого дерева.

Гусеничные роботизированные платформы обладают высокой проходимостью по междурядьям, позволяют нести полезную нагрузку (RGB и мультиспектральные камеры, сенсоры) и могут работать в автономном режиме [7-9]. Интеграция в такую платформу системы компьютерного зрения на основе нейросетевых алгоритмов обеспечивает распознавание биологических объектов (цветки, завязи, плоды, листья) в реальном времени без участия человека [1,2], а также выявление погибших деревьев для инвентаризации сада [10], с пространственной локализацией данных на уровне каждого дерева. Однако, несмотря на наличие отдельных коммерческих решений, задача создания гусеничной роботизированной платформы с системой компьютерного зрения для автоматизированного сбора данных и последующего прогноза урожая остаётся актуальной.

Целью исследований является разработка гусеничной роботизированной платформы с интегрированной системой высокоточного позиционирования и компьютерного зрения для автоматизированного мониторинга садовых насаждений. В статье представлены конструктивные особенности платформы, методика автономного построения маршрутов, алгоритмы стабилизации движения в условиях частичной потери навигационного сигнала, а также программно-аппаратный комплекс обработки видеоданных с пространственной привязкой.

В результате проведённых исследований в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ разработана гусеничная роботизированная платформа. Роботизированная платформа оснащена двумя синхронными электродвигателями на постоянных магнитах, каждый номинальной мощностью 750 Вт, со встроенными датчиками частоты вращения и направления движения. Управление двигателями осуществляется контроллерами FarDriver 72340, пиковая выходная мощность которых достигает 2000 Вт. Питание тяговых двигателей обеспечивается литиевой аккумуляторной батареей с номинальным напряжением 48 В и ёмкостью 40 А·ч. За работу АКБ отвечает система управления Daly Smart BMS 13S, реализующая защиту ячеек и балансировку заряда. Питание бортовой электроники, обо-

рудования и станции RTK осуществляется от двух свинцово-кислотных аккумуляторов напряжением 12 В с суммарной ёмкостью 80 А·ч. Зарядка АКБ выполняется двумя устройствами: источник для тяговой батареи 48 В обеспечивает ток заряда 5 А, а устройство для электроники и RTK 12 В выдаёт ток заряда 7 А. Расчётное время восстановления ёмкости тягового аккумулятора составляет 8 часов ($40 \text{ А} \cdot \text{ч} / 5 \text{ А}$), для вспомогательной батареи – 11 часов ($80 \text{ А} \cdot \text{ч} / 7 \text{ А}$). Полное время зарядки всей платформы составляет 11 часов. Для обеспечения резервного управления и отладки предусмотрено ручное дистанционное управление с помощью радиоканального пульта FlySky i6.

Общий вид разработанной гусеничной роботизированной платформы представлен на рисунке 1.

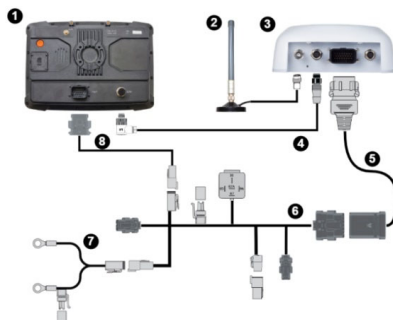


Рисунок 1 – Роботизированная гусеничная платформа для мониторинга садовых насаждений

Для обеспечения автоматического движения платформы в междурядьях используется система высокоточного позиционирования на базе RTK (Real Time Kinematic). В состав системы входят следующие компоненты. Навигационный контроллер КНК-01 представляет собой многочастотный ГНСС-приёмник, поддерживающий спутниковые сигналы: GPS (L1C/A, L2C, L2P(Y), L5), ГЛОНАСС (G1, G2), Galileo (E1, E5a, E5b, E6), BeiDou (B1I, B2I, B1c, B2a, B2b, B3) и QZSS. Контроллер обеспечивает приём поправок RTK в форматах RTCM 3.x, CMR/CMR+ через встроенный УКВ-приёмник с поддержкой протоколов TrimTalk, TrimMark3 и Transparent EOT. Отклонение от заданной линии в режиме RTK в условиях сада не превышает 2,5 см.

Для отображения навигационной информации и управления маршрутами используется терминал МО-101 – 10,1-дюймовый сенсорный дисплей (разрешение 1024×600 , яркость 600 кд/м^2) на базе Android с предус-

тановленным программным обеспечением «Итэлма АгроДрайв». Терминал обеспечивает интерфейс для создания маршрутов, контроля параметров движения и отображения навигационной информации. Он оснащён модулями 4G/LTE, Wi-Fi, Bluetooth, CAN и Ethernet (рисунок 2).



1 – терминал, 2 – антенна УКВ RTK с кабелем подключения,
3 – навигационный контроллер, 4 – кабель подключения терминала,
5 – кабель подключения к основному разъёму КНК-01,
6 – кабель управления и питания, 7 – кабель питания, 8 – кабель питания терминала
Рисунок 2 – Система высокоточного позиционирования на базе RTK

Приём поправок от базовой станции осуществляется через RTK-антенну MG-Q470, работающую в УКВ-диапазоне 410–470 МГц. В паре с УКВ-радиомодемом (2 Вт на платформе, 35 Вт на базе) антенна обеспечивает передачу поправок на расстоянии до 1,5 км. Базовая станция RTK разворачивается стационарно на штативе вблизи обследуемого участка (на удалении 1500–2000 м от крайних рядов). В её состав входят второй навигационный контроллер КНК-01, внешняя многочастотная ГНСС-антенна АТ360 и 35-ваттный УКВ-радиомодем с антенной, установленной на телескопической мачте высотой 4 м. Координаты базы задаются в режиме FIX после усреднения в течение 30 минут, что обеспечивает фиксированную опорную точку с ошибкой менее 1 см. Настройка базы выполняется через веб-интерфейс, где контролируется количество видимых спутников, качество сигнала и режим передачи поправок. Дополнительно система включает датчики обратной связи, включая энкодеры на колёсах, гироскоп и электронный компас (IMU), которые позволяют поддерживать курс и сглаживать кратковременные потери RTK-сигнала при проезде под плотной кроной деревьев.

Перед началом полевых учётов выполняется создание маршрута с использованием разработанного программного обеспечения «Навигация по RTK» с управлением Arduino. Методика предварительного картографирования предполагает перевод платформы в режим дистанционного управления, при котором оператор с помощью пульта ДУ последовательно фикси-

рует GPS-координаты начала и конца каждого ряда, исключая необходимость традиционного пешего обхода междурядий. Собранные пары точек формируют массив опорных координат, который после фильтрации обрабатывается алгоритмом генерации маршрута. Алгоритм автоматически строит челночную траекторию, соединяя попарно нижние и верхние точки рядов, добавляет плавные повороты (кривые Безье) и выделяет прямолинейные участки длиной не менее 10 м, на которых обеспечивается равномерная скорость движения платформы для качественной видеосъёмки (рисунок 3).

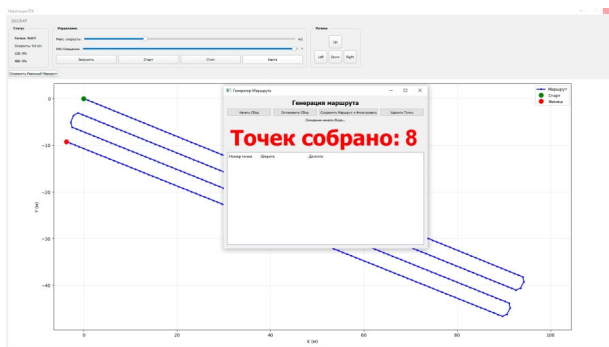


Рисунок 3 – Пример создания маршрута движения гусеничной роботизированной платформы с использованием разработанного программного обеспечения «Навигация по RTK»

Дополнительно генерируются два вспомогательных файла: маршрут_on_camera.txt и маршрут_off_camera.txt, содержащие координаты активации и деактивации видеозаписи. Точки включения/выключения камеры задаются на расстоянии 2 м от границ ряда, что обеспечивает непрерывность съёмки кроны при въезде и выезде из междурядья. Перед запуском автономного режима выполняется калибровка направления движения с помощью IMU. В интерфейсе программного обеспечения предусматривается ручная компенсация магнитного смещения (IMU Offset), позволяющая согласовать показания электронного компаса с фактическим курсом платформы и устранить влияние металлических элементов конструкции.

После загрузки маршрута на дисплее отображается траектория движения. Оператор задаёт максимальную скорость движения (диапазон 0,1-0,8 м/с; для учётов устанавливается 0,2 м/с) и инициирует режим автономной навигации. Платформа начинает движение по первому ряду. В реальном времени на дисплее отображаются текущее положение, направление, пройденный путь, а также параметры RTK-сигнала (количество спутников, HRMS/VRMS ошибки, качество связи с базой). При снижении качества навигационного сигнала ниже порогового значения система автоматически ограничивает скорость до 0,2 м/с, что обеспечивает устой-

Видеосъёмка осуществляется с помощью экшн-камеры DJI Osmo Action 5 Pro, закреплённой на разработанной роботизированной гусеничной платформе. Камера крепится на штативе, жёстко закреплённом на платформе на высоте 1,2 м от земли, что обеспечивает съёмку всех ярусов кроны деревьев. Запись ведётся в режиме 1920×1080 при 60 кадрах/с, с углом обзора «линейный» (без искажений). Автоматизация видеозаписи реализована через синхронизацию навигационных координат с управляющим контроллером: при достижении точки включения, заданной в маршруте, камера активируется, ведёт запись на протяжении всего ряда и отключается после прохождения точки выключения. Для каждого ряда формируется отдельный видеофайл с метаданными даты, времени и номера ряда.

158

В результате проведённых исследований разработана гусеничная роботизированная платформа для мониторинга садовых насаждений. Платформа отличается автономной энергосистемой, достаточной для длительной работы, и интегрированной системой высокоточного позиционирования (РТК), обеспечивающей движение по заданной линии с сантиметровой точностью. Предложена и реализована методика автоматического построения челночных маршрутов с программным управлением видеосъёмкой, исключающим ручное вмешательство на краях рядов. Использование инерциальных датчиков и энкодеров устраняет влияние кратковременных потерь РТК-сигнала под плотной кроной деревьев. Бортовая система компьютерного зрения на базе нейросетевых моделей YOLO и алгоритмов трекинга позволяет в реальном времени распознавать цветки, завязи и плоды, одновременно выполняя их пространственную привязку к координатам РТК. Это даёт возможность формировать цифровые карты распределения урожайности с привязкой к каждому дереву. Создан аппаратно-программный комплекс, объединяющий автономную мобильную платформу, высокоточную навигацию и нейросетевое распознавание, что обеспечивает объективный, пространственно детализированный сбор данных для инвентаризации садов и прогнозирования урожайности. Разработанная платформа может использоваться в интенсивных садах для автоматизированного учёта биологических объектов, инвентаризации деревьев и принятия управленческих решений на основе геопривязанных данных.

Список использованной литературы

1. Кутырёв А.И., Филиппов Р.А. Применение свёрточной нейронной сети для учёта опадения плодов яблони // Таврический вестник аграрной науки. – 2024. – № 1(37). – С. 87–102.
2. Кутырёв А.И., Смирнов И.Г., Андриянов Н.А. Сравнительный анализ моделей нейронных сетей для распознавания плодов яблони на кроне дерева // Садоводство и виноградарство. – 2023. – № 5. – С. 56–63.
3. Khort D.O., Kutyrev A., Smirnov I., Andriyanov N., Filippov R., Chilikin A., Ashtashev M.E., Molkova E.A., Sarimov R.M., Matveeva T.A., Gudkov S. Enhancing sustainable automated fruit sorting: hyperspectral analysis and machine learning algorithms // Sustainability. – 2024. – Т. 16. – № 22. – С. 10084.
4. Кутырёв А.И., Смирнов И.Г., Пряхина М.С., Семёнов А.В., Глушанков Р.Е. Нейросети как вспомогательный элемент фитосанитарного мониторинга плодовых культур на примере яблони // Садоводство и виноградарство. – 2024. – № 6. – С. 51–59.
5. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Федоренко В.Ф., Смирнов И.Г., Пупин Д.С. Разработка комплексной системы прогнозирования урожайности плодовых культур на основе мультимодальных данных и ансамбля моделей машинного обучения // Техника и оборудование для села. – 2025. – № 10(340). – С. 2–8.

6. Bharti D., Faria L.N., Koenigkan L.V., Gebler L., de Rossi A., Santos T.T. Geo-Referenced Factor-Graph SLAM for Orchard-Scale 3D Apple Reconstruction and Yield Estimation // Agriculture. – 2026. – 16(7). – 764.

7. Almtireen N., Ryalat M. Robotics in Precision Agriculture: Task-, Platform-, and Evaluation-Oriented Review // Robotics. – 2026. – № 15(4). – 81.

8. Shalash O., Emad A., Fathy F., Alzogby A., Sallam M., Naser E., El-Sayed M., Khatab E. Fusion of Robotics, AI, and Thermal Imaging Technologies for Intelligent Precision Agriculture Systems // Sensors. – 2025. – № 25(22). 6844.

9. Кутырёв А.И., Андриянов Н.А. Навигация роботизированных платформ в промышленном садоводстве: сравнительный анализ трансформерных моделей семантической сегментации // Садоводство и виноградарство. – 2025. – № 4. – С. 51–59.

10. Кутырёв А.И. Применение алгоритмов компьютерного зрения и глубокого обучения для инвентаризации деревьев в садах интенсивного типа // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2026. – Т. 56. – № 2 (327). – С. 90–100.

11. Кутырёв А.И., Смирнов И.Г. Применение трансформерной архитектуры глубокого обучения (RF-DETR) для мониторинга деревьев-опылителей в рядах садовых насаждений // Аграрная наука. – 2026. – № 4. – С. 127-136.

Summary. A tracked robotic platform for orchard monitoring with YOLO-based computer vision and RTK high-precision positioning is developed. The platform provides automated counting of flowers, ovaries and fruits with spatial reference to each tree, as well as orchard inventory and digital yield mapping. The proposed hardware-software complex eliminates the limitations of traditional monitoring methods and enables data-driven yield prediction.

УДК 621:631.331

Романюк Н.Н.¹, кандидат технических наук, доцент;

Агейчик В.А.¹, кандидат технических наук, доцент;

Еднач В.Н.¹, кандидат технических наук, доцент

Тихонов А.А.², кандидат технических наук, доцент

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

² ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л.Я. Флорентьева», г. Нижний Новгород, Российская Федерация

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗАДЕЛКИ СЕМЯН СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ КОНСТРУКЦИИ ОДНОДИСКОВОГО СОШНИКА ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы формирования семенного ложа однодисковым сошником зерновой сеялки. Предложена оригинальная конструкция однодискового сошника зерновой сеялки, использование которого позволит улучшить качество заделки семян и повысить урожайность зерновых культур.

Abstract. The article examines seedbed formation using a single-disc grain drill coulter. A unique design for a single-disc grain drill coulter is proposed, which can improve seed placement and increase grain yields.

Ключевые слова: однодисковый сошник, зерновая сеялка, качество заделки, семена, оригинальная конструкция.

Key words: single-disc coulter, grain seeder, seeding quality, seeds, original design.

Конструктивно-технологические параметры сошниковой группы: стабильное перемещение сошника в почве, постоянная глубина посева, качественное формирование семенного ложа, влияют на условия прорастания семян и получение качественного урожая. Для стабильного движения сошника необходимо обеспечить разрезание растительных остатков и стерни за счет рабочих органов и достаточного давления от сеялки на сошник и предотвратить скапливание растительных остатков и обеспечить агротехнические параметры при формировании семенного ложа, обеспечивающие заданный баланс воздуха, влаги и температуры. Оптимальная плотность почвы нахождения семени соответствовала интервалу $1,1 \dots 1,5 \text{ г/см}^3$, а плотность рыхлого слоя $0,95 \dots 1 \text{ г/см}^3$ [1 – 7].

Цель исследований – разработка конструкции однодискового сошника зерновой сеялки, использование которого позволит улучшить качество заделки семян и повысить урожайность зерновых культур.

Проведенный патентный поиск показывает, что известен однодисковый сошник, содержащий корпус, плоский диск, установленный под углом к направлению движения, семя - и туконаправители, оградительный шток и съемную тарельчатую реборду в форме усеченного конуса, меньшее основание которого крепится к плоскости диска [8].

Недостаток конструкции – диск установлен под углом к вертикали, что Это приводит к неустойчивому ходу сошника как по глубине посева, так и к направлению движения посевного агрегата. Выполнение реборды в виде усеченного конуса с креплением к диску меньшим основанием приводит к захвату почвы внутренней полостью конуса. Это вызывает образование дополнительной бороздки большим основанием конуса и приводит к неустойчивому ходу сошника по глубине.

Известен однодисковый сошник, состоящий из установленного под углом к направлению движения вертикально расположенного диска на кронштейне, обеспечивающем совпадение сил тяги с направлением движения сошника. С наружной стороны диск имеет ограничительную реборду в виде половины эллипсоида вращения, закрепленного к диску съемными элементами. За кронштейном размещены семяпровод и тукопровод, между которыми установлены загортачи для укрытия семян влажным слоем почвы и укрытия удобрений с обеспечением почвенной прослойки между семенами и удобрениями с различной величиной захвата почвы по высоте [9].

Основными недостатками конструкции данного сошника являются необходимость наличия сменных реборд под различные глубинные посевы семян и неустойчивость хода сошника по глубине из-за несовпадения направления движения сошника с линией тяги.

Известен однодисковый сошник зерновой сеялки, содержащий дисковый нож, формирователь бороздки и семяпровод, причём он снабжен регулируемым по высоте упругим копирующим колесом, имеющим форму усеченного конуса, а дисковый нож выполнен в форме конуса, при этом формирователь бороздки, семяпровод и упругое копирующее колесо установлены на корпусе с внутренней стороны дискового ножа, а рабочая поверхность упругого копирующего колеса выполнена ребристой [10].

Недостатком известной конструкции является недостаточное очищающее на дисковый нож и заделывающее семена выравнивающее на поверхность поля воздействие ребер упругого копирующего колеса в силу их расположения в радиальных плоскостях.

На рисунке 1 представлена оригинальная конструкция однодискового сошника зерновой сеялки (а – однодисковый сошник с копирующим колесом, вид сбоку, б – вид А, в – сечение Б-Б, г – схема расположения ребер на упругом копирующем колесе) [11].

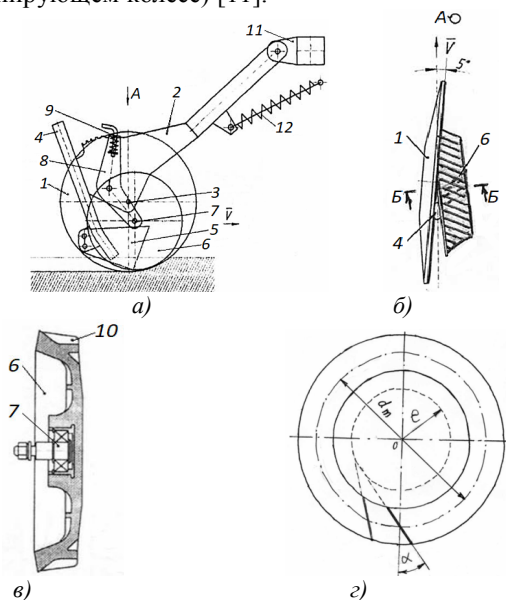


Рисунок 1 – Однодисковый сошник зерновой сеялки

Однодисковый сошник зерновой сеялки содержит вертикально расположенный дисковый нож 1, выполненный в виде конуса, обеспечивающий разрезание почвы и встречающихся сорняков в вертикальной плоскости, который крепится к корпусу 2 сошника с помощью подшипникового узла 3. С внутренней стороны дискового ножа 1 установлен семя-тукопровод 4, формирователь бороздки 5 и упругое копирующее колесо 6. Семя-тукопровод 4 и формирователь бороздки 5 жестко закреплены к корпусу 2, а упругое копирующее колесо 6 с помощью подшипникового узла 7 к кронштейну 8, шарнирно закрепленному к корпусу 2 сошника, с возможностью регулирования по высоте относительно дискового ножа 1 механизмом 9. Упругое копирующее колесо 6 имеет форму усеченного конуса со средним диаметром d_m , причем его рабочая поверхность выполнена ребристой 10. К раме сеялки сошник крепится с помощью поводка 11. Давление сошника на почву регулируется пружиной 12. Концы ребер копирующего колеса 6 направлены своей в наружной большего диаметра стороне по отношению к своим контактирующим с дисковым ножом 1 на внутренней меньшего диаметра стороне концами в нижней части вперед в направлении движения сеялки, а в верхней части по направлению движения сеялки назад, при этом они направлены по касательной к воображаемой окружности радиусом e [12] и составляют с образующей конуса угол α больший угла трения почвы о резину $30...42^\circ$ [13].

Однодисковый сошник зерновой сеялки работает следующим образом.

При движении сеялки по полю дисковый нож 1 разрезает почву и растительные остатки в вертикальной плоскости на глубину заделки семян и удобрений, что обеспечивается упругим копирующим колесом 6. Разрезанный слой почвы сдвигается в левую сторону за счет конусной формы дискового ножа 1, формирователь бороздки 5 образует бороздку, куда по семя-тукопроводу 4 попадают семена и удобрения.

В процессе сева упругое опорное колесо поджимается к дисковому ножу 1 и за счет наклонного расположения своих ребер выполняет функцию чистика, одновременно выравнивая поверхность поля и заделывая семена. В тяжелых почвенных условиях в случае необходимости заделка семян и удобрений может дополнительно осуществляться штригальной бороной из состава сеялки (посевного агрегата). Расположение упругого копирующего колеса 6 на стороне противоположной дисковому ножу 1 позволяет частично скомпенсировать реакцию почвы на дисковый нож и обеспечивает устойчивость хода сошника.

Наличие упругого копирующего колеса 6 с возможностью регулирования по высоте относительно дискового ножа 1 и формирователя бороздки 5 исключает необходимость сменных ребер по различным глубинным посевам семян и значительно снижает затраты времени при настройке сеялки на глубину посева.

Предложенная оригинальная конструкция однодискового сошника зерновой сеялки позволит улучшить качество заделки семян и повысить урожайность зерновых культур.

Список использованной литературы

1. Повышение качества формирования семенного ложа однодисковым сошником / Н.Н.Романюк [и др.] // Материалы Международной науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути развития технического сервиса в АПК», Минск, 5–6 июня 2024 года / редкол.: Л. М. Акулович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2024. – С.206–209.
2. Романюк, Н.Н. Снижение уплотняющего воздействия на почву мобильных энергосредств : монография / Н.Н.Романюк // Минск : БГАТУ, 2020. – 200с.
3. К вопросу определения усилий, действующих на сошник сеялки при встрече с камнями / В.А. Агейчик, Н.Н. Романюк, Е.В. Михайловский, М.В. Агейчик М.В.) // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Тракторы, автомобили, мобильные энергетические средства: проблемы и перспективы развития», Минск, 11-14 февраля 2009г.– Минск, 2009. – С.254–259.
4. Шилов, И.Н. Механический предохранитель рабочих органов машины для обработки почвы / И.Н.Шилов, Н.Н.Романюк, В.А.Агейчик // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – №1 – С.30–33.
5. Расчет тягового усилия сошника зернотуковой сеялки для подпочвенного разбросного посева / С.О.Нукешев, Н.А.Какабаев, Н.Н.Романюк, А.М.Хартанович // Издәністер, нәтижелер – Исследования, результаты – Алматы. – 2020. – №4. – С. 325–334.
6. Нукешев, С.О. Совершенствование конструкции сошника для разбросного подпочвенного посева зерновых культур / С.О. Нукешев, Н.Н. Романюк, Н.А. Какабаев // Сборник научных статей Междунар. науч.-практич. конф. «Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве», 8-9 июня 2016г. / редкол. : Н.Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2016. – С.66–70.
7. Романюк, Н.Н. Снижение уплотняющего воздействия на почву вертикальными вибродинамическими нагрузками пневмоколесных движителей : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03, 05.20.01 / Н.Н. Романюк. – Минск: БГАТУ, 2008. – 206 л.
8. А.с. SU 250572 Однодисковый сошник МПК7 А01С 7/20. - Заявка 1140647/30-15; заявлено 16.03.1967; опубликовано 12.08.1969, бюл. 26.
9. Комбинированный однодисковый сошник: патент №2223625 РФ. 200712363/12 заявлено 04.09.2002; опубликовано 20.02.2004.
10. Однодисковый сошник зерновой сеялки: патент №204794 РФ; опубликовано 11.06.2021, Бюл. №17.
11. Однодисковый сошник зерновой сеялки : патент на полезную модель 226230 U1 Российской Федерации, МПК А01С7/20 / Н.Н.Романюк (BY), В.А.Агейчик (BY), В.Н.Еднач (BY), С.А.Войнаш (RU), В.В.Еничева (RU), Д.И.Зубов (RU) ; заявитель Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова (RU).– № 2023111569 ; заявл. 03.05.2023 ; опубл. 28.05.2024 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – 2024. Бюл.№23.
12. Иванов, М.Н. Детали машин. М.: Высш. шк., 1984. – С.135.
13. Сабликов, М.В. Сельскохозяйственные машины. М.: Колос, 1968. – Ч.2. – С. 8-9.

Summary. The proposed original design of a single-disc coulter for a grain seeder will improve the quality of seed placement and increase the yield of grain crops.

Рапаков Г.Г.¹, кандидат технических наук, доцент;

Шушков Р.А.², кандидат технических наук, доцент,

Осипов А.Н.²; Холопов Д.И.¹

¹ *ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»,*

г. Вологда, Российская Федерация

² *ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», г. Вологда, Российская Федерация*

РАЗРАБОТКА ДИСТАНЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАВЕСНЫМИ ОРУДИЯМИ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО АГРОРОБОТА

Аннотация. В публикации предложена система радиуправления для шнекового орудия, установленного на автономный мобильный агробот.

Abstract. The aim of this study is to develop a radio control system for an auger mounted on an autonomous mobile agrobot.

Ключевые слова: автономный мобильный агробот, система радиуправления, сельскохозяйственные навесные орудия, шнек.

Keywords: autonomous mobile agrobot, radio control system, mounted agricultural tools, auger.

Введение.

Ключевая проблема отрасли и АПК региона – это растущий дефицит рабочей силы и высокая стоимость ручного труда, которую необходимо преодолевать в условиях санкционного давления на основе импортозамещения зарубежных технологических решений с привлечением экономически эффективных проектных результатов. Мировой рынок сельскохозяйственных роботов демонстрирует устойчивый рост. Доля решений для автоматизации технологических операций занимает его значительную часть [1]. Разработка системы радиуправления навесными орудиями для мобильного агробота является актуальной научно-технической задачей, способствующей дешевой автоматизации малых хозяйств с использованием безопасного дистанционного управления.

Цель работы.

Цель работы: разработка дистанционной системы управления навесным орудием – шнековым механизмом для автономного мобильного агробота (АМР). АМР используется как беспилотное наземное транспортное средство для перевозки грузов, подталкивания корма и обработки посевов при помощи комплекта навесного и прицепного оборудования. Научная новизна работы определяется совокупностью следующих значимых результатов: получены новые экспериментальные данные о влиянии электромагнитных помех шнекового привода на качество радиосвязи в диапазоне 2,4 ГГц; обеспечена электромагнитная совместимость системы

радиоуправления шнековым орудием, работающим в непосредственной близости от электродвигателя; разработаны алгоритмы адаптивного управления обмена данными между пультом оператора и бортовым контроллером. Практическая значимость результатов исследования обусловлена универсальностью применения шнековых механизмов для сельскохозяйственных машин, что делает разработку востребованной широким кругом хозяйств [2].

Материалы и методика исследования.

Проведенный анализ существующих решений позволил ознакомиться с основными подходами и методами использования систем радиоуправления для сельскохозяйственных мобильных роботов [3-5]. Объект исследования: система адаптивного радиоуправления шнековым орудием беспилотной мобильной сельскохозяйственной платформы. Предмет исследования: алгоритмы и методы, количественные характеристики функционирования системы радиоуправления шнековым механизмом АМР, а также методы обеспечения ее помехоустойчивости и безопасности.

Результаты исследования и их обсуждение.

Рассмотренные архитектурные подходы к построению системы управления позволили остановиться на модульном принципе с базовым микроконтроллером (МК) ESP32, аппаратурой управления и исполнительным механизмом. Выбор МК определяется необходимостью обработки данных с датчиков, управления приводами и обеспечения связи. Для навесного орудия в виде шнека должны поддерживаться следующие операции: включение/ выключение; регулировка направления и скорости вращения; контроль функционирования с обратной связью и аварийная остановка. Предложенная архитектура и выработанные рекомендации могут служить основой для создания прототипа системы дистанционного управления с последующей адаптацией под конкретные типы навесных орудий и условия эксплуатации.

Для построения бортовой системы управления шнековым орудием в качестве главного микроконтроллера использован ESP32. МК принимает сигналы от приемника и управляет исполнительными механизмами: двигателем шнека с драйвером и сервоприводом. Для открытых проектов часто используется прямой метод считывания каналов как наиболее надежный и простой в реализации. Сигналы с каналов приемника представляют собой ШИМ-импульсы (Pulse Width Modulation – PWM). Информативным параметром является длительность положительного импульса. Алгоритм считывания на ESP32 использует аппаратные прерывания, чтобы точно измерить длительность импульса. Метод обеспечивает: низкую задержку; высокую точность; не блокирует выполнение сопутствующих задач; прямое подключение не требует дополнительных преобразователей; прост при отладке.

В качестве пульта оператора выбран доступный, надежный и функциональный 6-канальный радиопередатчик частотного диапазона 2,4 ГГц – FlySky FS-i6. Пульт обеспечивает: передачу управляющих команд; прием телеметрической информации с агробота; автоматическое отключение шнека при потере сигнала или возникновении аварийной ситуации. Кастомные прошивки пульта увеличивают количество каналов и добавляют новые функции. Ключевые особенности протокола связи AFHDS 2A для приемника FS-iA6B позволяют: выполнить смену частот и достичь высокой устойчивости к помехам даже при сильном электромагнитном загрязнении; поддерживать двунаправленную связь с передачей телеметрических данных от приемника к передатчику. Протокол обмена данными предусматривает динамический контроль целостности связи: адаптивный таймаут при потере связи в диапазоне 300–1000 мс в зависимости от качества канала; механизмом безопасной эксплуатации обеспечивает автоматический останов шнека при обнаружении аномалий в потоке управляющих команд.

Дальность связи при радиоуправлении варьируется от 100 м (в условиях сложного рельефа с препятствиями) до 1000 м (на открытой территории с прямой видимостью). Практика использования АМР показала, что для надежного управления навесным оружием в полевых условиях рабочее расстояние в 150–200 м является вполне достаточным.

Для обеспечения надежности и эффективности работы выбран цепной привод шнека. Сам шнек механически исправен и сбалансирован. Защита от перегрузок обеспечивается за счет электронной защиты при помощи датчика тока с отключением при превышении предельного значения. Реализованы следующие алгоритмы адаптивного управления шнеком: плавный пуск и остановка; контроль тока с автоматическим отключением при перегрузке; аварийная защита. Объект исследования функционирует в следующих типовых режимах: режим настройки и калибровки (робот неподвижен, шнек не загружен материалом); режим нормальной работы (шнек загружен, робот движется или стоит, связь устойчива, выполняемые операции – плавный пуск, работа на заданной скорости, плавная остановка); режим аварийной остановки (перегрузка с заклиниванием/ переполнением, перегрев, потеря связи, нажатие аварийной кнопки); режим реверса при заклинивании шнека с резким ростом тока (выполняется изменение направления вращения с попыткой восстановления нормального направления).

Разработанная система радиоуправления шнековым оружием предназначена для совместного использования с мобильным агроботом и обеспечивает: снижение трудозатрат оператора и повышение безопасности его работы за счет дистанционного управления; автоматическая защита от аварийных ситуаций останавливает шнек при заклинивании, перегреве двигателя или потере связи; легкость масштабирования – за счет универсальности и модульности разработки, позволит адаптировать ре-

зультат к произвольному самоходному шасси; технологичность изготовления при использовании широко доступных компонент ведет к низкой стоимости внедрения; возможность интеграции в существующую технику при модернизации оборудования; эксплуатационные преимущества на основе улучшенной эргономики и надежности управления. Открытая архитектура допускает параметрическую настройку под разные типы шнеков (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Шнековое орудие с системой радиоуправления для автономного мобильного агробота

Дальнейшее развитие связано с дистанционным мониторингом поля и контролем работы навесных орудий при помощи камеры наблюдения и развитии системы технического зрения для повышения эффективности и автономности сельскохозяйственных роботов [5].

Заключение.

Разработана законченная система дистанционного радиоуправления управления шнековым механизмом, которая готова к практическому внедрению и может быть рекомендована для использования в составе мобильных агроботов в растениеводстве, животноводстве, зернопереработке и коммунальном хозяйстве.

Список использованной литературы

1. Перспективные направления создания инновационной сельскохозяйственной техники в Республике Беларусь / С. Г. Яковчик, Н. Г. Бакач, Ю. Л. Салапура, Э. В. Дыба // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». Том Выпуск 51. – Минск: Белорусская наука, 2018. – С. 3–9.

2. Васильев, С. А. Теоретические предпосылки для реализации контурной обработки почвы склоновых земель активным шнековым орудием / С. А. Васильев, Н. И. Затылков // Природообустройство. – 2019. – № 3. – С. 54–61.

3. Tahir, S. A. R. Localization, Navigation and Activity Planning for Wheeled Agricultural Robots - A Survey / S. A. R. Tahir // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. – 2022. – No. 32. – P. 291–299.

4. Шушков, Р. А. Мобильные роботы в молочном животноводстве / Р. А. Шушков, Г. Г. Рапаков // Передовые достижения науки в молочной отрасли : Сборник научных трудов по результатам работы VI Международной научно-практической конференции, посвящённой дню рождения Николая Васильевича Верещагина, Вологда-Молочное, 25 октября 2024 года. – Вологда-Молочное: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», 2024. – С. 133–138;

5. Шушков, Р.А. Прототипирование мобильного робота с системой управления на основе компьютерного зрения для современного растениеводства / Р.А. Шушков, Г.Г. Рапаков, Д.А. Казаков // АгроЗооТехника, 2026, Том 9, № 2, DOI: 10.15838/alt.2026.9.2.7.

Summary. The developed system makes it possible to integrate an agricultural auger into the autonomous mobile agrobot, providing remote control by the operator's console and automatic protection in case of emergency situations.

УДК 637.112.5

Жилич Е.Л.¹; Бернацкая Д.В.¹;

Романович А.А.², кандидат технических наук, доцент;

Бондаренко И.И.², кандидат технических наук, доцент;

¹ РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДОЕНИЯ

Аннотация. Мировой опыт молочного скотоводства подтверждает устойчивую тенденцию развития роботизированного доения как одного из перспективных направлений, обладающих целым рядом очевидных преимуществ. В связи с этим в статье приведены результаты аналитических и теоретических исследований конструкций роботизированных систем доения.

Ключевые слова: молочное скотоводство, доение, доильные роботы, доильная система, «Карусель».

Abstract. Global dairy farming experience confirms the steady development of robotic milking as a promising area with a number of clear advantages. Therefore, this

article presents the results of analytical and theoretical studies of robotic milking system designs.

Key words: Dairy farming, milking, milking robots, milking system, «Carousel».

Введение. Животноводство в Республике Беларусь занимает ведущее место в сельскохозяйственном производстве, на долю которого приходится до 50 % сельского хозяйства, и является основным источником финансовых средств для развития производственной и социальной базы в агропромышленном комплексе страны [1]. Одной из ведущих отраслей является молочное скотоводство, где используется треть затрачиваемых материальных и финансовых средств в сельскохозяйственном производстве и формируется примерно четверть валовой продукции сельского хозяйства Беларуси. В последние 10-15 лет отрасль активно переводится на индустриальную основу.

Автоматизированная система доения – одна из самых последних разработок, сочетающая в себе новейшие технологии машинного доения, ветеринарные требования и особенный подход к процессу. Использование автоматизированных систем позволяет не только повысить дневные надои молока, но и сохранить здоровье и долгую молочную продуктивность коров [2].

Основная часть.

Первые роботы были выпущены в 1980-х гг. в Западной Европе. Разработкой роботизированных систем доения на начальных этапах занимались следующие фирмы [3], [4]:

- «Lely» (Нидерланды);
- «Prolion» (Нидерланды);
- «Fullwood» (Великобритания);
- «Alfa-Laval-Agri» (Швеция) – «DeLaval» (Швеция);
- «Westfalia Landtechnik» (Германия);
- «Gascoigne Melotte» (Франция).

Первые доильные роботы, точнее комплексы, действительно пригодные для этой цели, появились в Нидерландах в 1992 году. Это был робот компании Lely Industries N.V. В 1998 году фирма DeLaval начала продажи своих автоматизированных систем, а через 10 лет в линейке компании уже насчитывалось порядка 11 систем автоматизированного доения – одно- и многобоксовых [3], [4].

На сегодняшний день наиболее передовыми производителями роботизированных систем доения являются «Lely», «DeLaval» и «GEA Farm Technologies». Компания Lely является основополагающей компанией.

В 1992 году компания Lely выпустила первый в мире коммерческий доильный робот Lely Astronaut A2. В 1997 году новые инновации привели к появлению новой версии Lely Astronaut A2. Была обновлена система очистки.

В 1999 году в Lely Astronaut A2 был добавлен контроль качества молока. Сначала устройство было установлено рядом с молочным бидоном, а с развитием руки MQC переместился в роботизированную руку ближе к корове.

В 2004 году Lely представляет на рынке третье поколение A2 – Lely Astronaut A2 Evolution. Lely Astronaut A2 Evolution – применение статической системы обнаружения сосков и новой вакуумной системы.

В 2005 году компания выпускает Lely Astronaut A3. Вместе с управлением T4C система предоставляет данные о состоянии здоровья коров в режиме реального времени, общую производительность стада и индивидуально. Новая модель поставляется с обновленной роботизированной рукой, а новый MQC перемещается в руку. 2009 год – Lely Astronaut A3 Next. Модель между поколениями доильных роботов A3 и A4 – новая конструкция с улучшенным кормовым ящиком.

В конце 2010 года на рынок выходит Lely Astronaut A4. Революционная концепция iFlow еще больше снижает порог добровольного доения коров. Благодаря концепции «I-flow» корова заходит в стойло и выходит из него, двигаясь вперед и не поворачивая. Это облегчает и ускоряет процесс приучения коровы к доению и повышает пропускную способность системы.

Благодаря информации, поступающей от системы контроля качества молока Lely MQC, пульсатор Lely 4Effect может динамически регулировать пульсацию каждой четверти по отдельности. Таким образом обеспечивается индивидуальный подход к каждой корове, ее индивидуальное адаптивное доение.

Lely MQC (система контроля качества молока) расположена в манипуляторе робота непосредственно рядом с выменем. Во время доения молоко из каждой четверти вымени непрерывно контролируется. Таким образом, можно получить информацию о мастите, содержании жира, белка и лактозы, необходимую для контроля качества молока и здоровья коровы, а также дающую возможность быстро реагировать и получать оптимальное качество молока.

Размеры и перемещения коровы отслеживаются с помощью 3D-камеры. Эта система также делает возможным перемещение манипулятора вместе с коровой, что обеспечивает превосходное рабочее пространство независимо от размеров животного. Lely Astronaut A4 производится вплоть до 2020 года включительно.

В 2018 году представлен доильный робот Lely Astronaut A5.

Lely Astronaut A5 (рисунок 1) результат работы компаний Lely и Festo. Итогом совместной работы над этим проектом стало создание гибридной руки доильного робота.

По сравнению с сервопневматическими и гибридными предшественниками, такими как Astronaut A3 и A4, роботизированный манипулятор с электроприводом имеет явные преимущества, а именно его движение более плавное и, соответственно, меньше пугает животное, он также более энергоэффективен и быстр, поскольку для его размещения на соски коровы требуется на 30 % меньше времени [5].

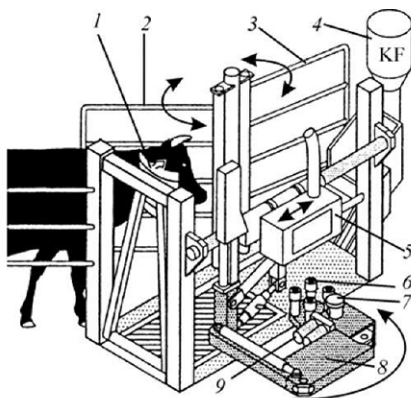


Рисунок 1 – Схема доильного робота «Astronaut» фирмы «Lely» (Нидерланды)
 1 – манипулятор позиционирования животного; 2 – входная дверца; 3 – выходная дверца; 4 – автоматическая кормораздаточная станция; 5 – блок регулирования перемещения руки; 6 – доильный аппарат; 7 – лазерные датчики; 8 – рука робота; 9 – ролики обмыва вымени

Естественно, такое мехатронное решение, созданное компаниями Lely и Festo, не работает без программного обеспечения.

В результате компания Festo подготовила программное обеспечение для автоматизации перемещений руки доильного робота. Прикладное программное обеспечение реализовано с использованием функциональных блоков, библиотек и примеров программ.

Многоблочная роботизированная доильная установка «Liberty» фирмы «Prolion» включает до 4-х блоков, обслуживаемых одной рукой. Технологическая схема работы доильного робота «Liberty» представлена на рисунке 2.

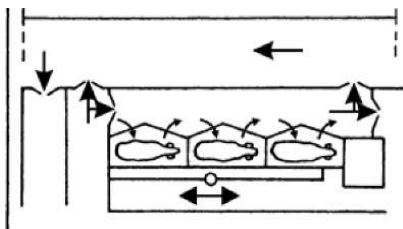


Рисунок 2 – Технологическая схема работы доильного робота «Liberty» фирмы «Prolion» (Нидерланды)

При входе коровы происходит ее идентификация и принимается решение о необходимости доения. При положительном решении в кормушку выдается соответствующая порция концентрированного корма. Предвари-

тельное позиционирование животного осуществляется за счет перемещения передней стенки с кормушкой (размеры животного занесены в компьютер). Затем рука робота перемещается в доильный бокс, захватывает боковой консоль с доильным аппаратом и подводит его под вымя животного.

Места расположения сосков вымени определяются двумя ультразвуковыми датчиками. При этом относительной точкой отсчета является передний правый сосок, координаты которого определяет один из ультразвуковых датчиков. Другой датчик, перемещаясь сверху вниз, определяет расстояния между относительной точкой и другими сосками. При движении животного подвижный модуль соответственно изменяет свое положение [6].

При завершении позиционирования доильные стаканы последовательно надеваются на отдельные четверти вымени и начинается процесс обмыва сосков в стаканах струями воды. Через 8-10 с после этого начинается процесс доения. Количественные показатели и электропроводность контролируются по каждой четверти вымени.

После надевания доильных стаканов рука робота возвращается в исходное положение и может использоваться в других боксах. Под выменем животного доильный аппарат поддерживается при помощи специального бокового консоля. По окончании доения доильные стаканы спадают с сосков вымени и консолями возвращаются в исходное положение. Передняя стенка с кормушкой отходит от коровы, открывается дверца, и корова выходит из бокса [6].

Доильные роботы «Miros» фирмы «Manus» (Франция) отличаются от доильных роботов «Liberty» только доильной аппаратурой, которая разработана фирмой «Manus» [7].

Однобоксовый доильный робот «Merlin», выпускаемый фирмой Fullwood», ориентирован на робота «Astronaut» фирмы «Lely».

Программное обеспечение и технология доения этого робота разработаны в Великобритании [8], [9].

Основными отличиями робота «Merlin» от робота «Astronaut» являются:

- идентификация и регистрация всех перемещений животного осуществляется с помощью шагомера, закрепленного на ноге коровы;
- используется энергосберегающая система шестиминутной промывки и дезинфекции доильного оборудования осуществляется кипящей водой.

Доильный робот фирмы (DeLaval) марки VMS (Voluntary Milking System) имеет следующие отличительные особенности:

- роботизированная рука с гидравлическим приводом, входящая в состав системы VMS, обладает более высокой надежностью и предъявляет меньше требований к техническому обслуживанию по сравнению с пневматическими системами;
- прочность и плавность работы руки при выполнении подготовительных операций;
- устойчивость к жестким внешним условиям.

В роботизированной доильной системе DairyRobot используется технология In-Liner Everything («все операции внутри доильного стакана»), при которой осуществляется:

- однократное подключение стаканов;
- очистка сосков и их стимуляция;
- предварительное сдаивание;
- доение;
- обработка сосков после доения внутри сосковой резины.

In-Liner Everything – это унифицированный, быстрый и удобный процесс, осуществляемый в доильном стакане, что позволяет получать молоко превосходного качества при максимальной эффективности роботизированного доильного оборудования [10].

Роботизированная доильная система RDS FutureLine ELITE фирмы SAC (США) подходит для всех видов молочного животноводства. Преимущества доильных роботов SAC следующие:

- вся электроника вынесена в отдельный блок, что снижает вероятность поломок;
- одна электрическая робот-рука, рассчитанная на доение в одном или двух доильных боксах;
- возможность подключения доильных стаканов в ручном режиме;
- роботизированная сверхнадежная рука для доения Motoman (установлено ~ 300 000 по всему миру);
- новая система нахождения сосков с двойным контролем (лазер и видеокамера);
- система пародезинфекции в стандартной комплектации;
- система фVision2Milk, которая обеспечивает отличное здоровье вымени из-за высокой скорости подсоединения и большей эффективности благодаря чрезвычайно точной системе обнаружения сосков с помощью уникальной технологии наведения, что сводит к минимуму количество неудачных доений.

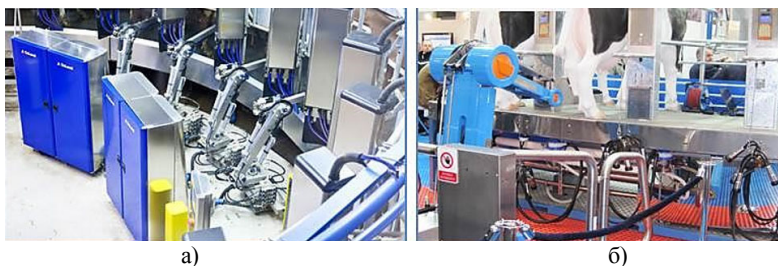
В роботизированной доильной системе DairyRobot используется технология In-Liner Everything («все операции внутри доильного стакана»), при которой осуществляется:

- однократное подключение стаканов;
- очистка сосков и их стимуляция;
- предварительное сдаивание;
- доение;
- обработка сосков после доения внутри сосковой резины.

In-Liner Everything – это унифицированный, быстрый и удобный процесс, осуществляемый в доильном стакане, что позволяет получать молоко превосходного качества при максимальной эффективности роботизированного доильного оборудования [10].

Высокая эффективность работы однокосовых и многокосовых доильных роботизированных систем на крупных фермах, а также возможность

применения уже опробованных на роботах узлов и процессов, явилось предпосылкой модернизации доильного оборудования в направлении автоматизации высокопроизводительных установок типа «Карусель». Два ведущих производителя доильных установок, а именно шведская компания DeLaval и американская Boumatik представили доильные установки типа «Карусель», оснащенные модульными блоками автоматизации процессов подготовки вымени, подключения подвесной части аппаратов и дезинфекции вымени после доения (рисунок 3), [11–13].



а) компания DeLaval; б) Boumatik

Рисунок 3 – Фрагменты роботизированных доильных установок типа «Карусель» шведской компании DeLaval и американской Boumatik

Отдельные операции выполняются несколькими манипуляторами. Роботизированные доильные манипуляторы имеют широкую зону действия и могут быстро и точно устанавливать аппараты на вымя, как с нормальным расположением, так и с некоторыми отклонениями по высоте. Четыре счетчика молока отслеживают количество надоенного молока, потоки молока, электропроводность и содержание посторонних примесей [14].

При ежедневной бесперебойной эксплуатации в течение 18-19 ч производительность таких установок может достигать в час до 90 коров. Это соответствует времени обращения карусели с 24 местами в течение 16 мин, что вполне достаточно для выдаивания высокопродуктивных коров. На данной карусели в расчете на одного робота приходится в среднем 4,8 места доения и осуществляется 18 доений в час. В отдельно расположенных боксах компании DeLaval при пребывании в них коровы в течение 7,58 мин аналогичный показатель составляет 7,9 доений в расчете на робота в час.

Почти одновременно с DeLaval свою концепцию роботизированной доильной «Карусели» представила компания GEA FarmTechnologies [15].

Разработка, получившая название DairyProQ принципиально отличается тем, что роботами-манипуляторами оснащены все доильные посты «Карусели». Все операции с выменем (обработка сосков перед доением, прикрепление стаканов, дезинфекция после доения и др.) осуществляют, как и в индивидуальных боксах, одной «рукой».

Автоматически выполняется и промежуточная дезинфекция доильных стаканов и их очистка снаружи в промежутке между доениями, что предотвращает передачу инфекции от одной коровы к другой. В качестве опции можно поставить кормушки. То есть доение коровы происходит полностью индивидуально на каждом доильном посту. Для коров с «особенными потребностями» существует режим полуавтоматического или ручного доения.

Заключение. На основе вышеизложенного, можно отметить, что сегодня, развитие автоматизированных систем доения идет в трех направлениях [16]:

- бокс с одной рукой робота;
- роботизированная система из нескольких доильных боксов, обслуживаемых одной рукой;
- роботизированные доильные установки.

Производительность однокорпусных доильных роботов до 60 коров в сутки. Для крупных молочных ферм могут быть использованы несколько однокорпусных роботов или одна многокорпусная роботизированная доильная система. Производительность роботизированных доильных установок значительно выше, однако на данном этапе они нуждаются в доработке.

Использование роботов позволяет в 4 раза снизить затраты труда на доение в сравнении с доильными установками типа «Карусель». Однако, негативным и немаловажным фактором использования роботизированных систем, является их стоимость. В таблице 1 приведены технические характеристики наиболее распространенных доильных роботов, а также их стоимость.

Таблица 1 – Техническая характеристика доильных роботов

Показатели	Однокорпусные	Многокорпусные
Марка	VMS (DeLaval), Merlin (Fullwood), Astronaut (Lely), Freedom (Prolion)	AMS Liberty (Prolion), Leonardo (Westfalia Landtechnik), Galaxy (SAG)
Тип и количество доильных станков	Тандем (один станок)	Тандем (2 станка)
Количество коров, голов	60	80-90
Число доений на одну корову в сутки	2,6	2,6-2,8
Способ промывки доильного оборудования	Циркуляционная, 15-30 мин 3 раза в сутки преимущественно горячей водой	Циркуляционная, 30 мин 2-3 раза в сутки горячей водой с моющим раствором и дезинфекция
Габаритные размеры, д×ш×в (без преддоильной площадки), м	4×4×3	6×4×3
Ориентировочная стоимость, тыс. дол. США	150,0	200,0
Масса, кг	нет данных	нет данных
Срок окупаемости при продуктивности 4-6 тыс. кг в год, лет	не окупается	не окупается

Исходя из большой стоимости импортного доильного оборудования и его наличия на молочно-товарных фермах Республики Беларусь, возникает необходимость для разработки отечественного роботизированного доильного оборудования.

Список использованных источников

1. Технологии производства продукции животноводства. Практикум : учебно-методическое пособие / А. В. Соляник [и др.]. – Горки : БГСХА. – 2020. – 268 с.
2. Трофимо А. Ф., Тимошенко В. Н., Музыка А. А. Обеспечение основных процессов производства молока при доении на роботизированных установках // Матер. конф. «Современные технологии сельскохозяйственного производства» : XII Междунар. науч.-практич. конф. УО «ГТАУ». – Гродно, 2009. – 138 с.
3. Горелик О. В., Харлап С. Ю., Беяева Н. В. Эффективность применения роботизированного доения коров // Материалы национальной научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГАВМ. Санкт-Петербург. – 2018. – С. 29–31.
4. Тенденции развития доильного оборудования за рубежом : Ан. Обзор / Ю. А. Цой, Н. П. Мишуров, В. В. Кирсанов, А. И. Зеленцов М. : ФГНУ «Росинформарготех». – 2000. – 76 с.
5. Система роботизированного доения LeLy astronaut : innovators in agriculture [Электронный ресурс] / Режим доступа : <https://formagro.ucoz.ru/lely-astronaut-a3.pdf>. – Дата доступа : 26.12.2022.
6. Механизация животноводства / А. М. Семенихин, Н. В. Пономаренко // Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений – АЧГАА : Зерноград. – 2007 – 226.
7. ABRASIVE BLAST ROOMS & RECOVERY SYSTEMS [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.manusabrasive.com/blast-rooms-recovery-systems>. – Date of access : 26.12.2022.
8. The best just got better [Electronic resource]. – Mode of access : http://imtmilk.ru/files/_index_bc152fc0d09f52fd67ebf93bbcbdf695_89_.pdf. – Date of access : 26.12.2022.
9. Rodenburg, J. Robotic milking : Technology, farm design, and effects on work flow : Journal of Dairy Science. – 2017. – Vol. 9. – P. 7729–7738.
10. Концепция «Разумного доения» компании GEA. Иллюстрированное руководство по оптимальной технике доения коров / Н. Шуринг // Copyright 2016 by GEA Farm Technologies, Inc. – USA. – 160 с. ISBN: 978-0-692-80480-3.
11. DeLaval voluntary milking system VMS [Electronic resource]. – Mode of access : <https://boumasticboardrepairs.com.au/DelavalVMS.pdf>. – Date of access : 26.12.2022.
12. Salfer J.A., Minegishi K., Lazarus W., Berning E., Endres M.I. Finances and returns for robotic dairies : Journal of Dairy Science. – 2017. – Vol. 9. – P. 7739–7749.
13. BouMatic Robotics MR-S1 Service Manual [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.manualslib.com/manual/1721915/Boumatic-Robotics-Mr-S1.html?page=2>. – Date of access : 26.12.2022.
14. Drach U., Halachmi I., Pnini T., Izhaki I., Degani A. Automatic herding reduces labour and increases milking frequency in robotic milking : Biosystems Engineering. – 2017. – Vol. 155. – P. 134–141.

15. Bear C., Holloway L. Beyond resistance : Geographies of divergent more-than-human conduct in robotic milking. *Geoforum*. – 2019. – Vol. 104. – P. 212–221.
16. Кирсанов В. В., Павкин Д. Ю., Подобедов П. Н., Никитин Е. А. Направления исследований в создании автоматизированных систем почётвертного доения для станочных доильных установок // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2017. – № 4 (28). – С. 16–20.
17. Еднач, В. Н., Жилич Е. Л., Рогальская Ю. Н. Теоретические предпосылки к обоснованию величин вакуумметрического давления в существующих доильных аппаратах // Современные проблемы и пути развития технического сервиса в АПК : материалы Международной научно-практической конференции, Минск, 24-25 ноября 2022 г. - Минск : БГАТУ, 2022. - С. 292-295.
18. Системы позиционирования доильного оборудования на вымени коров при роботизированной технологии доения / С. К. Карпович [и др.] // Актуальные проблемы и перспективы развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК : сборник научных статей III Международной научно-практической конференции, Минск, 7-8 июня 2023 г. - Минск : БГАТУ, 2023. - С. 300-304.
19. Применение роботизированных доильных установок. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://doilnye-apparaty.ru/articles/primenenie-robotizirovannih-doilnih.html> – Дата доступа : 04.01.2026.
20. Цифровые технологии в сельском хозяйстве и городской среде. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://doilnye-apparaty.ru/articles/primenenie-robotizirovannih-doilnih.html> – Дата доступа : 02.04.2026.
21. Роботизированное доение. Доильный робот DairyRobot R9500. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://euro-agrotech.ru/doilnyj-robot-dairyrobot-r9500-robotizirovannoe-doenie/> – Дата доступа : 04.04.2026.

УДК 631.35

Юрин А.Н.¹, кандидат технических наук, доцент;
Комлач Д.И.¹, кандидат технических наук, доцент;
Агейчик В.А.², кандидат технических наук, доцент

¹ РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

РАЗВИТИЕ МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ СБОРА ПЛОДОВ

Аннотация: на уровне изобретения предложена прошедшая производственную проверку платформа для сбора плодов, повышающая производительность технологического процесса и снижающая повреждаемость плодов.

Abstract: The invention proposes a production-tested fruit harvesting platform that increases the productivity of the technological process and reduces fruit damage.

Ключевые слова: сбор плодов, повышение производительности, снижение повреждаемости.

Key words: fruit harvesting, increasing productivity, reducing damage.

Известные передвижные подъемные платформы для сбора плодов, содержащие выдвижные рабочие площадки, размещенные на поднимающейся платформе имеют сравнительную сложность конструкции механизма выдвижения рабочих площадок и прерывистость процесса сборки из-за необходимости перемены заполненной тары на порожнюю. Имеет место наличие повреждаемости плодов из-за нескольких пунктов перегрузок, ухудшение условий труда работников из-за непрерывной работы двигателя транспортного средства, приводящего в движение через вал отбора мощности плодопроводы, транспортеры и рольганг. Кроме того, наличие плодопроводов, расположенных между сборщиком и кроной дерева, значительно снижает зону обработки и наполняемость тары.

В Республиканском унитарном предприятии "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства" на уровне изобретения [1] разработана и прошла производственные испытания платформа для сбора плодов содержащая прицеп 1, на котором смонтирована рама 2, выполненная с возможностью продольного перемещения по прицепу 1. На раме 2 по бокам размещены лестничные ступени 3 и в центре цепной гравитационный элеватор 4.

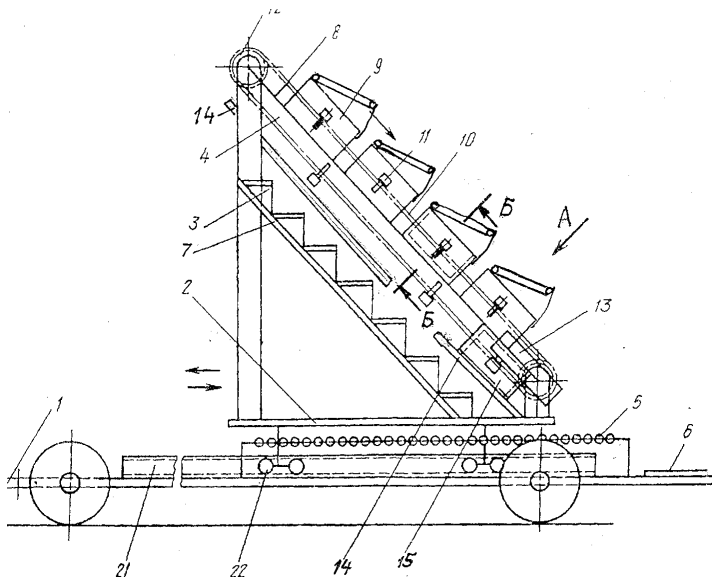


Рисунок 1 – Платформа для сбора плодов, общий вид сбоку

На прицепе 1 смонтированы также рольганг 5 с разгрузочной площадкой 6. Каждая лестничная ступень имеет удлиняющую площадку 7. Лестничные ступени со стороны гравитационного элеватора имеют перила со страховочными поясами (не показаны). Гравитационный элеватор 4 представляет собой свободно движущуюся под действием силы тяжести наполненной тары систему и включает скатную плоскость 8, на которой располагается тара 9. В звеньях цепи 10 гравитационного элеватора 4 через равные интервалы встроены крепления для тары 11. В нижней части гравитационного элеватора 4 с наружных сторон звездочек 12 расположены скошенные пластины 13, являющиеся приспособлением для управления креплениями для тары 11. Под нижней частью скатной плоскости 8 параллельно ей расположена наклонная площадка 14 для порожней тары 15. Каждое крепление для тары 11 включает два двуплечих подпружиненных рычага 16, одно плечо которого снабжено захватной лапой 17, а другое - свободно сидящей втулкой 18. Каждый двуплечий подпружиненный рычаг 16 свободно сидит на оси 19, жестко закрепленной на звене цепи 10. Рычаг 16 и ось 19 контактируют с пружиной 20. Возможность продольного перемещения рамы 2 по прицепу 1 обеспечивается наличием рельсового пути 21 на прицепе 1 и колес 22 на раме 2. Кроме этого, колеса 22 снабжены тормозным устройством (не показано).

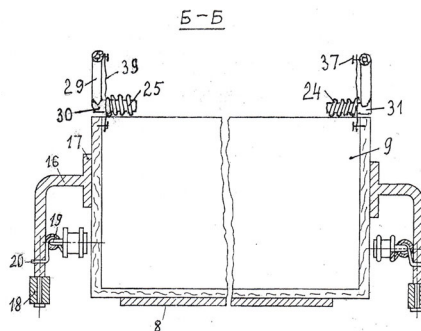


Рисунок 2 – Крепление для тары (разрез Б-Б на рисунке 1)

Тара 9 выполнена в виде ящика с дном, передней, задней и двумя боковыми стенками, но без крышки, имеющего в сечении, параллельном дну, форму прямоугольника. Стенки ящика образованы пластинами толщиной 10-20 мм, при этом к задней стенке ящика 23, считая по направлению движения ветвей гравитационного элеватора 4 при закреплении на нем ящика (при наполнении его плодами верхней по уровню), с помощью правонавитой пружины кручения 24 и левонавитой пружины кручения 25 присоединена сверху ящика тары П-образная рамка 26 с наружным диаметром трубы 20-30 мм, с размерами П-образной рамки, соответствующими

Сбор плодов с помощью платформы осуществляется следующим образом. Платформа агрегируется с транспортным средством и ставится в междурядье. Сборщики располагаются на лестничных ступенях 3 по обе стороны от гравитационного элеватора 4. Перед началом сбора плодов гравитационный элеватор 4 заряжается вручную порожнюю тару 15 в крепления для тары 11 путем последовательной постановки перевернутой порожней тары 15 на наклонную площадку 14 и продвижения гравитационного элеватора 4. По мере заполнения плодами тары 9 гравитационный элеватор 4 приходит в движение под действием силы тяжести заполненной тары.

Нижняя тара подходит к рольгангу 5, освобождается от крепления для тары 11 и, упираясь в рольганг 5, останавливает движение гравитационного элеватора 4. Одновременно с этим одна порожняя тара 15 помещается в перевернутом положении на наклонной площадке 14 для последующего ее захвата освободившимся креплением 11. Для приведения в движение гравитационного элеватора 4 самая нижняя тара 9 убирается по рольгангу 5 и для последующей разгрузки ставится на разгрузочную площадку 6. Этот процесс продолжается до окончания сборки плодов с части кроны. Для охвата остальной части кроны рама 2 вместе с лестничными ступенями 3 и гравитационным элеватором 4 передвигается вручную по рельсовому пути 21 прицепа до необходимого положения и стопорится. Для охвата сборкой труднодоступных и удаленных частей кроны сборщики могут использовать удлиняющие площадки 7 на ступенях 3.

Крепление 11 тары и приспособление для его управления работают следующим образом. Захватные лапы 17 удерживают тару до тех пор, пока свободное плечо двуплечего подпружиненного рычага 16 своей втулкой 18 не соприкоснется со скошенной пластиной 13. Крепление 11 в разжатом состоянии огибает нижнюю часть гравитационного элеватора 4 и при выходе плеча с втулкой 18 из скошенной пластины 13 зажимает своими захватными лапами 17 перевернутую порожнюю тару 15, установленную заранее на наклонной площадке 14. При расположении на рабочей части гравитационного элеватора 4 порожней тары 15 под воздействием упругой силы правонавитой пружины кручения 24 и левонавитой пружины кручения 25, которые одновременно конструктивно выполняют функцию шарнирного соединения с задней стенкой ящика 23 тары П-образной рамки 26, последняя поднимается, поворачиваясь относительно осей симметрии левонавитой пружины кручения 24 и правонавитой пружины кручения 25, раскрывает дополнительную переднюю стенку ящика 38 и дополнительные боковые стенки ящика 39, что существенно увеличивает его емкость с учетом угла наклона гравитационного элеватора и, соответственно, производительность труда сборщиков. В перевернутом положении порожней тары 15 на наклонной площадке 14 под воздействием веса ящика правонавитая пружина кручения 24 и левонавитая пружина кручения 25 сжимаются, П-образная рамка 26 поворачивается и соприкасается с гранями передней стенки ящика 27 и боковыми стенками ящика 28, по контуру, копируя их, при этом дополнительная передняя стенка ящика 38 и дополнительные боковые стенки ящика 39 складываются, обеспечивая в таком положении беспрепятственное прохождение ящика тары вверх. Конструктивные и упругие параметры правонавитой пружины кручения 24 и левонавитой пружины кручения 25 рассчитываются согласно [2], а их силовое воздействие на П-образную рамку 26 регулируется положением по вертикали нижних концов.

Список использованной литературы

1. Платформа для сбора плодов. Патент на изобретение BY 24549; МПК А 01D 46/20. Юрин Антон Николаевич (BY); Комлач Дмитрий Иванович (BY); Кострома Сергей Павлович (BY); Агейчик Валерий Александрович (BY). Патентообладатель: Республиканское унитарное предприятие "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства" (BY). Номер заявки: а 20240114 от 2024.05.20. Опубликовано 2025.03.20. 28 с.

2. Цилиндрические винтовые пружины кручения. Справочник машиностроителя. Т. 4, книга II. Под редакцией проф., д-ра техн. наук Н. С. Ачеркана. Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963, с. 718-721.

Summary. A fruit harvesting platform has been developed that increases the productivity of the technological process.

УДК 631.362.6

Юрин А.Н.¹, кандидат технических наук, доцент;

Комлач Д.И.¹, кандидат технических наук, доцент;

Агейчик В.А.², кандидат технических наук, доцент

¹ РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЙКИ ПЛОДОВ И ОТДЕЛЕНИЯ ИХ ОТ СОРНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Аннотация: предложено разработанное на уровне изобретения и прошедшее промышленную проверку устройство для мойки плодов и отделения от них сорных включений, которое позволяет повысить производительность и эффективность технологического процесса.

Abstract: a device for washing fruits and separating waste inclusions from them, developed at the invention level and industrially tested, is proposed, which allows for increasing the productivity and efficiency of the technological process.

Ключевые слова: мойка плодов, отделение и удаление сорной растительности.

Key words: washing fruits, separating and removing weeds

В Республиканском унитарном предприятии "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства" на уровне изобретения [1] разработано и прошло производственные испытания устройство для мойки плодов и отделения от них сорных включений, которое содержит закрепленные на раме (см. рисунок 1) заполняемый водой резервуар 1, являющийся продолжением основного резервуара, входящего в состав устройства для разгрузки контейнеров с плодами, выгрузной дозирующий транспортер 2, водяной насос 3 с трубо-

проводом 4. Накопительная зона плодов резервуара выделена перфорированной перегородкой 5 и перегородкой с окном 6, на входе в нее установлен заглубляющий скребково-ленточный конвейер 7, служащий для погружения плодов в воду, над верхней ветвью которого смонтирована перфорированная перегородка 5 со щелями 8 для прохода воды. Перегородка с окном 6 имеет окно 9 для выхода плодов на выгрузной дозирующий транспортер 2. Скребки 10 заглубляющего скребково-ленточного конвейера 7 закреплены к ленте известным в технике способом и выполнены в виде расположенных на расстоянии 10-12 мм друг от друга, перпендикулярных направлению движения ленты рядов пластин резиновых высотой 50-80 мм, шириной 20-25 мм и толщиной 8-10 мм с зазором, т. е. расстоянием между ними в образующем скребке ряду 18-20 мм, причем поверхность скребков 10, обращенная вверх в верхней ветви заглубляющего скребково-ленточного конвейера 7, выполнена в виде перпендикулярных продольной вертикальной плоскости симметрии заглубляющего скребково-ленточного конвейера микронеровностей с профилем в виде примыкающих друг к другу равносторонних треугольников с длиной сторон 2-3 мм.

Между рядами скребков 10 расположены выполненные в ленте отверстия диаметром 8-10 мм для прохождения воды. В одной горизонтальной плоскости с осью симметрии и вращения холостого барабана 11 заглубляющего скребково-ленточного конвейера 7 параллельно ей со стороны выгрузного дозирующего транспортера 2 расположена ось симметрии и вращения отклоняющего барабана 12 меньшего в 2,5-3,0 раза диаметра, чем у холостого барабана 11, с зазором между цилиндрическими поверхностями холостого и отклоняющего барабанов 2-3 мм. В верхней части заглубляющего скребково-ленточного конвейера со стороны перехода его верхней криволинейной части с приводным барабаном 13 в наклоненную к горизонту на угол 44-46° прямолинейную нижнюю ветвь установлен вне водяного резервуара открытый прямоугольный металлический ящик 14 с толщиной стенок 2-4 мм, с горизонтально расположенным дном и с наклонной к его плоскости под углом 44-46° задней, но ближайшей по отношению к заглубляющему скребково-ленточному конвейеру 7, перпендикулярной, с зазором 1-2 мм его нижней ветви стенкой, причем эта примыкающая к заглубляющему скребково-ленточному конвейеру 7 в месте перехода его верхней криволинейной части в прямолинейную нижнюю ветвь своей верхней кромкой задняя стенка открытого прямоугольного металлического ящика 14 выполнена в виде имеющих возможность входа в пространство между образующими скребки 10 пластинами резиновыми с зазором по контуру этого пространства 1,0-1,5 мм вилообразными составляющими наклонной задней стенки полосами шириной 16-18 мм с возможностью свободного прохода полос задней стенки между пластинами резиновыми скребков 10.

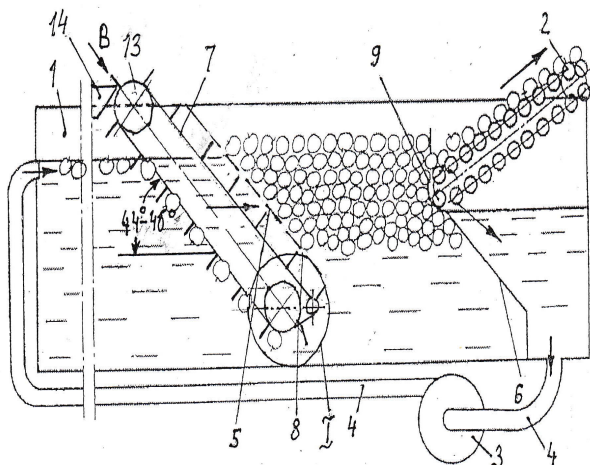


Рисунок 1 – Накопитель в разрезе, вид сбоку

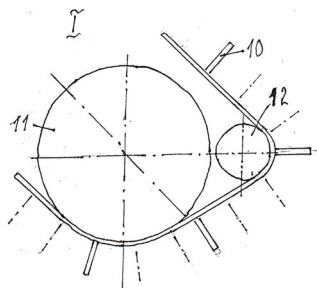


Рисунок 2 – Узел I на рисунке 1

Накопитель работает следующим образом. Плоды, поступающие в резервуар 1 после выгрузки их из контейнера, водным потоком, создаваемым насосом 3, переносятся к заглубляющему скребково-ленточному конвейеру 7, который заглубляет их под воду и переносит на перфорированную перегородку 5. Щели 8 в перфорированной перегородке обеспечивают проход циркулирующего потока воды в поверхностном слое, поэтому плоды, поступающие в накопительную зону резервуара, переносятся водой к перегородке с окном 6 и через выходное окно 9 в ней к выгрузному дозирующему транспортеру 2. Этим транспортером они равномерным потоком выгружаются из накопительной зоны. Затем плоды поступают на дальнейшую обработку. При этом, в силу наличия в нижней части заглубляющего скребково-ленточного конвейера 7 отклоняющего барабана 12 меньшего в 2,5-3,0 раза диаметра, чем у основного 11, скребки

10 осуществляют в сторону накопительной зоны движения, выталкивающие плоды (показаны рисунке 2 в том числе штрихпунктирными линиями), например яблоки, что обеспечивает выталкивание всех плодов в накопительную зону между перфорированной перегородкой 5 и перегородкой с окном 6. Одновременно листовенные остатки, части веток и других сорных включений прихватываются, в том числе микронеровностями с профилем в виде примыкающих друг к другу равносторонних треугольников с длиной сторон 2-3 мм скребков 10 заглубляющего скребково-ленточного конвейера 7, и подаются из водяного резервуара в открытый прямоугольный металлический ящик 14, задняя стенка которого, проходя своими полосами в пространство между образующими скребки 10 пластинами резиновыми, полностью вычищает заглубляющий скребково-ленточный конвейер 7 от листовенных остатков, веток и других сорных включений, способствуя направлению их в сторону дна открытого прямоугольного металлического ящика 14, который по мере наполнения периодически очищается.

Производительность заглубляющего скребково-ленточного конвейера значительно превышает производительность выгрузного дозирующего транспортера 2, что обеспечивает непрерывность подачи плодов выгруженным дозирующим транспортером 2 при неравномерной их подаче водным потоком. Наличие заглубляющего скребково-ленточного конвейера 7 в сочетании с накопительной зоной, выделенной перфорированной перегородкой 5 и перегородкой с окном 6 в резервуаре 1 с водой, позволяет осуществить многослойную загрузку. Концентрация плодов при этом достигает 250-300 кг на метр квадратный площади, что дает возможность в 5-7 раз уменьшить площадь водной поверхности, а следовательно, и существенно уменьшить габариты накопителя по ширине и длине, за счет этого в 2-3 раза снизить количество материала на изготовление. Также эффективно осуществляется удаление из резервуара накопителя листовенных остатков, частей веток и других сорных включений с одновременным повышением производительности устройства за счет снижения вероятности повторной подачи заглубляющим транспортером 7 плодов, например яблок, в зону выгрузки их из контейнера в резервуар 1.

Список использованной литературы

1. Устройство для мойки плодов и отделения от них сорных включений. Патент на изобретение BY 24715; МПК А 23N 12/02. Юрин Антон Николаевич (BY); Комлач Дмитрий Иванович (BY); Кострома Сергей Павлович (BY); Агейчик Валерий Александрович (BY). Патентообладатель: Республиканское унитарное предприятие "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства" (BY). Номер заявки: а 20240115 от 2024.05.20. Опубликовано 2025.10.20. 20 с.

Summary. A device for washing fruits and separating them from impurities is proposed.

Романюк Н.Н.¹, кандидат технических наук, доцент;

Агейчик В.А.¹, кандидат технических наук, доцент ;

Еднач В.Н.¹, кандидат технических наук, доцент;

Кокиева Г.Е.², доктор технических наук, профессор;

Тихонов А.А.³, кандидат технических наук, доцент

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

² ФГБОУ ВО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия
им. В.Р. Филиппова», г. Улан-Удэ, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический
университет им. Л.Я.Флорентьева», г. Нижний Новгород, Российская Федерация

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ОРИГИНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ОЧИСТИТЕЛЯ КОРНЕПЛОДОВ ОТ ПОЧВЫ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы очистки корнеплодов от загрязнений. Предложена оригинальная конструкция очистителя корнеплодов от почвы, использование которого позволит повысить надежность его работы и качество очистки.

Abstract. The article examines the removal of soil from root vegetables. A unique design for a root vegetable soil remover is proposed, which will improve its reliability and cleaning quality.

Ключевые слова: корнеплоды, очиститель, почва, надежность работы, качество очистки.

Key words: root vegetables, cleaner, soil, reliability of operation, cleaning quality.

Очистка корнеклубнеплодов от загрязнений является одной из самых трудоёмких операций перед скармливанием животным: согласно зоотехническим требованиям остаточная загрязнённость корнеклубнеплодов после очистки не должна превышать 3% по массе. Практически загрязнённость корнеклубнеплодов после уборки комбайнами всегда выше 8-9% и может достигать 20% и более. Анализ традиционной технологии показывает, что затраты энергии и труда на возделывание корнеклубнеплодов составляют 24,3% энергии и 23,8% труда, уборку – 46,9% и 41,3% и подготовку к скармливанию – 28,8% и 34,9%. Отсюда следует, что при совершенствовании технологий и технических средств наибольшего внимания заслуживают уборка и очистка корнеклубнеплодов от примесей [1-6].

Целью исследований является разработка конструкции очистителя корнеплодов от почвы, использование которого позволит повысить надежность его работы и качество очистки.

Проведенный патентный поиск показывает, что известен валец шнекового очистителя клубней картофеля от почвы [7], содержащий закрепленный на валу цилиндрический корпус с охватывающей его винтовой навивкой, на корпусе закреплена втулка с равномерно расположенными по

ее окружности плоскими лопастями, образующими изолированные друг от друга полости, а винтовая навивка установлена с натягом по их концам. Вальцы выполнены с возможностью вращения в одном направлении посредством связанных между собой звездочек.

Известен очиститель корнеплодов от почвы [8], содержащий установленные на раме с возможностью вращения в одном направлении связанные между собой звездочками вальцы, которые выполнены в виде валов с установленными на них цилиндрическими корпусами, при этом диаметр цилиндрических корпусов вальцов выполнен большим, чем средний радиус очищаемых корнеплодов, валы вальцов установлены на равном расстоянии друг от друга с возможностью регулировки их положения по высоте, звездочки четных и нечетных вальцов установлены снаружи рамы с разных ее сторон с возможностью вращения четных и нечетных вальцов с разной частотой, причем поверхности четных и нечетных вальцов выполнены из материалов с различными коэффициентами трения, а у нечетных либо четных вальцов цилиндрические корпуса установлены на валах эксцентрично.

Недостатками известных устройств являются низкое качество очистки корнеплодов от почвы и не надежная работа очистителя.

На рисунке 1 представлена оригинальная конструкция очистителя корнеплодов от почвы [9], который включает установленные на раме 1 с возможностью вращения четные 2 и нечетные 3, считая по направлению движения корнеплодов по поверхности устройства (показано стрелкой), вальцы цилиндрической формы. На четных 2 и нечетных 3 вальцах, выполненных в виде валов, установлен цилиндрический корпус, диаметр которого выполнен большим, чем средний радиус очищаемых корнеплодов. Четные 2 и нечетные 3 вальцы связаны между собой звездочками 4 через цепь 5. Звездочки четных 2 и нечетных 3 вальцов установлены снаружи рамы 1 с разных ее сторон с возможностью вращения нечетных 3 вальцов с большей частотой вращения от привода 6, чем частота вращения четных 2 вальцов от этого привода 6. Для обеспечения возможности вращения звездочек четных 2 и нечетных вальцов 3 с разной частотой, привод 6 снабжен валом 7 с установленными на его противоположных концах звездочками 8 и 9 с большим у последней числом зубьев. Поверхности вальцов 2 выполняют из материала с меньшим коэффициентом трения, чем поверхность вальцов 3. Четные 2 вальцы выполнены с винтовыми выступами с последовательно чередующимися друг за другом левым 10 и правым 11 направлением навивки из ремня клиноременной передачи и крепятся к поверхности четных 2 вальцов с помощью винтов 12. Расстояние между соседними витками, измеренное вдоль оси четных 2 вальцов (шаг навивки), винтовых выступов 10 и 11 равен половине среднего диаметра очищаемых корнеплодов. По бокам очистителя на раме 1 закреплены борта 13 высотой, равной среднему диаметру корнеплодов.

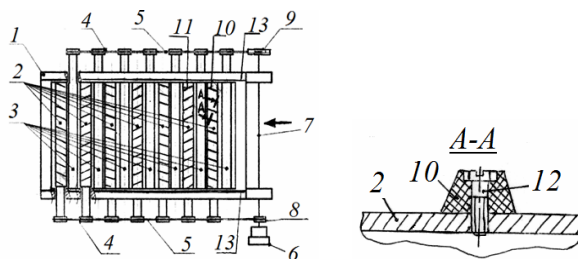


Рисунок 1 – Очиститель корнеплодов от почвы

Очиститель корнеплодов от почвы работает следующим образом.

Включают привод 6, который через вал 7 передает крутящий момент на звездочки 8 и 9, которые, в свою очередь, приводят во вращение звездочки 4 на нечетных 3 и четных вальцах 2 с разной частотой. Затем подают неочищенные от почвы корнеплоды на вальцы. Взаимодействуя с вращающейся поверхностью четных 2 и нечетных 3 вальцов, корнеплоды поступательно движутся в направлении вращения четных 2 и нечетных 3 вальцов (показано стрелкой), диаметр цилиндрических корпусов которых выполнен большим, чем средний радиус очищаемых корнеплодов для обеспечения большей поверхности контакта загрязненных корнеплодов с вальцами. Передвигаясь по вальцам 2 и 3 корнеплоды, контактируют с цилиндрическими корпусами либо на четных 2, либо на нечетных 3 вальцах, которые вращаются с различной частотой. Одновременно винтовые эластичные выступы левой 10 и правой 11 наливки вращающихся с меньшей частотой четных 2 вальцов вдвигают корнеплоды последовательно и поочередно влево и вправо, что создает условия проскальзывания поверхности нечетных 3 вальцов с большим коэффициентом трения по корнеплодам и одновременного очищения их от загрязнений. Различные коэффициенты трения поверхностей четных 2 и нечетных 3 вальцов позволяют более эффективно очищать корнеплоды от почвы, которая удаляется в зазоры между этими вальцами. Очищенные корнеплоды в зависимости от степени загрязнения и назначения в дальнейшем поступают с очистителя либо на мойку, либо на дальнейшую сортировку и доработку. Винтовые выступы 10 и 11, а также различные коэффициенты трения поверхностей вальцов 2 и 3 позволяют повысить оборачиваемость корнеплодов вокруг своей оси при их движении по этим вальцам без повреждений и травмирования. Тем самым увеличивается поверхность контакта очищаемого продукта с поверхностью вальцов, а также интенсивность отделения частиц загрязнений от корнеплодов, благодаря чему улучшается качество очистки корнеплодов от почвы. Борты 13 удерживают корнеплоды на поверхности очистителя.

Предложенная оригинальная конструкция очистителя корнеплодов от почвы позволит повысить надежность его работы и качество очистки.

Список использованной литературы

1. Карпов, В.В. Построение номограммы для определения параметров гофро-дискового очистителя корнеклубнеплодов / В.В. Карпов. – Вестник Алтайского гос. аграр. ун-та. – 2014. – Вып. 1 (111). – С.91–93.
2. Юхин, Г.П. Совершенствование технологий и технических средств заготовки и подготовки к скармливанию кормовых корнеплодов : дис. ... доктора техн. наук : 05.20.01 / Г.П. Юхин. – Оренбург, 2006. – 347л.
3. Романюк, Н.Н. Анализ рабочих органов машин для очистки корнеклубнеплодов / Н.Н.Романюк, С.Д. Пашковский, С.В. Есипов // Сборник материалов науч.-практ. конф. «Техсервис-2016» / под ред. А.В. Мирановича. – Минск, БГАТУ, 2016. – С. 182–186.
4. Устройство для очистки корнеклубнеплодов от примесей : патент 9356 U РБ, МПК А 01D 33/08 / Н.Н.Романюк [и др.]; заявитель БГАТУ. – № u20120959 ; заявл. 05.11.2012; опубл. 30.08.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 4. – С.186–187.
5. Устройство для очистки корнеклубнеплодов от примесей : патент 9236 U Респ. Беларусь, МПК А 01D 33/08 / Н.Н.Романюк [и др.]; заявитель БГАТУ. – № u20121051; заявл. 28.11.2012; опубл. 30.06.2013 // Афіц. бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 3. – С. 163.
6. К вопросу определения конструкционных параметров машины для очистки корнеклубнеплодов от примесей / Н.Н. Романюк [и др.]. // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – №5. – С. 13–16.
7. А.с. SU №1306508, МПК А01D 33/08, 30.04.87, Бюл. №16.
8. Патент РФ №2705308, МПК А01D 33/08, 06.11.2019, Бюл. №31.
9. Очиститель корнеплодов от почвы: патент 2819247 С1 РФ, МПК А01D 33/08 / Г.Е.Кокиева (RU), Н.Н.Романюк (BY), В.А.Агейчик (BY) [и др.]; заявитель Бурятская гос. сельхоз. академия им. В.Р.Филиппова (RU).– № 2023110816; заявл. 25.04.2023 ; опубл. 15.05.2024 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – 2024. Бюл. №14.

Summary. The proposed original design of the root crop soil cleaner will improve the reliability of its operation and the quality of cleaning.

УДК: 631.359:62-52

Филиппов Р.А., кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник,
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
г. Москва, Российская Федерация

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЯГОДОУБОРОЧНЫХ РОБОТОВ

Аннотация. Уборка урожая ягодных культур, таких как малина и земляника садовая, остаётся одной из самых трудоёмких операций в сельском хозяйстве, и рост цен на ручной труд стимулирует активные разработки в области автоматизации. В статье проведён анализ современного технического состояния роботизированных систем для уборки садовой земляники и малины, рассмотрены

конструктивные особенности устройств для открытого и защищённого грунта и определены перспективные направления развития уборочных роботов.

Abstract. The harvesting of berry crops such as raspberries and strawberries remains one of the most labor-intensive operations in agriculture, and the rising cost of manual labor is driving active research and development in automation. This article analyzes the current technical state of robotic systems for harvesting strawberries and raspberries, discusses the design features of devices for open and protected ground, and identifies promising directions for the development of harvesting robots.

Ключевые слова: ягодоводство, уборка урожая, ягодные культуры, земляника садовая, малина, робот, манипулятор.

Keywords: berry growing, harvesting, berry crops, strawberry, raspberry, robot, manipulator.

Садовая земляника и малина относятся к числу наиболее распространённых и высокодоходных ягодных культур в России. При этом самым трудоёмким процессом в их выращивании остаётся сбор урожая. Традиционный ручной сбор ягод на плантации выполнялся сборщиками с ящиками или другой тарой. Позже появился ручной сбор с приспособлениями для размещения тары, такими как подставки и мобильные колёсные платформы (одноместные, двух-, трёхместные или групповые, с мускульным или электроприводом, причём групповые обычно были прицепными) [1-5]. Далее выделяют механизированный сбор поточными машинами для однократной уборки после массовых сборов, включающий формирование куста, съём, улавливание, очистку и затаривание ягод для технической переработки. Наконец, роботизированный (выборочный селективный) сбор, где с развитием микроэлектроники и оптики машины распознают спелость ягоды и с помощью манипуляторов собирают урожай [6].

В настоящее время для повышения качества и эффективности этой операции ведутся разработки роботизированных устройств, которые отличаются конструкцией и принципом действия рабочих органов. На данный момент в мире существует несколько успешно работающих образцов роботизированной техники для сбора ягод, однако их широкое промышленное применение пока не получило распространения [7,8].

В зависимости от применяемой технологии возделывания, существующие и разрабатываемые в настоящее время роботы для уборки земляники садовой, могут быть эффективно задействованы как в условиях открытого грунта, так и в защищенном грунте.

Для открытого грунта характерна высокая изменчивость факторов внешней среды (освещённость, температура, густота листвы), в которых приходится работать роботизированным машинам для сбора урожая.

Обычно их конструкции строятся на базе самоходных колёсных или гусеничных шасси, перемещающихся над рядами. Оснащается системой

технического зрения, включающей видеокамеры и 3D-стереокамеры, системой передвижения и ориентации шасси в пространстве, системой управления движением манипулятора или механизма съема. В качестве механизмов съема ягод обычно применяются многозвенные манипуляторы различных конструкций с вращательными или линейными приводами, например, SCARA-манипуляторы, декартовы (портальные) системы или параллельные (дельта) роботы, а в качестве захватных устройств – вакуумные, пальцевые (двух- или трехпальцевые), пневматические, мягкие (адаптивные) или ножничного типа, а собранный урожай перемещается и укладывается в специальную тару в виде коробок и ящиков [9,10].

Например, в Калифорнийском технологическом институте (UCLA) создан экспериментальный образец уборочного робота со стереокамерами: аппарат сканирует грядку с разных ракурсов, а манипулятор, обнаружив ягоду, захватывает её, отрывает вращением вокруг оси и отправляет в контейнер (рисунок 1).

Учёные из Флориды (США) разработали устройство Harvest CROO Robotics, включающее 16 уборочных модулей с 6 захватами в каждом, где специальный механизм приподнимает листья растений, после чего захваты отрывают ягоду [11]. Основными технологическими особенностями применения роботов в открытом грунте является необходимость решения задачи механического подъёма листвы для обнаружения ягод [12].



Рисунок 1 – Земляникоуборочный робот и его рабочий орган

В настоящее время большое распространение получает возделывание земляники садовой в закрытом грунте с использованием туннельных парников, где растения размещают как на традиционных грядках на уровне земли, так и на приподнятых над поверхностью рядках (например, на стеллажах или в высоких гребнях), что позволяет улучшить дренаж, удобство обслуживания и автоматизацию сбора урожая.

В туннельных парниках, в отличие от открытого грунта, складываются гораздо более управляемые микроклиматические условия, что делает их оптимальными для автоматизированной уборки земляники. Благодаря отсутствию дождя, ветра и грязи ягоды остаются неподвижными, а междурядья – чистыми. Стабильное освещение без резких перепадов теней повышает чёткость работы стереокамер. Ровные, прямые и особенно приподнятые грядки, на которых ягоды свободно свисают на цветоносах, заметно облегчают навигацию робота и сам процесс захвата. Кроме того, минимизация биологических помех (насекомые, листва) сокращает число ошибочных срабатываний захватных устройств.

Специалисты японского исследовательского института IAM-BRAIN создали роботизированную систему, которая передвигается по рельсам, проложенным между грядками. Встроенная система компьютерного зрения оценивает степень зрелости – когда красный цвет занимает не менее 80% поверхности ягоды, манипулятор срезает её и аккуратно укладывает в лоток – на одну ягоду уходит около 8 секунд. Система технического зрения оснащена несколькими цифровыми камерами: две используются для первоначальной настройки, а третья – для точного наведения манипулятора при захвате и перемещении [13].

Одной из наиболее технически совершенных разработок является роботизированная машина «Agrobot SW6010» испанской компании «Advesva» – самоходное колёсное шасси для туннельных теплиц, оснащённое 24 независимыми манипуляторами. Для оценки спелости здесь используется система технического зрения на базе мощных графических процессоров NVIDIA Jetson, что позволяет машине выборочно собирать только созревшие ягоды, а на этапе упаковки работает оператор, контролирующий процесс (рисунок 2).

Благодаря прогрессу в области микроэлектроники стало возможным создание машин для выборочного и бережного съёма ягод малины, и в настоящее время уже начинаются испытания роботизированных комплексов для выборочного сбора ягод малины.



Рисунок 2 – Земляникоуборочная машина «Agrobot SW6010» и её рабочий орган

Британская компания Fieldwork Robotics создала робота Fieldworker 1 с четырьмя манипуляторами и мягкой мембраной-чашей, которая аккуратно снимает ягоду. Машинное зрение здесь дополнено спектральным анализом для проверки спелости перед сбором; производительность составляет 150–300 ягод в час (около 2 кг), что сравнимо с человеком, но робот может работать круглосуточно (рисунок 3).

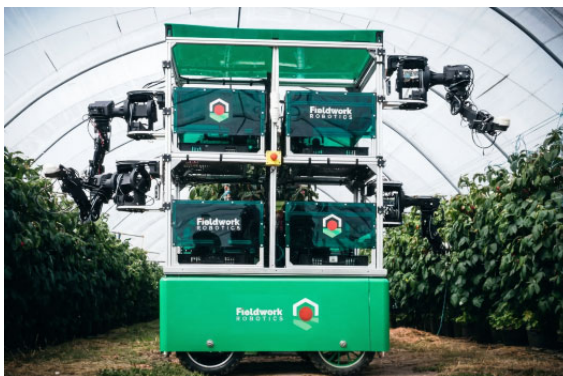


Рисунок – 3 Малиноуборочный робот

Несмотря на то, что технологии автоматизированного сбора вплотную приблизились к коммерческой основе, основными ограничениями по-прежнему являются высокая степень скрытия ягод под листвой и жесткие требования к минимизации механического воздействия на плоды. Наиболее успешные конструкции уже демонстрируют коммерчески приемлемые показатели (30 кг/час, до 83% успешного сбора).

Тенденции развития роботов для уборки ягод определяются несколькими базовыми направлениями. Важнейшей тенденцией становится переход от единичных роботов к роевому управлению, когда один оператор контролирует 8–10 машин, работающих круглосуточно, что позволит снизить себестоимость уборки на 30–40% к 2030 году. Перспективные роботы будут иметь сменные манипуляторы и программные модули для работы с малиной, земляникой и другими ягодными культурами без замены аппаратной части.

Внедрение тактильных датчиков и гибридных систем «зрение + осязание» позволит роботам находить ягоды даже при полном визуальном закрытии листвой.

Немаловажным фактором является выведение специальных сортов ягодных культур, предназначенных для машинного сбора с дружным созреванием и плотными плодами.

По оценкам аналитиков, рынок роботов для сбора ягод вырастет с \$500 млн в 2025 году до \$1,8 млрд к 2033 году. В ближайшие 5–7 лет следует ожидать промышленного внедрения роботов сборщиков урожая.

Список использованной литературы

1. Утков Ю.А., Филиппов Р.А., Хорт Д.О., Кутырёв А.И. Развитие машин для сбора урожая ягод земляники в России // История науки и техники. – 2020. – № 8. – С. 58-76.
2. Филиппов Р. А., Утков Ю.А. Технические средства для совершенствования ручного сбора ягод земляники на промышленной плантации // Садоводство и виноградарство. – 2010. – № 2. – С. 37-40.
3. Филиппов Р.А., Хорт Д.О. Развитие технических средств для сбора ягод земляники // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 111. – Ч. 1. – С. 58-61.
4. Патент № 2854118 С1 Российская Федерация, МПК A01D 46/00, B62D 9/00. Платформа с электроприводом для уборки ягод земляники: заявл. 05.06.2025: опубл. 29.12.2025 / Р. А. Филиппов, А. И. Кутырев.
5. Патент № 2523500 С1 Российская Федерация, МПК A01D 46/00, A01B 75/00. Платформа для ручной уборки ягод земляники и других низкорастущих культур: № 2013119102/13: заявл. 25.04.2013: опубл. 20.07.2014 / Р. А. Филиппов, Ю. А. Утков, Д. О. Хорт, И. Г. Смирнов.
6. Патент № 2706208 С1 Российская Федерация, МПК A01D 46/30. Автоматизированный агрегат для уборки ягод земляники садовой: № 2019103514: заявл. 28.03.2019: опубл. 14.11.2019 / Д. О. Хорт, А. Н. Терешин, Р. А. Филиппов [и др.].
7. Патент № 2859244 С1 Российская Федерация, МПК A01D 46/30. Роботизированное техническое средство для сбора ягод земляники садовой: № 2025121095: заявл. 31.07.2025: опубл. 31.03.2026 / Филиппов Р.А., Кутырёв А.И.
8. Филиппов Р. А. Глава 8. Состояние и тенденции развития роботизированных технических средств для уборки ягод земляники садовой // Робототехника, автоматизация и управление техническими системами: Монография. – Санкт-Петербург: Гуманитарный национальный исследовательский институт НАЦРАЗВИТИЕ, 2024. – С. 62-69. – EDN EJZNEQ.
9. Филиппов Р. А., Хорт Д.О., Кутырёв А.И. Роботы для уборки урожая земляники // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2019. – № 13. – С. 63–68.
10. Khort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A. Robotized platform for picking of strawberry berries // 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 - Proceedings, Kyiv. – 2019. – P. 869–872.
11. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Робототехнические средства для современного садоводства // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2016, – № 2. – С. 131–138.
12. Филиппов Р.А. Робототехнические средства для сбора ягод земляники // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2017. – № 1. – С. 26-27.
13. Мишуков Н.П., Кондратьев О.В., Федоренко В.Ф., Федоров А.Д., Слинько О.В., Войтюк В.А. Цифровые системы и роботизированные технические средства для садоводства: аналит. обзор // М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2022. – 80 с.

Summary. The article analyzes the current state of the art of robotic systems for harvesting strawberries and raspberries. It is shown that for open field conditions, the main challenges are variability of illumination and occlusion of berries by foliage, which requires mechanical leaf lifting and advanced vision systems. In protected cultivation (tunnel greenhouses), smoother and often raised beds create more favorable conditions for robot operation. Promising directions for the development of berry harvesting robots are identified.

Филиппов Р.А., кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник;
Мордасова М.С., научный сотрудник
*ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
г. Москва, Российская Федерация*

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ РУЧНОЙ УБОРКИ ЯГОД

Аннотация. В статье выполнен обзор и анализ технических средств для механизированной уборки ягод с кустарников, включая очесывающие приспособления, пневматические устройства и, наиболее распространенные, механические вибраторы. Рассмотрены этапы развития зарубежных и отечественных конструкций. Сформулированы основные современные тенденции совершенствования вибрационной техники: модульность, интеллектуальная адаптация режимов работы под культуру и снижение вибрационной нагрузки на оператора.

Abstract. This article provides a review and analysis of technical means for mechanized harvesting of berries from shrubs, including combing devices, pneumatic units, and the most common mechanical vibrators. The stages of development of foreign and domestic designs are considered. The main current trends in improving vibration technology are formulated: modularity, intelligent adaptation of operating modes to the specific crop, and reduction of vibration exposure to the operator.

Ключевые слова: ягодоводство, вибрационный съем ягод, механизация, сбор урожая, производительность, ягодные культуры, садоводство.

Keywords: berry growing, vibratory berry harvesting, mechanization, harvesting, productivity, berry crops, horticulture.

Существует несколько направлений развития технических средств для ручной уборки урожая кустарниковых ягодников (счесывающие гребенки, счесывающие ножницы), пневматические инструменты для отрыва ягод и механические вибраторы с приводом от электродвигателя, компрессора или гидромотора. Проведённые ранее испытания различных ручных очесывающих приспособлений показали, что с их помощью нельзя решить проблему механизации уборки ягод, так как они не обеспечивают резкого повышения производительности труда и снижения себестоимости продукции. Несмотря на это, ручной инвентарь в виде различных счёсывающих приспособлений, широко используется, поскольку он облегчает труд сборщиков и обеспечивает удовлетворительное качество урожая. Пневматические приспособления, в которых сбор ягод осуществлялся всасывающим воздушным потоком, отличались компактностью и большой производительностью. В общем случае они представляли собой трубу с наконечником, на которой смонтирована

камера понижения давления, соединенная прорезями с трубой. Конец ответвления связан с мешком для листьев и других примесей. Прямой конец трубы заканчивается наконечником, к которому присоединяют емкость для ягод. Устройства данного типа не получили большого распространения из-за большой энергоёмкости технологического процесса. Наибольшее распространение получили механические вибрационные устройства [1], [2].

Механические вибраторы выполняют в виде эксцентрикового шпинделя, односторонне действующего возвратно-поступательного толкателя, вибрирующей гребенки, возвратно-поступательно движущегося крюка и вибрирующей вилки. Созданию механических вибраторов предшествовала работа по определению физико-механических свойств ягод и ягодных кустов. Важно было знать усилия, необходимые для отрыва ягод от ветвей в различные сроки созревания ягод. Кроме того, необходимо было знать модуль упругости ветвей ягодных кустарников, их способность переносить механические воздействия и целый ряд других свойств ягод и ветвей для безопасного и высококачественного съема ягод. Серьезным этапом исследований было определение усилий отрыва листьев, так как это влияет на состав вороха. В итоге, был установлен ряд закономерностей. В частности, не было отмечено больших различий отрыва ягод разных сортов черной смородины и крыжовника, почти все ягоды отрывались без плодоножки, усилие отрыва уменьшалось по мере созревания ягод и пр. Кроме того, сделан однозначный вывод о том, что выборочный сбор черной смородины и крыжовника с помощью механических вибраторов практически неосуществим. Самый распространённый рабочий орган механических вибраторов – это вибрирующая вилка. Прототипом почти всех ягодоуборочных машин является американская ягодоуборочная машина фирмы «Таббса», схема вибратора которой показана на рисунке 1.

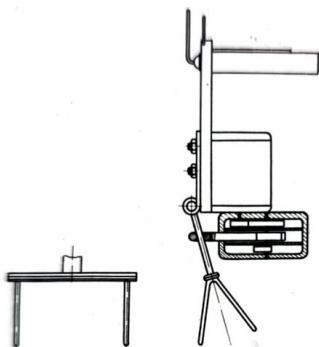


Рисунок 1 – Механический стряхивающий вибратор с двойной вилкой фирмы «Таббса» (США)

Машина самоходная, с приводом ходовых колёс от генератора, питание которого осуществляется от аккумулятора. На раме машины смонтированы две Г-образные стрелы, к которым на пружинных подвесках крепятся шесть вибрирующих рабочих органов с захватывающим элементом в виде сдвоенной вилки. Привод вилок – электрический от генератора. Генератор приводится в действие от двигателя внутреннего сгорания. Ягоды очищаются от примесей на специальных лотках с сетчатой крышкой, отверстия в которой обеспечивают просеивание ягод и задержание листьев на поверхности лотка. Машина заезжает в междурядье, шесть сборщиков подставляют под кусты простейшие улавливающие приспособления, включают вибраторы, захватывают вилкой ветви куста и проводят вибрирующую вилку от основания ветви к вершине (прочёсывают куст). Колеблющаяся вилка отрывает ягоды от ветвей, и они попадают в улавливающее приспособление. Машина работает позиционно, то есть останавливается у каждого куста. Наряду с преимуществами (одновременность работы шести сборщиков, высокое качество съёма ягод и др.) машина имеет ряд недостатков. К их числу относят: очистка ягод от примесей в машине несовершенна и удорожает стоимость уборки, тройная перегрузка ягод ухудшает их качество, а конструкция сдвоенной вилки приводит к увеличению повреждений кустов [3]-[5].

В 1970 году в СССР была запущена в производство электроягодоборочная машина ЭЯМ-200-8, созданная по принципиальной схеме американской машины фирмы «Таббса», но с улучшениями технологического процесса и конструкции вибрирующего рабочего органа (рисунок 2).

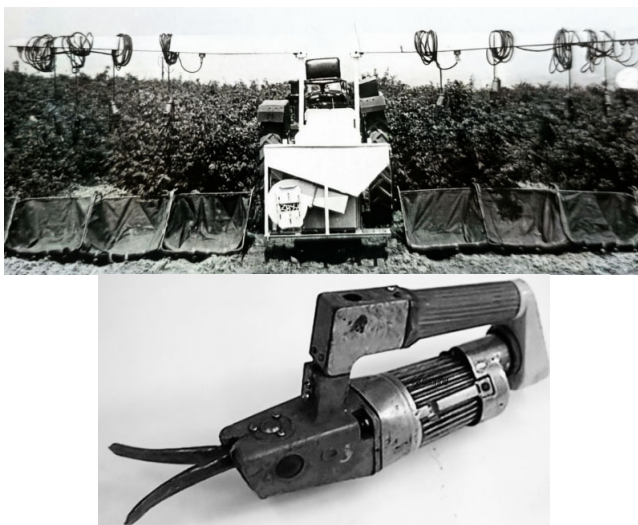


Рисунок 2 – Электроягодоборочная машина ЭЯМ-200-8 и её стряхивающий вибратор

Машина предназначена для сбора ягод вибрационным методом с помощью ручных вибраторов и улавливателей. Машина навешивалась на трактор Т-54В и работала в междурядьях от 2,5 м. В качестве рабочего органа применялись электровибраторы с двухпальцевой вилкой, приводимые в действие от генератора, который вращался от вала отбора мощности трактора. Напряжение 230 В понижалось трансформатором мощностью 5 кВА до 36 В. Конструкция включала раму, генератор с блоком аппаратуры, трансформатор, частотомер, воздуходувку, бункер, восемь электровибраторов, восемь улавливателей, две штанги, карданный вал и другие элементы. Машина позволяла собирать урожай одновременно с четырёх рядов. Сборщики подключали кабели вибраторов к штангам, после чего тракторист включал вал отбора мощности. У каждого куста два сборщика устанавливали улавливатель, отклоняли ветви, вводили в них вибрирующую вилку 3-4 раза или протягивали вилку вдоль ветви. Ягоды падали в улавливатель, затем ворох засыпали в бункер, где с помощью воздуходувки или решет с отверстиями 3,2×3,2 мм отделяли примеси. Зона уборки на одной остановке составляла 6-8 м. Вибратор состоял из электродвигателя серии А200-105 (от агрегата для стрижки овец), кривошипа, пластмассовой вилки с разведёнными концами, рычага, оси, корпуса, рукоятки с резиновыми амортизаторами для гашения вибрации, кабеля и выключателя. Улавливатель – каркас из трубок, обтянутый брезентом. Испытания показали, что машина обеспечивает полноту съёма ягод 97-99% при хорошем качестве. Производительность – до 120 кг чёрной смородины или до 212 кг крыжовника в час, что в 4-6 раз выше ручного сбора. Основной недостаток – трудность ввода виляющей вилки в куст, что приводило к повреждению коры и поломке однолетних приростов. Позднейшая модификация вилки с расширяющимися концами улучшила ввод, но полностью проблему не решила [8].

Известны вибрационные устройства для сбора оливок, которые применимы также для уборки ягодных культур. Например, вибрационное устройство *Abbacchiatore elettrico MASTER* для сбора оливок и кофе (рисунк 3) [6], [7].



Рисунок 3 – Вибрационное устройство для сбора оливок

Устройство оснащено электродвигателем мощностью 325 Вт, который приводит в движение два поддерживающих механизма, создавая колебания с частотой – 1200 дв./мин. Устройство работает от внешней свинцово-кислотной батареи на 12 В. Производительность – 70-90кг/ч.

Механические вибраторы для уборки ягод с кустарников разработаны во многих странах. Эти устройства снижают расходы на уборку на 50% и увеличивают производительность труда в 4-8 раз по сравнению с ручным сбором. Учитывая высокую эффективность данных устройств, их дальнейшее совершенствование основывается на тенденциях, определяющих облик современных конструкций.

Первая тенденция в их развитии – это переход к универсальным модульным системам. Поскольку усилие отрыва ягодных культур различное, так же, как и физические свойства самих растений, разработчики стремятся создать единый блок-рукоятку со стандартизированным интерфейсом с набором сменных рабочих насадок.

Вторая тенденция связана с внедрением адаптивных режимов работы под конкретную убираемую культуру. В этом случае процессор устройства автоматически определит сорт, степень созревания и установит режимы работы, что позволит значительно снизить риск повреждения ягод и растений.

Третья тенденция касается борьбы с вибрационным воздействием на оператора. Учитывая, что даже у современных инструментов уровень вибрации на рукоятках достигает 3,36 м/с², длительная работа может вредить здоровью человека. Поэтому перспективным направлением является разделение масс – тяжелая аккумуляторная батарея выносится на пояс или в рюкзак, а вибрирующая часть максимально облегчается за счет современных полимерных или композитных материалов.

Список использованной литературы

1. Подольская Е.Е., Бондаренко Е.В., Белименко И.С. Механизация процесса уборки плодов и ягод // Материалы XIII Международной научно-практической интернет-конференции «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК», п. Правдинский, Московская обл., 08-10 июня 2021. - С. 76-81.
2. Мордасова М.С. Развитие средств механизации ручного сбора ягод в России и за рубежом // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). - Краснодар: КубГАУ, 2026 - №01(215). - IDA [article ID]: 2152601030 - URL: <http://ej.kubagro.ru/01/pdf/30.pdf>, <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-215-030>. (дата обращения: 05.02.2026).
3. Кривоносова А.Д. Разработка и исследование ручных вибраторов ягодоуборочных машин : специальность 05.00.00 : диссертация ... кандидата технических наук / Кривоносова Альбина Демьяновна ; Научно-исследовательский зональный институт садоводства нечерноземной полосы. - Москва, 1969. - 141 с.

4. Вибрирующая пальчатая вилка, авторское свидетельство СССР, кл. 45f, 19/08, № 203369, 18.07.1966.

5. Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Утков Ю.А., Ценч Ю.С., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Этапы создания смородиноуборочных машин в России // История науки и техники. – 2020. – № 1. – С. 3-17. – DOI: 10.25791/intstg.01.2020.1124.

6. Утков Ю.А., Сорокопудов В.Н., Медведев С.М. Механизированный сбор ягод смородины черной в России и новые подходы к оценке пригодности сортов к машинному воздействию // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 7. – С. 139–144.

7. Филиппов Р.А., Хорт Д.О. Развитие технических средств для сбора ягод земляники // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 111. – № 1. – С. 58-61.

8. Utkov Yu.A. An effective assistant in manual harvesting of currant' berries: history and prospects // Journal of Agriculture and Environment. – 2 (10). – 2019. – DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2019.2.10.5>.

Summary. A review and analysis of technical means for mechanized harvesting of berries from shrubs, including brushing devices, pneumatic devices, and the most common mechanical vibrators, has been performed. The stages of development of foreign and domestic designs have been considered. The main current trends in improving vibration technology have been formulated: modularity, intelligent adaptation of operating modes to the crop, and reducing the vibration load on the operator.

УДК 631.312

Мисуно О.И., кандидат технических наук, доцент;

Зорин Г.А., студент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ОЦЕНКА ЖЕСТКОСТИ СТОЙКИ ЛАПЫ КУЛЬТИВАТОРА

Аннотация. В статье рассмотрено определение вертикального перемещения носка стойки лапы культиватора, необходимого для оценки ее жесткости.

Abstract. The article discusses the determination of the vertical displacement of the toe of the cultivator paw stand, which is necessary for assessing its rigidity.

Ключевые слова. Стойка лапы культиватора, кривой брус, изгибающий момент, сила, жесткость, интегралы Максвелла – Мора, вертикальное перемещение.

Key words. Cultivator paw shank, curved beam, bending moment, force, stiffness, Maxwell-Mohr integrals, vertical displacement.

В современном земледелии качество обработки почвы напрямую зависит от состояния и конструкции рабочих органов культиватора. Одной из ключевых деталей является стойка лапы культиватора – элемент, который отвечает за надёжную фиксацию лапы, воспринимает нагрузку при движении по полю и определяет глубину и равномерность обработки. В настоящее время конструкция культиваторов стала намного

проще и надежней в результате применения S-образных стоек, в которых нет шарниров и дополнительных пружин.

Однако, S-образные стойки, легко смещаются в сторону, в результате чего лапы обходят крупный сорняк, оставляя огрехи. Кроме того, лапа на S-образной стойке под нагрузкой отходит назад и поворачивается. Таким образом, расстояние от носка лапы и от края лапы до поверхности поля меняются. В результате получается неровное дно, нарушаются агротехнические требования к предпосевной обработке почвы (отклонение глубины обработки от заданной более 1 см). Этот эффект тем больше чем больше ширина захвата одной лапы.

Поэтому стойка лапы культиватора должна быть не только прочной, износостойкой, но и иметь требуемую жесткость. Оценку жесткости стойки лапы культиватора можно произвести по величине вертикального перемещения ее носка под нагрузкой.

Расчетная схема S-образной стойки лапы культиватора сводится к плоскому кривому брусу с радиусами кривизны в верхней части R_1 , в нижней – R_2 , испытывающему в основном изгиб, вызванный силой F (рисунок 1, а).

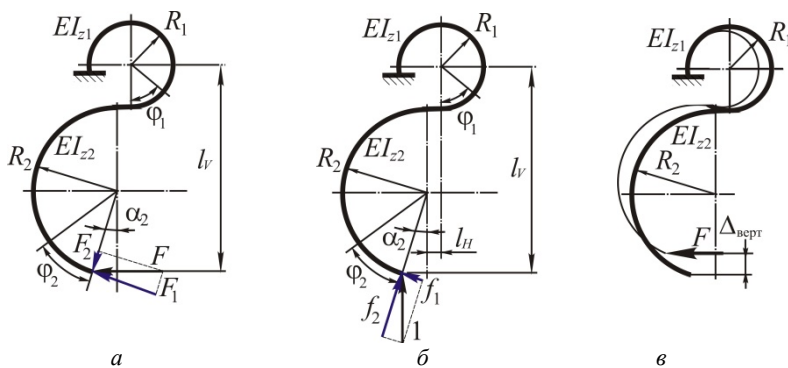


Рисунок 1– Расчетные схемы S-образной стойки культиватора:

а – размеры и схема нагружения внешней силой;

б – схема нагружения единичной безразмерной силой;

в – вертикальное перемещение

Для определения вертикального перемещения в плоском кривом брусе воспользуемся интегралами Максвелла – Мора [1]:

$$\Delta_{1F} = \sum_{i=1}^n \int_{S_i} \frac{M_{Fi} M_{1i}}{EI_{zi}} dS_i, \quad (1)$$

где Δ_{1F} – перемещение в упругой системе по направлению единичной безразмерной силы, вызванное действием всех внешних сил;

M_{Fi} – уравнение изгибающего момента от внешней нагрузки для i -того участка стойки;

M_{li} – уравнение изгибающего момента от единичной безразмерной силы для i -того участка стойки;

E – модуль упругости материала стойки;

I_{zi} – момент инерции сечения стойки для i -того участка;

S_i – длина дуги на i -том участке стойки.

На стойке выделяем два расчетных участка: $0 \leq \varphi_1 \leq 3\pi/2$, радиус кривизны оси R_1 , жесткость поперечного сечения EI_{z1} ; $0 \leq \varphi_2 \leq \pi$, радиус кривизны оси R_2 , жесткость поперечного сечения EI_{z2} .

Проводим сечение под углом φ_1 (рисунок 1, а) и запишем уравнение изгибающего момента от внешней силы F , которая вызывает на первом участке в начальном сечении продольную силу N и пару сил с моментом M :

$$N = F; \quad M = F(l_V - R_1).$$

Тогда уравнение изгибающего момента от внешней силы представится выражением:

$$M_{F1} = FR_1(1 - \cos \varphi_1) + F(l_V - R_1) = F(R_1(1 - \cos \varphi_1) + l_V - R_1).$$

В сечении стойки, перемещение которого предстоит найти, по его направлению прикладывается единичная безразмерная сила (рисунок 1, б), которая вызывает на первом участке в начальном сечении поперечную силу Q_1 и пару сил с моментом M_1 :

$$Q_1 = 1; \quad M_1 = 1 \cdot (R_2 \sin \alpha_2 + l_H).$$

Тогда уравнение изгибающего момента от единичной безразмерной силы примет вид:

$$M_{11} = R_2 \sin \alpha_2 + l_H + R_1 \sin \varphi_1.$$

Проводим сечение под углом φ_2 (рисунок 1, б) и запишем уравнение изгибающего момента от внешней силы F , которую представим в виде двух составляющих:

$$F_1 = F \cos \alpha_2; \quad F_2 = F \sin \alpha_2;$$

$$M_{F2} = F_1 R_2 (1 - \cos \varphi_2) + F_2 R_2 \sin \varphi_2 = FR_2 (\cos \alpha_2 (1 - \cos \varphi_2) + \sin \alpha_2 \sin \varphi_2).$$

Уравнение изгибающего момента от единичной безразмерной силы, представленной в виде двух составляющих, примет вид:

$$f_1 = 1 \cdot \sin \alpha_2; \quad f_2 = 1 \cdot \cos \alpha_2;$$

$$M_{12} = f_1 R_2 (1 - \cos \varphi_2) - f_2 R_2 \sin \varphi_2 = R_2 (\sin \alpha_2 (1 - \cos \varphi_2) - \cos \alpha_2 \sin \varphi_2).$$

Подставляя полученные выражения $M_{F1}, M_{11}, M_{F2}, M_{12}$, в формулу перемещений (1) и, учитывая, что $dS_i = R_i d\varphi_i$ будем иметь выражение, со-

держашее интегралы Максвелла – Мора, для определения вертикального перемещения носка стойки лапы культиватора

$$\Delta_{\text{верт}} = \int_0^{3\pi/2} \frac{F(R_1(1 - \cos \varphi_1) + l_V - R_1)(R_2 \sin \alpha_2 + l_H + R_1 \sin \varphi_1)}{EI_{z1}} R_1 d\varphi_1 + \\ + \int_0^{\pi} \frac{FR_2(\cos \alpha_2(1 - \cos \varphi_2) + \sin \alpha_2 \sin \varphi_2)}{EI_{z2}} \times \\ \times R_2(\sin \alpha_2(1 - \cos \varphi_2) - \cos \alpha_2 \sin \varphi_2) R_2 d\varphi_2. \quad (2)$$

После интегрирования выражения (2) и подстановки пределов интегрирования соответствующих границам двух расчетных участков получим выражение для определения вертикального перемещения носка стойки лапы культиватора (рисунок 1, в)

$$\Delta_{\text{верт}} = \frac{FR_1^2 \left(R_2 \sin \alpha_2 - 0,5R_1 - \frac{R_2}{R_1} l_V \sin \alpha_2 + l_V + l_H \right)}{EI_{z1}} - \frac{2FR_2^3 \cos 2\alpha_2}{EI_{z2}}. \quad (3)$$

Как видно из выражения (3), вертикальное перемещение носка стойки лапы культиватора возрастает с увеличением нагрузки и размеров, уменьшается, прежде всего, при увеличении осевых моментов инерции поперечных сечений стойки, которые, как известно, зависят от формы и размеров этих сечений. Жесткость стойки лапы культиватора будет обеспечена при условии, что величина полученного перемещения не превышает допустимого значения, установленного агротехникой.

Список использованной литературы

1. Подскребко М.Д. Сопротивление материалов: учебник / М. Д. Подскребко. – Минск: Выш. шк., 2007, – 797 с.: ил.

Summary. An expression for determining the vertical displacement of the toe of the cultivator paw stand is obtained, which can be used to evaluate its rigidity.

УДК 631.312

Мисуно О.И., кандидат технических наук, доцент

Зорин Г.А., студент

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ МАЛОЛИСТОВОЙ РЕССОРЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОРПУСА ПЛУГА

Аннотация. В статье рассмотрен расчет размеров малолистовой рессоры для защиты корпуса плуга, спроектированной как балка равного сопротивления, и определен режим ее работы.

Abstract. This article examines the calculation of the dimensions of a small-leaf spring for protecting a plow body, designed as an equal-strength beam, and determines its operating mode.

Ключевые слова. Плуги, рабочие органы, предохранительные устройства, рессорная защита, размеры малолистовой рессоры, критическая сила.

Keywords. Plows, working parts, safety devices, spring protection, small-leaf spring dimensions, critical force.

В современном сельскохозяйственном машиностроении прослеживается отчетливая тенденция к совершенствованию рабочих и вспомогательных рабочих органов плугов, включая плужные отвалы, лемеха, дисковые ножи, предплужники с целью повышения производительности и качества выполнения технологического процесса вспашки почвы.

Ведущие мировые производители выпускают почвообрабатывающие машины с различными типами предохранительных устройств. Защитные элементы корпусов плугов обеспечивают безопасность функционирования рабочих органов почвообрабатывающих машин при наезде на встречающиеся в почве различного рода препятствия в виде камней, корней и других инородных объектов.

В настоящее время выпускаются плуги с различными типами предохранительных устройств. Наибольшее распространение в конструкции плугов для вспашки почв с наличием естественных природных препятствий получили индивидуальные предохранители рабочих органов: гидropневматические, рессорные, пружинные, срезные болты.

Простой и надежной конструктивной системой предохранения рабочих органов плугов в работе и обслуживании является рессорная защита. Она позволяет корпусам плавно обходить препятствия в почве и автоматически возвращаться в исходное положение, что обеспечивает устойчивость работы корпусов при пахоте. При этом нет необходимости в использовании расходных материалов, применяемых в гидropневматических системах защиты корпусов.

Недостатком рессорной защиты корпусов плуга является их недостаточная жесткость в процессе работы при не больших нагрузках. Тогда рессоры работают по циклу извлечение-заглубление корпусов плуга при наезде на незначительные препятствия, которые не могут привести к повреждению рабочих органов и рессорная защита срабатывает вхолостую, снижая качество вспашки и срок службы.

При использовании защитного элемента с прямоугольным поперечным сечением (классические многолистовые и малолистовые рессоры) рессорный лист начинает деформироваться уже сразу с момента приложения нагрузки. Чтобы исключить срабатывание рессорной защиты при наезде на небольшие препятствия, необходимо оптимизировать размеры листов и режим работы.

Рациональным решением по выбору формы поперечного сечения упругого защитного звена – рессоры, является использование балки равного сопротивления прямоугольного поперечного сечения, у которой, как из-

вестно, перемещения (прогибы) в полтора раза превышают перемещения в балках постоянного по длине сечения. Эффективная работа системы защиты корпусов плуга зависит от конструкции и размеров элементов рессоры, при определении которых необходимо исходя из величины сжимающей силы F при заданной толщине листа найти наибольшую ширину балки равного сопротивления, а затем количество листов в пакете рессоры.

Величина силы F , сжимающей рессору, зависит от конструктивных размеров сборочной единицы (рисунок 1), усилия на корпусе плуга F_d , при котором срабатывает система защиты и равна

$$F = F_d \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{l_p} \cdot \frac{l_d}{l_o} = 3500 \cdot \frac{75}{235} \cdot \frac{940}{100} = 3500 \cdot 3 = 10500 \text{ Н},$$

где F_d – усилие, действующее на корпус, $F_d = 3500 \text{ Н}$;

$l_{\text{ш}}$ – расстояние от оси опоры коромысла до штока, $l_{\text{ш}} = 75 \text{ мм}$;

l_p – расстояние от оси опоры коромысла до оси пальца рессоры, $l_p = 235 \text{ мм}$;

l_d – расстояние от точки соприкосновения с препятствием на корпусе до точки поворота на проушине, $l_d = 940 \text{ мм}$;

l_o – расстояние от точки поворота на проушине до оси штока, $l_o = 100 \text{ мм}$.

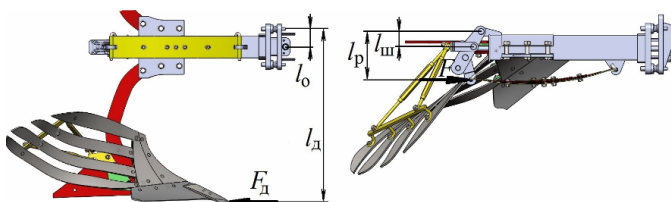


Рисунок 1 – Конструктивные размеры корпуса плуга

Для изготовления рессоры используем сталь 65С2ВА ГОСТ 14959-2016 (предел прочности $\sigma_b = 1860 \text{ МПа}$; предел текучести $\sigma_t = 1665 \text{ МПа}$). Принимая стандартную высоту сечения листа рессоры $h = 4,5 \text{ мм}$, длину рессоры $l = 700 \text{ мм}$, коэффициент безопасности $[n] = 1,4$ определим наибольшую ширину балки равного сопротивления b из условия прочности [1]:

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{bh} \left(1 + \frac{6}{h} \left(\frac{e}{\cos \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{F}{F_k}} \right)} + \frac{a}{\left(1 - \frac{F}{F_k} \right)} \right) \right) \leq [\sigma] = \frac{\sigma_t}{[n]}, \quad (1)$$

где h – высота поперечного сечения (толщина листа);

e – эксцентриситет приложения силы, $e = 5 \text{ мм}$;

a – начальная кривизна рессоры, $a = 5$ мм;
 $[\sigma]$ – допускаемое напряжение на сжатие;
 F_k – критическая сила.

Критическая сила для сжатого стержня, шарнирно закрепленного по концам, определяется по формуле Эйлера

$$F_k = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l^2} = \frac{\pi^2 E}{l^2} \cdot \frac{bh^3}{12} K_c;$$

где K_c – расчетный коэффициент снижения осевого момента инерции сечений балки равного сопротивления, $K_c = 1/1,5 = 0,667$.

E – модуль упругости материала, $E = 215000$ МПа.

Выразить из уравнения (1), ширину балки при заданных параметрах весьма затруднительно. Поэтому для выхода из создавшейся ситуации была разработана в многофункциональной интегрированной среде Delphi программа, позволяющая выполнить подобный расчет.

В результате расчета получена наибольшая ширина балки равного сопротивления равная $b = 600$ мм (рисунок 2).

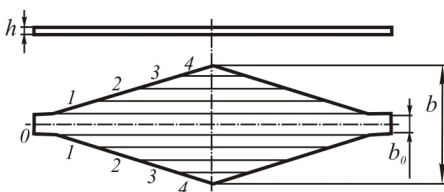


Рисунок 2 – Балка равного сопротивления

Разделяя b на ширину одного листа $b_0 = 120$ мм собирается рессора из 5 листов (рисунок 3).

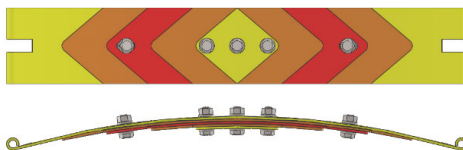


Рисунок 3 – Рессора для защиты корпуса плуга

Для спроектированной рессоры, принимая во внимание соотношение (1), построим и исследуем графические зависимости наибольшего напряжения $\sigma_{\max}$ от сжимающей силы F (рисунок 4, а), наибольшего прогиба f от сжимающей силы F (рисунок 4, б).

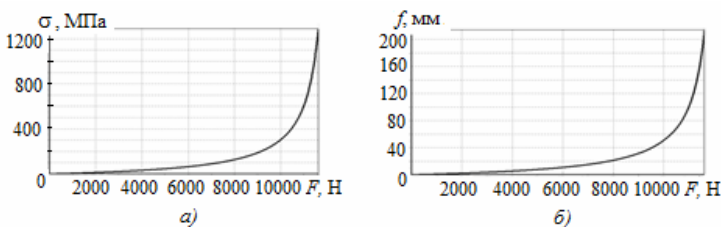


Рисунок 4 – Зависимость наибольшего напряжения $\sigma_{\max}$ (а), наибольшего прогиба f (б) от сжимающей силы F

Собранная рессора устанавливается на корпус плуга и регулировочным винтом за счет изменения длины и угла расположения тяг привода предварительно создается номинальная сжимающая нагрузка величиной $F_n = 10000$ Н, что составляет примерно 80 % от критической силы $F_k = 12240$ Н. При этом наибольший прогиб рессоры составит $f = 50$ мм.

При взаимодействии корпуса плуга с препятствием, когда резко возрастает нагрузка на рессору до $F = 11600$ Н (95 % от критической силы) наибольшие напряжения равны $\sigma_{\max} = 1150$ МПа (рисунок 4, а), что меньше допустимых напряжений $[\sigma] = \sigma_T / [n] = 1665 / 1,4 = 1190$ МПа. При этом величина наибольшего прогиба рессоры f составляет примерно 200 мм (рисунок 4, б). Тогда точка соприкосновения корпуса с препятствием переместится на расстояние равное

$$l = f \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{l_p} \cdot \frac{l_d}{l_o} = 200 \cdot \frac{75}{235} \cdot \frac{940}{100} = 600 \text{ мм},$$

что достаточно для выхода корпуса плуга из пахотного горизонта и предотвращения повреждений рабочего органа.

Рессоры с полученными по данной методике параметрами обеспечат качественную работу плуга и извлечение корпусов из почвы при наезде на препятствие, столкновение с которым может привести к повреждению элементов плуга, когда нагрузка достигает более 80 % от критического значения.

Список использованной литературы

1. Мисуно, О.И. Определение параметров рессор для защиты корпусов плугов / О.И. Мисуно // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Международной научно-практической конференции, Минск, 16-17 октября 2024 г. : в 2 ч. – Минск : БГАТУ, 2024, - Ч.2. – С 47-50.

Summary. Springs with parameters obtained using this method will ensure high-quality operation of the plow and the extraction of bodies from the soil when hitting an obstacle, a collision with which can lead to damage to the plow components when the load reaches more than 80% of the critical value.

Орда А.Н., доктор технических наук, профессор;

Шкляревич В.А., старший преподаватель;

Ракова Н.Л., кандидат технических наук, доцент;

Пантелеева Ж.И., кандидат физико-математических наук

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ПОВЫШЕНИЕ ТЯГОВОГО КПД СДВАИВАНИЕМ КОЛЕСНЫХ ХОДОВЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В статье рассмотрен один из наиболее эффективных способов повышения тягового КПД – сдваивание колесных ходовых систем.

Abstract. The article considers one of the most effective ways to increase traction efficiency – doubling of wheeled running systems.

Ключевые слова. Тяговый КПД, ходовая система, буксование, касательная сила тяги, сила сопротивления качению.

Keywords. Traction efficiency, running system, skidding, traction tangent force, rolling resistance force.

Тяговый КПД и его составляющие могут быть представлены функциями многих переменных, таких как мощность, развиваемая двигателем, масса машины, наружный диаметр шины колеса, ширина шины колеса, площадь контакта шины колеса с почвой, давление воздуха в шине, скорость движения машины, тяговое усилие на крюке.

Из теории трактора известно, что тяговый КПД в зависимости от тягового усилия на крюке имеет один максимум, т. е. для каждого типоразмера шин трактора имеется оптимальное крюковое усилие, при котором он развивает оптимальные тягового-сцепные качества и экономичность.

В качестве основного критерия оптимизации и совершенства ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники принят тяговый КПД, который для случая равномерного установившегося движения по горизонтальной поверхности определяется по формуле [1]:

$$\eta_{\text{тяг}} = \eta_{\text{тр}} \cdot \eta_r \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_f, \quad (1)$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – механический КПД, учитывающий потери энергии при передаче мощности в трансмиссии (при современном уровне изготовления шестерен $\eta_{\text{тр}} = 0,95 \dots 0,99$; η_r – КПД, учитывающий потери мощности в ходовом аппарате (для современных шин различной конфигурации $\eta_r = 0,97-0,99$); η_{δ} – КПД, учитывающий потери мощности на буксование движителей:

$$\eta_{\delta} = 1 - \delta, \quad (2)$$

где δ – коэффициент буксования движителя; η_f – КПД, учитывающий потери мощности на сопротивление движению:

$$\eta_f = 1 - \frac{F_f}{F_{кр} + F_f} = 1 - \frac{F_f}{F_k}, \quad (3)$$

где F_f – сила сопротивления качению; $F_{кр}$ – тяговое усилие на крюке; F_k – касательная сила тяги.

Таким образом, после подстановки составляющих тягового КПД, определяемых по формулам (2) и (3), зависимости (1) примет вид:

$$\eta_{тяг} = \eta_{гр} \cdot \eta_r (1 - \delta) \left(1 - \frac{F_f}{F_k} \right). \quad (4)$$

Мощность, развиваемая двигателем мобильной сельскохозяйственной машины, передается через трансмиссию на движитель и преобразуется в касательную силу тяги машины. Проходимость, то есть тягово-цепные свойства машины, тем выше, чем больше касательная сила тяги, которую способен развить её движитель, и чем меньше сила сопротивления качению машины.

Произведение составляющих тягового КПД $\eta_{гр} \cdot \eta_r$ оценивает совершенство конструкции трансмиссии и ходовой системы, а произведение $\eta_\delta \cdot \eta_f$ – проходимость и совершенство тягово-цепных свойств почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов. И если первые две составляющие тягового КПД имеют определенные и близкие по величине значения, то η_δ и η_r изменяются в широких пределах и зависят от режимов работы, конструктивных параметров сельскохозяйственной машины, а также физико-механических свойств почвы. Поэтому наибольшее влияние на общий тяговый КПД оказывают именно η_δ и η_f , которые определяются процессом взаимодействия движителя с его опорной поверхностью – почвой.

Тяговый КПД и его составляющие могут быть представлены функциями многих переменных (параметров почвообрабатывающего машинно-тракторного агрегата), таких как мощность, развиваемая двигателем, масса машины, наружный диаметр шины колеса, ширина шины колеса, площадь контакта шины колеса с почвой, давление воздуха в шине, скорость движения машины, тяговое усилие на крюке, т.е.

$$\eta_{тяг} = f(N_e, m_m, d_{шн}, b_{ш}, A_{кп}, p_w, \vartheta, F_{кр}), \quad (5)$$

где N_e – мощность, развиваемая двигателем; m_m – масса машины; $d_{шн}$ – наружный диаметр шины колеса; $b_{ш}$ – ширина протектора шины колеса; $A_{кп}$ – площадь контакта протектора шины с почвой; p_w – давление воздуха в шине; ϑ – скорость поступательного движения.

Из теории трактора [1] известно, что тяговый КПД в зависимости от тягового усилия на крюке имеет один максимум, т. е. для каждого типоразмера шин трактора имеется оптимальное крюковое усилие, при котором он развивает оптимальные тягово-цепные качества и экономич-

ность. При проектировании трактора перед конструкторами, как правило, стоят две задачи: при заданных тяговом классе (тяговое усилие на крюке) и скоростном режиме (диапазон скоростей для выполнения технологической операции) необходимо определить его оптимальные конструктивные параметры, соответствующие принятым условиям; при заданных конструктивных параметрах проектируемого трактора необходимо определить диапазон крюковых нагрузок, при котором будет обеспечен его максимальный тяговый КПД.

На основании изложенного в качестве примера определим значения тягового КПД задних колес трактора «Беларус 82.1», оборудованного одинарными и сдвоенными движителями с заводскими типоразмерами шин – 15,5R38. Затем по результатам расчетов проведем сравнительный анализ и дадим оценку влияния режимов работы (буксование движителей), компоновки ходовых систем и физико-механических свойств почвы на тяговый КПД задних колес рассматриваемого трактора.

Согласно зависимости (4) при заданном буксовании на величину тягового КПД оказывают влияние сила сопротивления качению и касательная сила тяги, приложенные к движителю.

Величину силы сопротивления качению при однократном проходе движителя по поверхности почвы определим согласно зависимости, предложенной профессором А.Н. Ордой [2]:

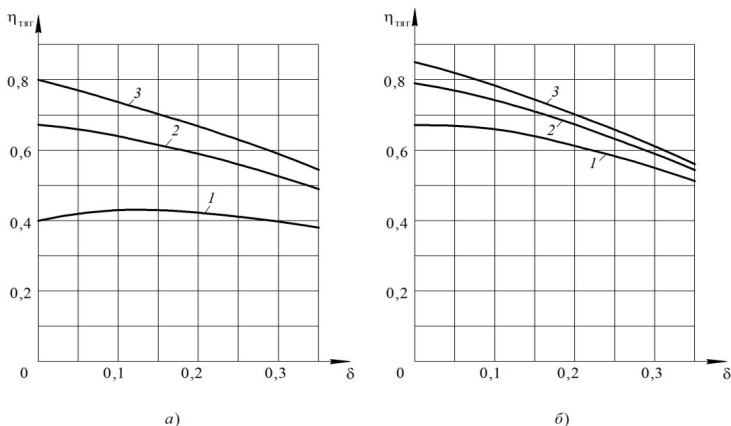
$$F_f = b \cdot \frac{p_0^2}{k} \ln \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{p_0}\right)^2}}. \quad (5)$$

Величину касательной силы тяги, при которой происходит срез почвы почвозацепами движителя, найдем согласно зависимости [3]:

$$F_k = G \left(f_{\text{тс}} \operatorname{th} \left(\frac{\delta t_n}{k_{\text{т}}} \right) + f_{\text{тп}} \right), \quad (6)$$

где – G – вертикальная нагрузка на колесо; $f_{\text{тс}}$ – коэффициент трения скольжения опорной поверхности движителя о почву; t_n – шаг между почвозацепами; $k_{\text{т}}$ – коэффициент деформации сдвига; $f_{\text{тп}}$ – коэффициент трения покоя, учитывающий силы трения и сцепления движителя с почвой.

Графическая зависимость тягового КПД от буксования задних колес трактора «Беларус 82.1», оборудованного одинарными и сдвоенными движителями, согласно формуле (4) с учётом зависимостей (5) и (6) для различных почвенных агрофонов представлена на рисунке 1. Следует отметить, что при определении тягового КПД колес по зависимости (4) не учитывался механический КПД ($\eta_{\text{тр}}$). При расчетах принимались параметры колес с шиной 15,5R38, приведенные в [4].



1 – рыхлая почва; 2 – почва средней плотности; 3 – почва высокой плотности.

Рисунок 1 – Зависимость тягового КПД от буксования одинарных (а) и сдвоенных (б) задних колес трактора «Беларус» 82.1 с шинами 15,5R38

Расчеты, проведенные по зависимости (5), показали, что сдвигание задних колес трактора «Беларус 82.1» повышает тяговый КПД на всех рассмотренных почвенных агрофонах и в большинстве рассмотренных случаях снижается с ростом буксования движителя. Экстремум тягового КПД при заданных параметрах, режимах работы и свойствах почвы выделяется лишь для случая, когда трактор «Беларус 82.1» с задними одинарными колесами движется по рыхлой почве при буксовании $\delta = 0,12-0,14$.

Заключение. Для повышения тягового КПД ходовых систем тракторов, входящих в состав почвообрабатывающих МТА, можно использовать простой и доступный, повсеместно применяемый конструктивный способ сдвигания колес, при этом необходимо ограничивать буксование движителей.

Список использованной литературы

1. Гуськов, А.В. Оптимизация потребительских свойств и параметров колесных тракторов семейства «Беларус» : монография / А.В. Гуськов ; под ред. д-ра техн. наук, проф. В.П. Бойкова. – Могилев : Белорус. ун-т, 2008. – 210 с.
2. Орда, А.Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов : дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / А.Н. Орда ; Бел. агр. техн. ун-т. – Минск, 1997. – 269 с.
3. Шкляревич, В. А. Исследование показателей тягово-сцепных свойств движителя / В. А. Шкляревич // Агропанорама. – 2020. – № 6. – С. 9–14.
4. Орда, А.Н. Определение показателей уплотняющего воздействия на почву ходовых систем колесных тракторов / А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, А.С. Воробей // Агропанорама. – 2016. – № 3. – С. 6–12.

Summary. The article discusses one of the most effective ways to increase traction efficiency - doubling wheel running systems.

Орда А.Н., доктор технических наук, профессор;

Шкляревич В.А., старший преподаватель;

Ракова Н.Л., кандидат технических наук, доцент;

Пантелеева Ж.И., кандидат физико-математических наук

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

СИЛОВОЙ РАСЧЕТ ПАХОТНЫХ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Аннотация. В статье получены зависимости, позволяющие определить нормальные реакции почвы на движители трактора входящего в состав пахотного машинно-тракторного агрегата.

Abstract. In the article, dependencies are obtained that make it possible to determine the normal reactions of the soil to the propulsors of the tractor included in the arable machine-tractor unit.

Ключевые слова. Нормальная реакция почвы, пахотный машинно-тракторный агрегат, колесный трактор, сельскохозяйственная машина.

Keywords. Normal soil reaction, arable machine-tractor unit, wheeled tractor, agricultural machine.

Большинство технологических операций возделывания сельскохозяйственных культур выполняются почвообрабатывающими машинно-тракторными агрегатами (МТА), в состав которых входит трактор и сельскохозяйственная машина. В растениеводстве наибольшая доля расхода топлива приходится на вспашку. Она требует энергозатрат до 800 МДж/га (222 кВт·ч/га) при расходе топлива 11...20 кг/га, что составляет около 50 % от всех механизированных полевых работ [1, 2]. В последние годы в Республике Беларусь намечается тенденция перехода от ежегодной вспашки на всю глубину пахотного горизонта, к чередованию вспашки с другими, менее энергоемкими приемами основной обработки или даже к полному отказу от вспашки. Такой подход к основной обработке почвы экономически обоснован и широко практикуется во многих зарубежных странах. Однако, при снижении энергозатрат на основную обработку увеличивается доля энергозатрат на предпосевную обработку и посев, что является стимулом к снижению энергоемкости этих технологических операций.

Под воздействием ходовых систем тракторов, предназначенных для реализации тягово-сцепных свойств через их взаимодействие с опорным основанием, происходит чрезмерное уплотнение почвы [5, 6, 7], которое отрицательно сказывается на ее плодородии и приводит к росту затрат на производство продукции растениеводства [1, 2].

Цель исследования – получение зависимостей, позволяющих определить нормальные реакции почвы на движители трактора в зависимости от сил, действующих на пахотный машинно-тракторный агрегат, а также его конструктивных и технологических параметров.

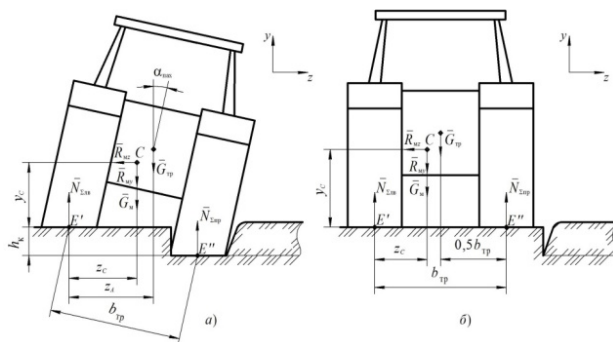
Отличительной особенностью работы пахотного машинно-тракторного агрегата, в состав которого входит колесный трактор и навесной пахотный агрегат (рисунок 1), является наклон трактора в поперечной вертикальной плоскости под углом $\alpha_{\text{пах}}$, вызванный движением правых колес по дну борозды, образованной за предыдущий проход МТА, а левых – по поверхности необработанного поля. Вследствие чего, вертикальные нагрузки, а, следовательно, и реакции почвы на правые и левые колеса трактора распределяются неравномерно – правые колеса нагружаются больше левых (рисунок 1, а). К тому же, неравномерность распределения нормальных реакций почвы на правые и левые колеса трактора усугубляется воздействием вертикальных нагрузок ($G_{\text{м}}$ и $R_{\text{м}y}$), оказываемых пахотным агрегатом.

Уравнение равновесия сил, действующих на пахотный МТА в поперечной вертикальной плоскости, согласно которому определяется суммарные нормальные реакции почвы на все колеса трактора, записывается в следующем виде:

$$\sum F_y = 0;$$

$$N_{\Sigma\text{лв}} + N_{\Sigma\text{пр}} = G_{\text{тр}} + G_{\text{м}} + R_{\text{м}y}, \quad (1)$$

где $N_{\Sigma\text{лв}}$ – суммарная нормальная реакция почвы на левые колеса трактора; $N_{\Sigma\text{пр}}$ – суммарная нормальная реакция почвы на правые колеса трактора; $G_{\text{м}}$ – вес сельскохозяйственной машины; $G_{\text{тр}}$ – вес трактора; $R_{\text{м}}$ – тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины.



a – правые колеса трактора в борозде; b – правые колеса трактора вне борозды
Рисунок 1 – Схема сил, действующих на пахотный машинно-тракторный агрегат, в поперечной вертикальной плоскости

Суммарная нормальная реакция почвы на правые колеса трактора $N_{\Sigma\text{пр}}$ определяется из уравнения моментов сил, действующих на пахотный МТА в поперечной вертикальной плоскости, относительно точки E' (рисунок 1, а):

$$\sum M_{E'}(\bar{F}_i) = 0; \quad (2)$$

$$N_{\Sigma\text{пр}} b_{\text{тр}} \cos \alpha_{\text{пах}} - G_{\text{тр}} z_A - R_{\text{мy}} z_C - G_{\text{м}} z_C + R_{\text{мz}} y_C = 0,$$

где $b_{\text{тр}}$ – ширина колеи трактора.

Откуда

$$N_{\Sigma\text{пр}} = \frac{G_{\text{тр}} z_A + (R_{\text{мy}} + G_{\text{м}}) z_C - R_{\text{мz}} y_C}{b_{\text{тр}} \cos \alpha_{\text{пах}}}. \quad (3)$$

Из уравнения моментов сил, действующих на пахотный МТА в поперечной вертикальной плоскости, относительно точки E'' определяется суммарная нормальная реакция почвы на левые колеса трактора $N_{\Sigma\text{лв}}$ (рисунок 1, а):

$$\sum M_{E''}(\bar{F}_i) = 0;$$

$$-N_{\Sigma\text{лв}} b_{\text{тр}} \cos \alpha_{\text{пах}} + G_{\text{тр}} (b_{\text{тр}} \cos \alpha_{\text{пах}} - z_A) + R_{\text{мz}} (y_C + h_k) + \quad (4)$$

$$+ R_{\text{мy}} (b_{\text{тр}} \cos \alpha_{\text{пах}} - z_C) + G_{\text{м}} (b_{\text{тр}} \cos \alpha_{\text{пах}} - z_C) = 0,$$

где h_k – глубина правой колеи, м.

Откуда

$$N_{\Sigma\text{лв}} = \frac{G_{\text{тр}} (b_{\text{тр}} \cos \alpha_{\text{пах}} - z_A) + R_{\text{мz}} (y_C + h_k) + (R_{\text{мy}} + G_{\text{м}}) (b_{\text{тр}} \cos \alpha_{\text{пах}} - z_C)}{b_{\text{тр}} \cos \alpha_{\text{пах}}}. \quad (5)$$

Суммарная нормальная реакция почвы на правые колеса трактора, движущегося вне борозды, определяется из уравнения моментов сил, действующих на пахотный МТА в поперечной вертикальной плоскости, относительно точки E' (рисунок 1, б):

$$\sum M_{E'}(\bar{F}_i) = 0;$$

$$N_{\Sigma\text{пр}} b_{\text{тр}} - G_{\text{тр}} 0,5 b_{\text{тр}} - R_{\text{мy}} z_C - G_{\text{м}} z_C + R_{\text{мz}} y_C = 0. \quad (6)$$

Откуда

$$N_{\Sigma\text{пр}} = \frac{G_{\text{тр}} 0,5 b_{\text{тр}} + (R_{\text{мy}} + G_{\text{м}}) z_C - R_{\text{мz}} y_C}{b_{\text{тр}}}. \quad (7)$$

Суммарная нормальная реакция почвы на левые колеса трактора, движущегося вне борозды, определяется из уравнения моментов сил, действующих на МТА в поперечной вертикальной плоскости, относительно точки E'' (рисунок 1, б):

$$\sum M_{E''}(\bar{F}_i) = 0; \quad (8)$$

$$-N_{\Sigma\text{лв}} b_{\text{тр}} + G_{\text{тр}} 0,5b_{\text{тр}} + R_{\text{мв}}(b_{\text{тр}} - z_c) + G_{\text{м}}(b_{\text{тр}} - z_c) + R_{\text{мз}} y_c = 0.$$

Откуда

$$N_{\Sigma\text{лв}} = \frac{G_{\text{тр}} 0,5b_{\text{тр}} + (R_{\text{мв}} + G_{\text{м}})(b_{\text{тр}} - z_c) + R_{\text{мз}} y_c}{b_{\text{тр}}}. \quad (9)$$

Зависимости (3), (5), (7) и (9), полученные при тяговом расчете пахотного машинно-тракторного агрегата под действием сил, действующих на него в вертикальной поперечной плоскости, позволяют определить суммарные нормальные реакции почвы на правые $N_{\Sigma\text{пр}}$ и левые $N_{\Sigma\text{лв}}$ колеса трактора, движущегося как с наклоном, так и горизонтально относительно обрабатываемой поверхности поля, а также оценить влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных параметров пахотного МТА на неравномерность распределения вертикальных нагрузок на движители трактора[3; 4].

Полученные значения нормальных реакций почвы на колеса трактора и неравномерность их распределения определяют уплотняющее воздействие МТА на почву, а также влияют на тягово-сцепные свойства, управляемость и устойчивость МТА. Сравнительный анализ зависимостей (3) и (5) позволяет однозначно установить превышение суммарных нормальных реакций почвы на правые колеса над суммарными нормальными реакциями почвы на левые колеса трактора ($N_{\Sigma\text{пр}} > N_{\Sigma\text{лв}}$), что создает дополнительное уплотняющее воздействие на почву правых колес трактора, перемещающихся по дну борозды.

Список использованной литературы

1. Кушнарев, А.С. Механико-технологические основы обработки почвы / А.С. Кушнарев, В.И. Кочев. – Киев : Урожай, 1989. – 144 с.
2. Севернев, М.М. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве / М.М. Севернев. – Минск : Ураджай, 1994. – 222 с.
3. Шкляревич, В.А. Определение нормальных реакций почвы на движители почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов / В. А. Шкляревич // Агропанорама. – 2024. – № 3. – С. 11–16.
4. Орда, А.Н. Уплотняющее воздействие ходовых систем машинно-тракторных агрегатов на почву / А.Н. Орда, В.А. Шкляревич // Современные проблемы и пути развития технического сервиса в АПК : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–25 ноября 2022 г. / Бел. гос. агр. техн. ун-т. – Минск, 2022. – С. 286–292.
5. Влияние параметров ходовых систем колесных машин на изменение плотности почвы / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, И.С. Крук, А.Н. Орда, Р.Р. Галимов, К.Ю. Максимович, С.А. Войнаш, А.А. Лучинович // Тракторы и сельхозмашины. – 2021. – №5 – С. 30–37. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-5-30-37.

6. Закономерности накопления повторных осадков почвы при воздействии ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, А.Н. Орда, В.А. Шклярович, А.С. Воробей // Агропанорама. – 2014. – № 6. – С.2–7.

7. Влияние числа осей колесных транспортно-тяговых машин на сопротивление качению / И.Н.Шило, Н.Н.Романюк, А.Н.Орда, В.Г.Кушнир // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – №1 – С. 41–46.

Summary. Relationships were obtained that make it possible to determine normal soil reactions to tractor propulsors depending on the forces acting on the arable machine-tractor unit, as well as its structural and technological parameters.

УДК 631.348:632.95

Крук И.С., кандидат технических наук, доцент;

Ракова Н.Л., кандидат технических наук, доцент;

Пантелеева Ж.И., кандидат физико-математических наук;

Анищенко А.А., ассистент; **Зорин Г.А.**, студент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

СНИЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОТЕРЬ ПЕСТИЦИДОВ

Аннотация. В статье рассмотрен способ снижения потерь пестицидов (сноса частиц ветром от обрабатываемого объекта) путем изменения угла наклона форсунки к горизонтальной оси в сторону ветру.

Abstract. The article considers a way to reduce pesticide losses (wind removal of particles from the treated object) by changing the angle of inclination of the nozzle to the horizontal axis towards the wind.

Ключевые слова. Производственные и непроизводственные потери пестицидов, снос ветром, ветрозащитные устройства, угол наклона форсунки, модель движения капель.

Keywords. Industrial and non-industrial losses of pesticides, wind drift, wind protection devices, nozzle angle, droplet movement model.

Внесение средств защиты растений методом опрыскивания, ввиду воздействия многочисленных факторов, таких как: условия окружающей атмосферы, техническое состояние узлов и агрегатов опрыскивателей, а также человеческого фактора, неизбежно сопровождается потерями: экономического (затраты на закупку новых партий пестицидов, утилизацию испорченных, ликвидацию последствий загрязнения), экологического (загрязнение почвы, воды, воздуха, гибель растений и животных, нарушение биологического разнообразия, угроза здоровью человека (попадание пестицидов в питьевую воду, продукты питания, в организм человека при вдыхании паров или через кожу, что может привести к отравлениям, заболеваниям и другим негативным последствиям)) характеров. В источниках

литературы, описывающих проблему потерь пестицидов, можно встретить такие понятия, как «непроизводственные» и «производственные» потери пестицидов.

К непроизводственным потерям можно отнести потери, связанные с конструкцией технических средств, и возникающего со временем износа их узлов и агрегатов: рукавов, вентилях, насосов и т.п., вплоть до их отказов.

Производственные (операционные) потери представляют собой потери во время проведения непосредственно самой технологической операции по применению средств химической защиты растений, которые в свою очередь могут возникать при подготовке рабочего раствора, его заправках и непосредственного внесения на растения (наиболее значительные). Такие потери в определенной степени можно считать неизбежными, однако, развитие технологий и технических средств за последние десятилетия позволили значительно минимизировать величину таких потерь.

Во время подготовки рабочего раствора, часть пестицида может остаться на стенках самой тары, затрудняя его полное извлечение, а также произойти его утечка при опорожнении или ополаскивании самой тары. При заправке емкостей опрыскивателей, а также перевозке растворов в них, могут наблюдаться утечки из соединений различных гидравлических узлов, шлангов, насосов, а также переливы через край емкостей.

Во время непосредственного внесения растворов пестицидов потери могут возникать вследствие: сноса капель (перенос капель ветром), испарения с обработанной поверхности (особенно летучих препаратов), неравномерности распределения рабочей жидкости вдоль линии движения опрыскивателя и по ширине его штанги, скатывания крупных капель с обрабатываемой поверхности на почву, огрехов и перекрытия соседних проходов [1, 2].

При установке штанги с гидравлическими распылителями на высоте 0,5 м над обрабатываемой поверхностью, влажности воздуха 65–70 %, температуре воздуха 20 °С и скорости ветра 2 м/с от 30 до 40 % капель рабочего раствора уносится за пределы обрабатываемого объекта. Кроме того, капли диаметром 80 мкм при скорости ветра 2 м/с сносятся на 5,9 м, а при 4 м/с – уже на 14,7 м. Капли диаметром 200 мкм соответственно на 1,4 и 3,5 м, а капли диаметром 400 мкм – на 0,6 м и 1,6 м соответственно [3].

Использование воды в качестве растворителя активного вещества препарата приводит к тому, что капли диаметром 100 мкм при температуре 32 °С, влажности воздуха 46 % и скорости ветра 1–2 м/с теряют от испарения 50 % массы [3]. Кроме этого, следует отметить особую сложность проведения экспериментальных исследований в постоянно изменяющихся условиях и поддержании постоянных параметров окружающей среды.

Неравномерность распределения рабочей жидкости вдоль штанги опрыскивателя характеризуется коэффициентом вариации. На каждый про-

цент неравномерности распределения рабочей жидкости приходится 0,4 % (по объему) его непроизводительного использования, то есть если опрыскиватель распределяет рабочую жидкость с коэффициентом вариации 20 %, то около 8 % раствора пестицида теряется. При изменении высоты штанги относительно оптимального значения всего на 10 см, расход рабочей жидкости в зоне перекрытия увеличивается на 40 %, а в остальной зоне снижается на 30 % [4].

Капли большего диаметра меньше подвержены сносу, но при этом обладают меньшей удерживаемостью на обрабатываемых поверхностях растений, и, скатываясь на почву, снижают эффективность химической защиты.

К основным мероприятиям, направленным на снижение производственных потерь пестицидов можно отнести: применение современных распылителей с низким уровнем сноса, применение электронных систем контроля и управления процессом опрыскивания (технологии точного земледелия), применение электростатического опрыскивания и магнитных технологий, а также применение различного рода ветрозащитных устройств, среди которых перспективным является разработка комбинированных ветрозащитных устройств. В дальнейшем, это направление привело к гипотезе, согласно которой изменение такого технологического параметра как угол наклона распылителя способен компенсировать величину сносимого пестицида от обрабатываемого объекта, а также повысить равномерность внесения рабочего раствора [5].

В связи с этим для прогнозирования картины распределения капель раствора пестицида при различных атмосферных условиях необходимо смоделировать движения капель в воздушной среде, способных изменить угол вылета между вектором начальной скорости и горизонтальной осью (рис. 1а, б) [6, 7].

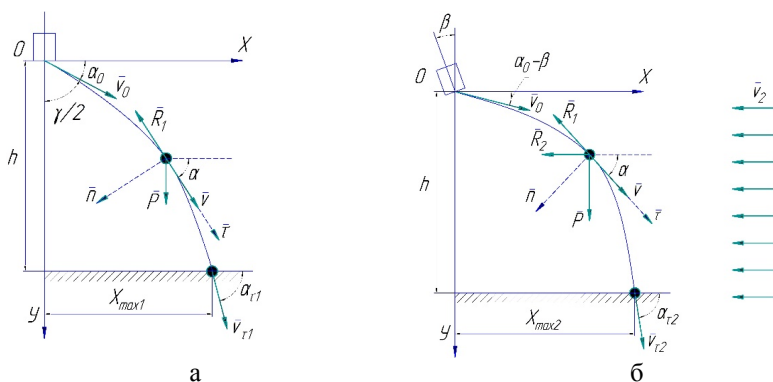


Рисунок 1 - Схемы к определению кинематических параметров падения капли неподвижного (а), и подвижного (б) распылителей

Решим задачу на определение координаты дальности полета капли в зависимости от угла наклона распылителя. Капли раствора пестицидов вылетают из распылителя, угол при вершине факела распыла который равен γ (в задаче половина угла факела $\gamma/2$). В нашем случае начальный угол вылета капли α_0 связан с углом $\gamma/2$ следующим соотношением

$\gamma/2 = 90^\circ - \alpha$. Составим дифференциальное уравнение движение для случая, когда капля вылетает из форсунки с начальной скоростью v_0 , направленной под углом α_0 к горизонтали, без учета влияния ветра (рис. 1а).

В данном случае на каплю действуют: сила тяжести $\overline{P} = m\overline{g}$, сила сопротивления неподвижного воздуха, пропорциональная квадрату скорости $\overline{R}_1 = 1/2 C \rho S v^2$, C – аэродинамический коэффициент (для шара в условиях двухфазного турбулизованного потока $C = 0,5$); S – площадь миделевого сечения капли; v – скорость частицы, ρ – плотность воздуха.

Запишем дифференциальное уравнение движение частицы в векторной форме:

$$m\overline{a} = \overline{P} + \overline{R}_1 \quad (1)$$

Спроецировав его на оси естественного трехгранника (оси $\overline{n}$ и $\overline{\tau}$, рис. 1а), получим:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - mgbv^2, \quad (2)$$

$$m \frac{v^2}{\rho} = mg \cos \alpha, \quad (3)$$

где $b = \left[\frac{1}{2} C \rho S \right]$, ρ – радиус кривизны траектории в данной точке

Радиус кривизны можно выразить из соотношений

$$\rho = -\frac{dl}{d\alpha} = -\frac{dl}{dt} \cdot \frac{dt}{d\alpha} = -v \frac{dt}{d\alpha} \quad (4)$$

Знак (–) потому, что $-\alpha_{r1} \leq \alpha \leq \alpha_o \leq 0$

С учетом (4) уравнение (3) принимает вид:

$$-v \frac{d\alpha}{dt} = g \cos \alpha. \quad (3^*)$$

Разделив (2) на уравнение (3*), получим:

$$\frac{dv}{d\alpha} + \operatorname{ctg} \alpha \cdot v = \frac{bv^3}{\sin \alpha} \quad (5)$$

Решая данное дифференциальное уравнение (5) получим зависимость скорости, времени, высоты и дальности полета частицы в любой момент времени от угла наклона между вектором скорости и горизонтальной осью.

Дальность полета капли $x_{\max 1}$ в зависимости от начальной скорости и угла вылета капли равна:

$$x_{\max 1} = -\frac{1}{g} \cdot \int_{\alpha_0}^{\alpha_{\tau 1}} \frac{\cos^2 \alpha d\alpha}{C_1 - 2b \sin \alpha},$$

где C_1 – постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий $v(\alpha_0) = v_0$, α_0 – угол между вектором начальной скорости и горизонталью, $\alpha_{\tau 1}$ – угол между вектором скорости и горизонталью в момент падения капли, который определяется из уравнения:

$$h = \frac{1}{g} \cdot \int_{\alpha_0}^{\alpha_{\tau 1}} \frac{\sin \alpha \cos \alpha d\alpha}{C_1 - 2b \sin \alpha},$$

где h – высота установки распылителя над объектом обработки

Для определения координаты дальности полета частицы с учетом влияния ветра, в уравнение (1) добавим силу скоростного потока (ветра) $\overline{R_2} = 1/2 C_p S v_2^2$, где v_2 – скорость ветра:

$$m \overline{a} = \overline{P} + \overline{R_1} + \overline{R_2} \quad (6)$$

Спроецировав его на оси естественного трехгранника (оси $\overline{n}$ и $\overline{\tau}$, рис. 1б), получим уравнения:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - amg \cos \alpha - mg \varphi(v), \quad (7)$$

$$m \frac{v^2}{\rho} = mg \cos \alpha + mga \sin \alpha = mg (\cos \alpha + a \sin \alpha), \quad (8)$$

где $a = \left[\frac{1}{2} C_p S v_2^2 \right]$.

Решая систему уравнений (7) и (8), получим зависимость координаты $x_{\max 2}$ дальности полета частицы от начальной скорости и угла вылета частицы, а также от влияния ветра:

$$x_{\max 2} = -\frac{1}{g} \cdot \int_{\alpha_0 - \beta}^{\alpha_{\tau 2}} \frac{\cos \alpha (\sin \alpha + a \cos \alpha) d\alpha}{C_2 - 2b (\sin \alpha - a \cos \alpha)} \quad (9)$$

Чтобы компенсировать потери частиц от ветра, необходимо решить условие, при котором дальность полета частицы для случаев с ветром $x_{\max 1}$ и без ветра $x_{\max 2}$ были бы равны:

$$x_{\max 1} \leq x_{\max 2} \quad (10)$$

$$\int_{\alpha_0}^{\alpha_{r1}} \frac{\cos^2 \alpha d\alpha}{C_1 - 2b \sin \alpha} \leq \int_{\alpha_0 - \beta}^{\alpha_{r2}} \frac{\cos \alpha (\sin \alpha + a \cos \alpha) d\alpha}{C_2 - 2b (\sin \alpha - a \cos \alpha)}$$

Из уравнения (10) определяем значение угла β , который показывает на какую величину угла необходимо отклонить распылитель к горизонтальной оси, чтобы, чтобы компенсировать величину сноса капель ветром.

Выводы по статье. Проведенные теоретические исследования позволили обосновать методику определения оптимального угла наклона распылителя β . Установлено, что искомым параметр описывается трансцендентным уравнением (10), не имеющим аналитического решения. Дальнейшее развитие работы будет направлено на реализацию численных методов поиска корней данного уравнения с заданной степенью точности [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Список использованных источников

1. Клочков, А. В. Механизация химической защиты растений : монография / А. В. Клочков, А. Е. Маркевич. – Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2008. – 228 с.
2. Крук, И. С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей / И. С. Крук, Т. П. Кот, О. В. Гордеенко. – Минск: БГАТУ, 2015. – 284 с.
3. Защита растений в устойчивых системах землепользования: в 4 кн. / под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск : Орех, 2004. – Кн. 4. – 374 с.
4. Lechler. Теория и практика опрыскивания 2010. – Lechler, 2010. – 19 с.
5. Патент ВУ 24483, МПК А 01М 7/00 (2006.1). Штанговый опрыскиватель : N а 20230040 ; заявлено 08.02.23 ; опубликовано 05.01.25 / Крук И. С., Агейчик В. А., Анищенко А. А., Зубович В. Д. ; заявитель Учреждение образования "Белорусский государственный аграрный технический университет". – 4 с.
6. Севриков, В. В. Автономная автоматическая противопожарная защита промышленных сооружений. – Киев – Донецк : Вища школа. Головное изд-во, 1979. – 188 с.
7. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики : учебник для втузов / С. М. Тарг. – 20-е изд., стер. – Москва : Высшая школа, 2010. – 416 с.

Summary. The article analyzes various types of pesticide losses during crop spraying, as well as factors influencing these losses (evaporation, wind drift, uneven distribution, etc.). A mathematical model of the movement of pesticide droplets in the air is proposed and a method for determining the angle of inclination of the nozzle to compensate for wind drift is substantiated. This parameter is described by a transcendental equation that requires further numerical solution.

Шарипов З.Ш., кандидат технических наук, доцент;
Юлдашев Ш.У., доктор технических наук, профессор, академик;
Мирхамидова Д.Х., Рисбаев Д.С., студенты
*НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации
сельского хозяйства», г. Ташкент, Республика Узбекистан*

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ХЛОПКОУБОРОЧНЫХ МАШИН

Аннотация: Выращивание и уборка хлопка являются одними из важнейших процессов в агропромышленном комплексе. В данной статье представлена информация о принципах работы хлопкоуборочных машин с горизонтальными шпинделями, их техническом обслуживании и преимуществах. Специальные электронные системы, GPS-устройства, современные программные обеспечения и другие инновационные решения трансформируют процесс сбора хлопка. Технологии GPS, IoT (интернет вещей) и цифровизация позволяют эксплуатировать хлопкоуборочные машины в точно заданном направлении. Также рассмотрены основные неисправности, возникающие в хлопкоуборочных машинах, и вопросы их технического сервиса.

Abstract: Cotton cultivation and harvesting are considered crucial processes within the agro-industrial complex. This article provides information on the operating principles of horizontal spindle cotton harvesters, their technical maintenance, and their advantages. Special electronic systems, GPS devices, modern software, and other innovative tools are transforming the cotton harvesting process. GPS, IoT systems, and digitalization technologies enable the operation of cotton harvesters with precise guidance. Furthermore, the main malfunctions encountered in cotton harvesters and their technical servicing are discussed.

Ключевые слова: хлопкоуборочная машина, горизонтальный шпиндель, шпиндельный барабан, технический сервис, неисправность, съёмник, увлажнитель, системы GPS и IoT.

Keywords: cotton harvester, horizontal spindle, spindle drum, technical service, malfunction, doffer (съемник), moistener, GPS and IoT systems.

Принято Постановление Президента Республики Узбекистан от 13.03.2026 года № ПП-97 «О дальнейших мерах по обеспечению аграрного сектора современной сельскохозяйственной техникой». Согласно постановлению, одной из основных задач определено повышение уровня механизации в сельском хозяйстве, особенно расширение доли машинного сбора хлопка. В частности, в 2026 году планируется довести урожайность хлопка с каждого гектара более чем 50 центнеров, общий объем сбора хлопка – до 4,5 млн тонн, а долю машинного сбора хлопка – до 70 процентов [1].

Узбекистан является одно из крупнейших стран - производителей хлопка в мире. В республике продолжают последовательные реформы

по коренному реформированию хлопкового сектора и повышению эффективности отрасли. В частности, большое внимание уделяется техническому оснащению сельского хозяйства и цифровизации отрасли. Принимаются конкретные практические меры по резкому увеличению объемов и качества сбора основной части урожая хлопка, выращиваемого в агрокластерах и фермерских хозяйствах республики.

На сегодняшний день в нашей республике при сборе урожая хлопка в основном используются вертикально-шпиндельные хлопкоуборочные машины марки «MX-1,8» /Узбекистан/, а также горизонтально-шпиндельные машины марок CE-220 /Узбекистан/, «John Deere» /Германия/, «Case» /США/, SWAN /Китай/, FM WORLD /Китай/, CANSA /Китай/, «Boshiran» /Китай/ и других фирмы (Рисунок 1-2).



Рисунок 1 – Общий вид хлопкоуборочной машины марки CE-220 /Узбекистан/



Рисунок 2 - Общий вид хлопкоуборочной машины марки “FM WORLD” /Китай/

Сбор хлопка является одним из важных процессов в агропромышленном комплексе, так как производство и сбор хлопка считаются основными экспортными продуктами Узбекистана. Современные хлопкоуборочные машины играют важную роль в автоматизации этого процесса и повышении эффективности. Современные технологии и инновации в сборе хлопка в основном направлены на повышение эффективности и результативности работы. Системы GPS и технологии цифровизации позволяют эксплуатировать хлопкоуборочные машины в точном направлении. Это, в свою очередь, значительно повышает производительность в процессе уборки хлопка.

Хлопкоуборочные машины с горизонтальным шпинделем по принципу своей работы считаются одним из самых эффективных и современных методов сбора и заготовки хлопка. Механизм работы в машинах такого типа включает в себя специальные технологические процессы по сбору хлопка с помощью специальных шпинделей, его очистке и накоплению в агрегате. Шпиндели являются одной из основных частей хлопкоуборочной машины, обеспечивая необходимую мощность и движение непосредственно для сбора хлопка.

Машины с горизонтальным шпинделем ориентированы на быстрый и эффективный сбор и обладают высочайшей производительностью. В машинах этого типа шпиндели расположены горизонтально, и их движение обеспечивает быстрый и точный сбор хлопка. Шпиндели в горизонтально-шпиндельных уборочных машинах в основном оснащаются специальными механическими зубьями. Эти зубья выполняют важную функцию в захвате хлопка, его отрыве и последующем управлении процессами очистки. Шпиндели представляют собой именно те механические части, которые осуществляют сбор, и уровень их движения и напряжения напрямую определяет эффективность уборки.

Подходы к автоматизации в хлопкоуборочных машинах с горизонтальным шпинделем делают процесс точным и быстрым, оптимизируя производство. Процесс работы машины эффективно управляется через соответствующие сенсоры и электронные системы.

Для эффективного использования хлопкоуборочных необходимо уделять внимание определенным неисправностям и техническим проблемам. Каждый механизм этих машин, особенно шпиндельная система, имеет сложный принцип работы, и при возникновении технических ошибок или неисправностей эффективность процесса уборки резко падает. Ниже нами приведены основные неисправности, встречающиеся в хлопкоуборочных машинах с горизонтальным шпинделем, и способы их устранения:

Уровень машинного сбора урожая хлопка зависит от подготовки полей к уборке, правильной настройки рабочих органов машины, строгого соблюдения правил и технологии организации сбора.



Рисунок 3 – Вид хлопковой поле после дефолиация

Для того чтобы хлопкоуборочная машина работала с высокой производительностью, без потерь и загрязнения урожая, необходимо подготовить хлопковые поля в соответствии с требованиями для

машинного сбора, правильно настроить детали машины в зависимости от состояния хлопка в поле, своевременно и качественно проводить технический осмотр, организовать уборочно-транспортные отряды, укомплектовать их необходимыми техническими средствами и повысить квалификацию механиков-водителей (рисунок 3) [2-3].

Техническое обслуживание сельскохозяйственной техники и оборудования направлено на обеспечение еще большей эффективности, безопасности и стабильности производственного процесса.

Работы, необходимые для профилактического обслуживания машины перед началом сбора урожая, состоят из мероприятий, направленных на смазку и очистку хлопкоуборочной машины. В число основных элементов здесь входят: смазка и очистка шпинделей, очистка воздушных каналов и проверка их состояния, определение отсутствия повреждений съемных щеток, настройка увлажнителей и оценка степени их износа, очистка бункера, проверка давления в шинах, проверка состояния воздушного фильтра двигателя, проверка и очистка фильтров топливного и водяного насосов, проверка уровня воды и моторного масла. Качественное техническое обслуживание машин имеет очень важное значение, так как оно может предотвратить преждевременные поломки, низкую производительность и снизить затраты во время сбора урожая [2-3].

Шпиндели и втулки шпинделей. Шпиндели машины должны быть острыми в своей передней части, чтобы зацеплять, удерживать и отделять хлопок-сырец от куста. Шпиндели обычно изнашиваются по высоте; это наблюдается как в местах обильного сбора хлопка, так и там, где перед сбором на хлопок попало много почвы. Как правило, нижняя половина или две трети шпинделей в крышке изнашиваются быстрее. Износ шпинделя во время хранения комбайна может привести к коррозии, что снижает эффективность сбора и производительность труда. Втулки изнашиваются в зонах одинаковой высоты, что связано с большим воздействием боковой силы на шпиндели, движущиеся под съемниками. Концы стержней должны скручиваться в хлопке и при креплении к стержню быть направлены в сторону затягивания гайки. Немедленно нужно заменять все сломанные или поврежденные шпиндели, чтобы предотвратить дальнейшее повреждение съемников, увлажняющих подушечек шпинделя и опор (Рисунок 4) [3-4].

Регулировка шпинделя. Собранный шпиндель перед установкой в крышку должен иметь боковой люфт в пределах 0,08–0,4 мм. При установке шпинделя в крышку, если вращать его вперед-назад большим и указательным пальцами, должно ощущаться небольшое смещение между ведущей шестерней в крышке и шестерней шпинделя. Если шпиндель заклинивает или между шестернями нет зазора, снимите его, установите прокладки и снова затяните, пока не почувствуете зазор. При измерении

высоты колонны для определения износа втулок можно использовать индикатор циферблатного типа. Установите датчик непосредственно над шпинделем, между пылесборником и конусной головкой каждого шпинделя. Вертикальное смещение более 0,15 мм указывает на необходимость замены втулок шпинделя. Чрезмерный боковой люфт также может возникнуть в результате износа втулки упорного фланца в основании гайки шпинделя.



Рисунок 4 – Проверка состояния шпинделя и его втулки

Расстояние между концами шпинделей и прижимной панелью, прижимающей кусты хлопчатника к шпинделям, должно составлять 6,5–7 мм (рисунок 5).

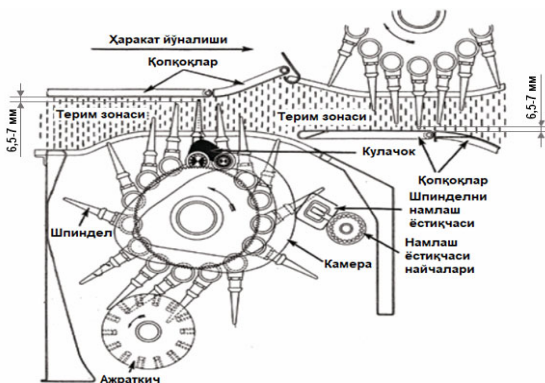


Рисунок 5 – Регулировка рабочий щель уборочного аппарата

Не допускается вращение шпинделей с касанием поверхностей панелей, в противном случае в аппарате может возникнуть пожар. Правильно отрегулированные панели не препятствуют прохождению даже густых кустов хлопчатника через аппарат без повреждений. Сила

давления пружин, прижимающих панели, регулируется в зависимости от состояния кустов хлопчатника.

Замена изношенных деталей. Изношенные упорные фланцы препятствуют правильному зацеплению шестерен шпинделя с ведущим колесом, что ускоряет износ ведущего колеса. Обычно втулки шпинделя заменяются при установке новых шпинделей.

Срок службы шпинделя могут сократить несколько факторов, таких как погода, урожайность, состояние посевов и почвы, количество листьев, пыли и сорных примесей в хлопчатнике. Тем не менее, срок службы шпинделя и втулок обычно составляет примерно 600 моточасов сбора.

Высота и состояние колонок. Для поддержания правильного зазора между шпинделем и увлажняющей подушечкой крайне важно, чтобы высота колонок шпинделей была одинаковой. Низкая колонка не сможет качественно отделять хлопок от шпинделей, а высокая может задевать съемники и увлажняющие подушечки, повреждая их. Высоту колонок обязательно проверяют ежегодно перед началом сезона уборки.

Колонки системы съема и увлажнения необходимо устанавливать так, чтобы они находились на расстоянии 0,07 мм от ближайших шпинделей. Съемники должны едва касаться шпинделей самой высокой колонки. Съемники отделяют хлопок движением от основания шпинделя к его концу, распределяя, расчесывая и очищая его. Скорость вращения поверхности съемника во много раз превышает скорость вращения поверхности шпинделя. При обслуживании съемников соблюдаются следующие правила [4].

- Выступы (лапки) съемника должны располагаться на расстоянии примерно 0,08 мм от поверхности шпинделя. При очень высокой урожайности зазор между съемником и шпинделем может достигать 0,5 мм.

- Материал съемника должен быть достаточно гибким, чтобы хлопок, сорные примеси и другие материалы могли проходить между наконечником и шпинделем без повреждений. Погодные условия, солнечный свет и другие факторы могут привести к старению и затвердеванию съемников.

- Для достижения полного сбора хлопка и длительного поддержания съемников в исправном состоянии, диски съемника (3) должны быть правильно отрегулированы с помощью болта (2). Правильно отрегулированные съемники должны равномерно и плавно касаться шпинделей (4) по всей их длине (Рисунок 6). Для более точной настройки съемников необходимо запустить уборочный аппарат на некоторое время для прогрева, после чего производить регулировку. Нужно регулярно очищать корпус колонки съемников от скопившихся растительных остатков, грязи и масла. Система увлажнения шпинделей предназначена для

постоянной подачи очищающего раствора с целью очистки шпинделей от растительного сока и загрязнений. Увлажнитель - это ключевой элемент системы очистки шпинделей в хлопкоуборочной машине.

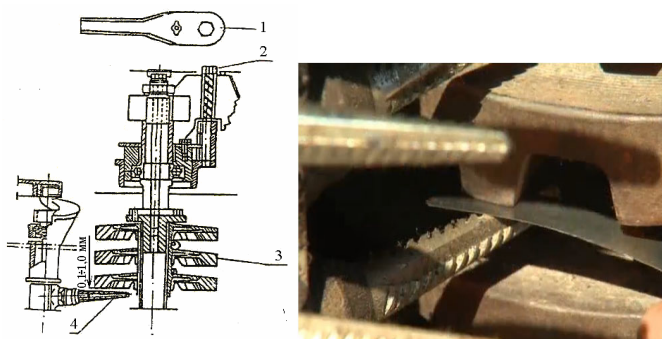


Рисунок 6 – Регулировка съёмника:

1-регулирующий ключ; 2-регулирующий болт; 3-съёмник барабанных дисков; 4 – шпиндель

Его основная задача – равномерное нанесение очищающего раствора на поверхность шпинделей для удаления липкого сока растений, пыли и грязи. Такая очистка помогает поддерживать шпиндели в активном состоянии и облегчает их работу. Очищающий раствор должен быть смешан в правильной концентрации. Заполните бак примерно на 80% чистой водой, добавьте необходимое количество раствора для очистки шпинделей (примерно 1,6 литра на 100 литров воды) и долейте бак водой до конца. Настройте колонну увлажнителей так, чтобы при прохождении под ними их ребра касались шпинделей. Чистота шпинделей и качество сбора также зависят от взаимного расположения шпинделя и щетки-увлажнителя. Все щетки-увлажнители (6) должны одинаково касаться шпинделей (7) в горизонтальном положении (рисунок 7) [3-4].

Кустоподъемники должны скользить по контуру поверхности почвы и направлять раскрытые коробочки в уборочный аппарат. Они должны работать на расстоянии не более 2,5 см от поверхности земли, не поднимая почву и не волоча за собой листья. Работа кустоподъемников слишком близко к земле, когда нижние коробочки находятся на несколько сантиметров выше стебля, приводит к избыточному износу. Эта может привести к неоправданным повреждениям, возникающим при волочении подъемников по земле или их ударах о почву.

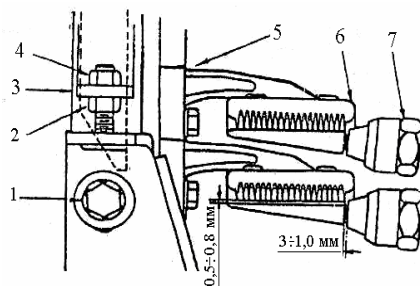


Рисунок 7 – Регулировка увлажнителя.
1 – болт держателя; 2 – регулировочная гайка; 3 – регулировочный кронштейн; 4 – стопорная гайка; 5 – узел увлажнителя шпинделя; 6 – увлажнитель; 7 – шпиндель

Рабочая высота уборочного аппарата и датчик высоты. Оптимальная рабочая высота уборочных аппаратов зависит от размера растений, типа почвы, состояния поверхности почвы, опавших листьев, растительных остатков, других препятствий, скорости движения и рельефа поля. В лучшем случае нижний шпиндель переднего барабана должен входить в ряд чуть ниже нижних коробочек. Этой цели легко достичь, когда коробочки расположены на высоте 12–20 см от земли и хлопчатник растет в относительно ровном ряду. Слишком низкое расположение коробочек, отсутствие или малое количество коробочек в рядах, поля с рытвинами в результате эрозии или препятствиями обычно становятся причиной некоторого снижения урожая из-за ухудшения качества сбора. Низкая установка уборочного агрегата снижает скорость движения и производительность уборочного аппарата, повышает вероятность повреждения и износа агрегатов.

Система пневмотранспорта. Необходимо обеспечить полную и надежную транспортировку собранного хлопка от каждого уборочного агрегата. Равномерное движение хлопка зависит от подачи достаточного количества воздуха в воздуховод с помощью вентилятора. Все воздуховоды должны быть без отверстий, соединения воздуховодов – герметичными, а в воздушной системе не должно быть острых кромок, где может скапливаться волокно или собираться сор. Скорость воздуха в трубе должна составлять примерно 25 м/с. Это измерение проводится в средней части прямой трубы. Для систем воздушной транспортировки рекомендуется поток воздуха 0,1 м³/с на каждый килограмм транспортируемого хлопка.

Предотвращение и устранение забивания уборочных аппаратов. Забивание уборочных аппаратов может обходиться очень дорого. Частые засоры могут снизить эффективность работы в поле более чем на 10

процентов. На количество засоров хлопка влияет ряд факторов: состояние посевов, сбор хлопка с высокой влажностью, производительность воздушной системы хлопкоуборочной машины, поддержание чистоты уборочных аппаратов и транспортной системы от различных загрязнений.

В различных механизмах машины, особенно в шпиндельных системах, могут возникать вибрации. Эти вибрации в основном вызваны механическими поломками или неправильным расположением шпинделей. Для эффективной работы горизонтально-шпиндельных хлопкоуборочных машин важное значение имеет регулярное техническое обслуживание и устранение различных неисправностей. Оперативное выявление и решение механических, гидравлических и электронных проблем в шпиндельных системах улучшает процесс сбора хлопка и продлевает срок службы машины. При техническом обслуживании важно учитывать каждый элемент и механизм машины. Узлы и механические части в горизонтальных хлопкоуборочных машинах в процессе интенсивной работы могут подвергаться различным повреждениям и состояниям, нарушающим их функционирование. Ниже представлена подробная информация об основных направлениях технического обслуживания этих машин, сроках и работах, которые необходимо выполнять для сохранения эффективности работы. Перед началом работы машины важно проверить состояние каждого механизма. Эти процессы должны выполняться каждые 50–100 моточасов. При техническом обслуживании машинисты и специалисты должны внимательно проверять каждую жизненно важную часть машины [3-4].

Система шпинделей: точность и чистота шпинделей, их зубьев и систем привода. Для проверки движения и состояния шпинделей необходимо использовать специальные масла и смазки.

Замена зубьев шпинделей: своевременная замена зубьев при их повреждении или ухудшении рабочих характеристик.

Гидравлическая система: состояние насосов, шлангов, процесса смазки и работы насоса. Проверка состояния гидравлических масел и правильности функционирования системы смазки.

Тормозная система: работа тормозов и механизмов безопасности. Проверка тормозных дисков, тормозных колес и вспомогательных систем для обеспечения высокоэффективной работы тормозов.

Электрическая система: кабели, электропередачи и сенсоры.

Система очистки: механизмы сбора и очистки хлопка, фильтры, сепараторы.

Проверка шлангов и насосов: замена гидравлических шлангов или насосов при появлении повреждений.

Проверка тормозной жидкости: правильная проверка системы смазки, если смазанные нижние части тормозной системы не функционируют.

Важно четко определить уровни и сроки специального технического обслуживания:

Каждые 50–100 моточасов: проверка насосов, шпинделей, гидравлических систем и тормозов.

Каждые 200 моточасов: проверка электрических систем и механизмов очистки.

Каждые 1000 моточасов: общая проверка состояния машины, полное профилактическое обслуживание.

Заключение

1. Горизонтальные хлопкоуборочные машины играют важную роль в современном агропромышленном комплексе, и для их эффективной работы необходимо непрерывное техническое обслуживание. Хотя эти машины обеспечивают высокую производительность и скорость, своевременное проведение технических осмотров, профилактических и проверочных работ является одним из важнейших факторов. Такие услуги необходимы не только для поддержания работоспособности машин, но и для предотвращения ошибок и неисправностей в процессе сбора хлопка.

2. Техническое обслуживание хлопкоуборочных машин с горизонтальным шпинделем необходимо для обеспечения их эксплуатационной эффективности и долгосрочной результативности рабочих систем. Проверка механизмов, смазка, очистка и предотвращение эксплуатационных рисков ускоряют процесс сбора и делают общее производство более эффективным. Реализация плана технического обслуживания положительно влияет не только на надежность работы машин, но и на качество продукции.

3. При техническом обслуживании важно учитывать каждый элемент и механизм машины. Узлы и механические части горизонтальных хлопкоуборочных машин в ходе интенсивного рабочего процесса могут подвергаться различным повреждениям и состояниям, нарушающим их нормальное функционирование.

Список использованной литературы

1. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-97 от 13.03.2026 года «О очередных мерах по обеспечению аграрного сектора современной сельскохозяйственной техникой».

2. Yo‘ldoshev Sh.U. Mashinalar ishonchliligi va ta’irlash asoslari.T.: «O‘zbekiston», 2006. 379 b. (учебник).

3. Худайкулов Р., Равшанов Ш. “Пахта териш машиналарига сервис хизмат кўрсатиш ва машина теримини самарали ташкил этишга доир тавсиялар”. Узбекистан, Янгийўл, ҚХМИТИ.- 52 б.

4. Инструкция по эксплуатации самоходной хлопкоуборочной машины “BOSHIRAN” модуль 4MZ-4C. Республика Китай г.Усу, район Синьши, улица Тарим Дунлу 549.-127 с.

Кутырёв А.И., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
Потапенков Н.А., магистрант, инженер
*ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
г. Москва, Российская Федерация*

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИДЕОСЪЁМКИ И РЕЖИМА РАБОТЫ КОНВЕЙЕРА ДЛЯ СОРТИРОВКИ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального обоснования параметров системы компьютерного зрения для сортировки плодов яблони на конвейерной линии. Проведено сравнение моделей детекции и сегментации YOLO12s и YOLO11m-seg. Построены поверхности отклика точности распознавания. Полученные зависимости и рекомендованные параметры могут быть использованы при проектировании промышленных систем сортировки плодов, основанных на современных алгоритмах глубокого обучения (архитектуры YOLO).

Abstract. The paper presents experimentally substantiated parameters of a computer vision system for sorting apple fruits on a conveyor line. YOLO12s and YOLO11m-seg detection and segmentation models were compared. Response surfaces of recognition accuracy were constructed. The obtained dependencies and recommended parameters can be used for designing industrial fruit sorting systems based on modern deep learning algorithms (YOLO architectures).

Ключевые слова: компьютерное зрение, сортировка плодов яблони, YOLO, трекинг, реальное время.

Keywords: computer vision, apple fruit sorting, YOLO, tracking, real time.

Современные методы решения задач сортировки плодов яблони основываются на глубоких нейронных сетях, в частности на архитектурах семейства YOLO (You Only Look Once), обеспечивающих высокую скорость и точность детекции [1-3]. Однако эффективность системы компьютерного зрения на сортировочной линии зависит не только от выбора модели нейронной сети, но и от условий видеосъёмки и режима работы конвейера [4]. Основными регулируемыми параметрами являются высота установки камеры над лентой, скорость движения конвейера и частота кадров. Неоптимальные значения этих параметров приводят к потере резкости изображения, потере текстурных признаков, ошибкам трекинга (отслеживания) и многократному учёту одних и тех же объектов, что снижает точность распознавания [5, 6].

Целью исследования является экспериментальное обоснование оптимальных параметров видеосъёмки и режима работы конвейера, обеспечивающих оптимальную точность распознавания плодов яблони в системе компьютерного зрения. В статье представлены результаты эксперимен-

тальных исследований, поверхности отклика точности распознавания, контурные диаграммы качества трекинга.

Для проведения эксперимента использовалась программа компьютерного зрения, разработанная на языке Python, которая использует модели сверточных нейронных сетей YOLO12 и YOLO11-seg для сегментации плодов яблони и их распознавания в ограничивающих рамках [7]. Программа позволяет распознавать различные типы дефектов плодов, выполнять сегментацию, оценивать степень зрелости по цветовым характеристикам в пространстве HSV, а также измерять линейные размеры объектов (рисунок 1).

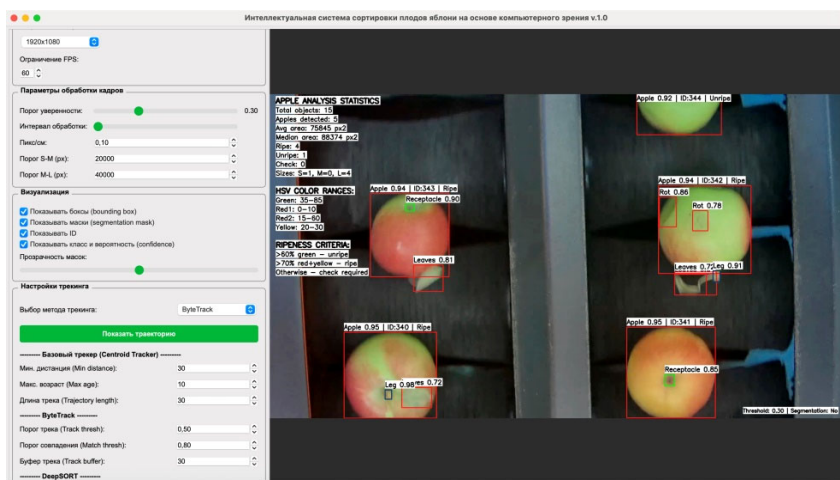


Рисунок 1 – Пример работы программы для сортировки плодов яблони

В программе реализована поддержка прямого подключения камер и сетевых RTSP-трансляций с возможностью коррекции параметров изображения. Для хранения результатов применяется встроенная база данных SQLite, а для последующего анализа предусмотрен экспорт данных в форматы CSV, JSON и Excel. Архитектура программы построена на библиотеках OpenCV (захват и предобработка видеопотока), PyQt5 (графический интерфейс с настройкой разрешения, выбора модели, частоты кадров и режимов визуализации), Pygame (аудиоповещение о дефектах), NumPy (математические расчёты, анализ HSV-гистограмм, вычисление площадей масок и статистические оценки), а также Pillow (преобразование форматов изображений). В программу встроены алгоритмы трекинга для непрерывного сопровождения перемещения плодов в зоне видимости камеры, а также система зонального подсчёта, которая обеспечивает точный учёт продукции и позволяет прогнозировать урожайность.

Дополнительно предусмотрены инструменты для анализа цветиметрических показателей, статистики размеров плодов и пространственного распределения объектов. Разработанная программа предназначена для контроля качества сельскохозяйственной продукции, что позволяет повысить эффективность производственных процессов и минимизировать влияние человеческого фактора [8, 9]. Для проведения экспериментов использована промышленная сортировочная линия электронно-оптического сортировщика Wamel Perfect. Сортировка проводилась по четырём параллельным линиям с максимальной скоростью 3 чашки в секунду на линию, что обеспечивает высокоскоростную обработку плодов в диапазоне диаметров 35-120 мм. Для регистрации видеопоследовательностей использовалась камера DJI Action 5, закреплённая стационарно над конвейерной лентой. Камера оснащена 1/1.3-дюймовым CMOS-датчиком и диафрагмой f/2.8, что в сочетании со встроенной стабилизацией RockSteady 3.0 обеспечивало получение детализированных изображений движущихся плодов.

Эксперимент проводился на тестовой видеопоследовательности, содержащей 100 эталонных плодов яблони с различными сортовыми признаками и дефектами. Варьировались три фактора: высота камеры (150, 300 и 450 мм), скорость конвейера (0,5; 1,0 и 1,5 м/с) и частота кадров (30, 60 и 90 fps). Полный факторный эксперимент $3 \times 3 \times 3$ составил 27 комбинаций. Для каждой из них выполнялось по три повторных измерения. Полученные результаты позволили выявить характер зависимости точности распознавания от каждого фактора и определить их рациональные значения для эксплуатации системы. Для визуализации влияния высоты установки камеры и скорости конвейерной ленты на точность распознавания были построены трёхмерные поверхности отклика. Показана зависимость количества верно распознанных плодов из 100 для моделей YOLO12s и YOLO11m-seg (рисунки 2,3).

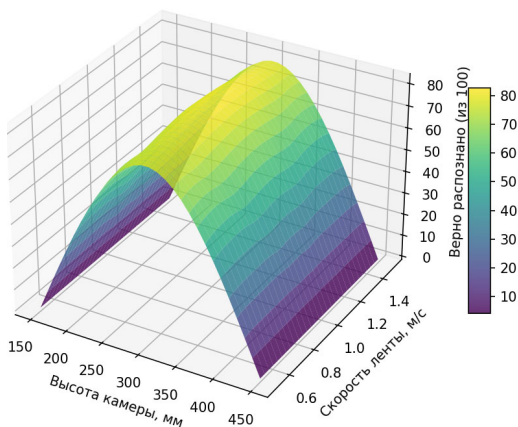


Рисунок 2 – Поверхность отклика для модели YOLO12s

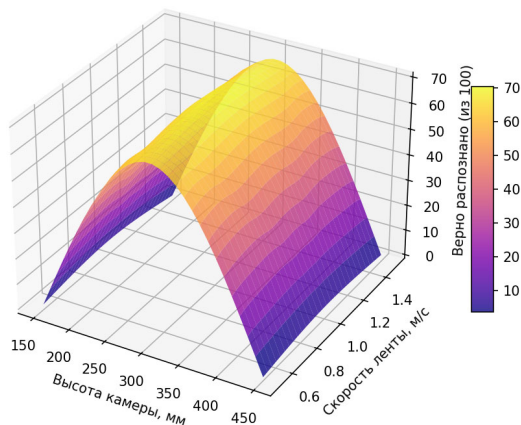


Рисунок 3 – Поверхность отклика для модели YOLO11m-seg

Поверхность имеет выпуклую форму с максимумом в области высоты 300 мм и скоростей 0,9-1,1 м/с. Максимальное зафиксированное значение составляет 82 верных распознаваний из 100. При отклонении высоты от оптимального диапазона точность снижается: на высоте камеры 150 мм количество верных распознаваний снижается до 68, а на высоте 450 мм – до 65. Установлено, что скорость конвейера оказывает существенное влияние. При увеличении скорости от 1,0 до 1,5 м/с количество верно распознанных плодов снижается с 82 до 67 (снижение на 18%). Причина – размытие движущихся объектов, приводящее к потере чёткости границ и текстурных признаков. При скорости 0,5 м/с точность также несколько ниже (74). Из-за медленного движения плоды дольше находятся в зоне съёмки, что повышает вероятность их многократного учёта при трекинге. Для модели YOLO12s оптимальна комбинация высоты камеры 300 мм и скорости ленты 1,0 м/с, обеспечивающая максимальную точность распознавания (82 из 100).

Поверхность отклика модели инстанс-сегментации YOLO11m-seg (рисунок 3) также имеет выпуклую форму, но с менее выраженным максимумом и более низкими абсолютными значениями. Максимальное количество верно распознанных плодов составляет 71 из 100 (на 13 % ниже, чем у YOLO12s). Оптимальные значения высоты и скорости сохраняются в тех же диапазонах ($H = 300$ мм, $v = 1,0$ м/с), однако поверхность более пологая, особенно в направлении высоты.

Для оценки устойчивости алгоритмов трекинга к изменению параметров видеосъёмки был проведён анализ метрики MOTA (Multiple Object Tracking Accuracy), которая учитывает пропуски объектов, ложные обнаружения и переключения идентификаторов (ID) распознаваемых объектов (рисунок 4).

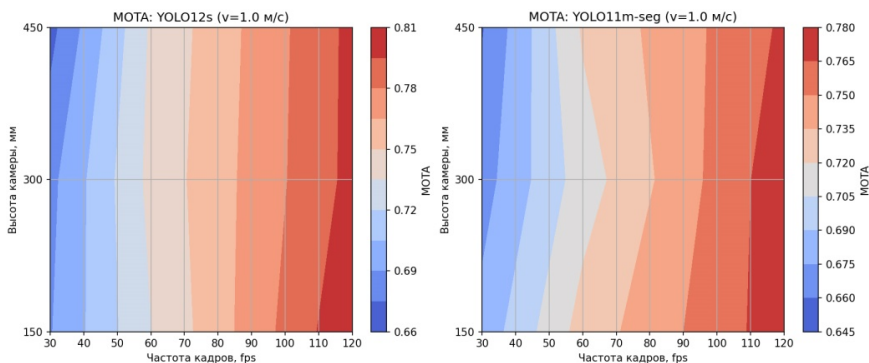


Рисунок 4 – Контурные диаграммы качества трекинга MOTA для моделей YOLO12s и YOLO11m-seg

Зависимость метрики MOTA от частоты кадров носит монотонный возрастающий характер для обеих моделей: при 30 fps значение MOTA составляет 0,66, при 60 fps – 0,72, при 90 fps – 0,765, а при 120 fps достигает 0,81. Наиболее существенный прирост точности наблюдается в диапазоне от 30 до 60 fps (+0,06), тогда как дальнейшее повышение частоты до 90 и 120 fps даёт меньший относительный прирост (+0,045 на каждые 30 fps). Увеличение частоты кадров пропорционально повышает вычислительную нагрузку на систему. При переходе с 60 на 120 fps нагрузка возрастает в 1,5–2 раза. Кроме того, при скорости конвейера 1,0 м/с и частоте 60 fps межкадровое смещение плодов составляет около 17 пикселей, что достаточно для надёжного сопоставления объектов по метрике IoU. С учётом этих факторов частота 60 fps признана оптимальной для промышленной эксплуатации.

Зависимость метрики MOTA от частоты кадров носит монотонный возрастающий характер для обеих моделей: при 30 fps значение MOTA составляет 0,66, при 60 fps – 0,72, при 90 fps – 0,765, а при 120 fps достигает 0,81. Наиболее существенный прирост точности наблюдается в диапазоне от 30 до 60 fps (+0,06), тогда как дальнейшее повышение частоты до 90 и 120 fps даёт меньший относительный прирост (+0,045 на каждые 30 fps). Увеличение частоты кадров пропорционально повышает вычислительную нагрузку на систему. При переходе с 60 на 120 fps нагрузка возрастает в 1,5–2 раза. Кроме того, при скорости конвейера 1,0 м/с и частоте 60 fps межкадровое смещение плодов составляет около 17 пикселей, что достаточно для надёжного сопоставления объектов по метрике IoU. С учётом этих факторов частота 60 fps признана оптимальной для промышленной эксплуатации.

В результате проведённого исследования установлены оптимальные параметры видеосъёмки и режима работы конвейера: высота камеры 300 мм, скорость ленты 1,0 м/с и частота кадров 60 fps. При этих значениях модель YOLO12s распознаёт 82 плода из 100 эталонных, что на 13% вы-

ше, чем у YOLO11m-seg (71 плод). Полученные зависимости и рекомендованные параметры могут быть использованы при проектировании промышленных систем сортировки плодов, основанных на современных алгоритмах глубокого обучения (архитектуры YOLO).

Список использованной литературы

1. Ribeiro D., Tavares D., Tiradentes E., Santos F., Rodriguez D. Performance Evaluation of YOLOv11 and YOLOv12 Deep Learning Architectures for Automated Detection and Classification of Immature Macauba (*Acrocomia aculeata*) Fruits // *Agriculture*. – 2025. – 15(15). – 1571.
2. Khort D.O., Kutyrev A., Smirnov I., Andriyanov N., Filippov R., Chilikin A., Astashev M.E., Molkova E.A., Sarimov R.M., Matveeva T.A., Gudkov S. Enhancing sustainable automated fruit sorting: hyperspectral analysis and machine learning algorithms // *Sustainability*. – 2024. – Т. 16. – № 22. – С. 10084.
3. Kutyrev A.I., Andriyanov N.A. Apple flower recognition using convolutional neural networks with transfer learning and data augmentation technique // В сборнике: E3S Web of Conferences. International Conference on Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research (ABR 2024) // *EDP Sciences*. – 2024. – С. 01006.
4. Rojas Santelices I., Cano S., Moreira F., Peña Fritz Á. Artificial Vision Systems for Fruit Inspection and Classification: Systematic Literature Review // *Sensors*. – 2025. – 25(5). – 1524.
5. Кутырёв А.И., Смирнов И.Г. Сверточная нейронная сеть (Seg-CNN) для распознавания, классификации и сегментации ветвей с плодами яблони и плодоножек на изображениях // *Садоводство и виноградарство*. – 2024. – № 2. – С. 53-62.
6. Хорт Д.О., Кутырев А.И., Смирнов И.Г., Филиппов Р.А., Вершинин Р.В. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. – 2020. – Т. 67. – № 1 (38). – С. 133–141.
7. Кутырев А.И., Потапенков Н.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025682457 Российская Федерация. Программа компьютерного зрения для распознавания, классификации и сегментации плодов яблони на линии сортировки с использованием алгоритмов машинного обучения: заявл. 10.07.2025. опубл. 22.08.2025.
8. Потапенков Н.А., Кутырёв А.И. Разработка модели свёрточной нейронной сети для распознавания и классификации плодов яблони на линии сортировки // В сборнике: Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации. Материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград. – 2025. – С. 225-231.
9. Кутырёв А.И., Потапенков Н.А. Распознавание и подсчет плодов яблони с признаками гнили на сортировочной линии с использованием нейросетевой модели YOLO26 // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2026. – № 217(03). – С. 419–433.

Summary. The experiment substantiated optimal parameters of a computer vision system for apple sorting: camera height 300 mm, conveyor speed 1.0 m/s, frame rate 60 fps. The YOLO12s model achieved 82% accuracy (82 out of 100 fruits), which is 13% higher than YOLO11m-seg. The obtained dependencies are recommended for designing industrial sorters based on deep neural networks.

Андрушевич А.А., кандидат технических наук, доцент;

Козак О.В., студент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Аннотация. Рассмотрены инновационные направления развития сельскохозяйственного машиностроения в соответствии с Государственной программой инновационного развития Республики Беларусь.

Abstract. Innovative directions for the development of agricultural engineering in accordance with State Program for Innovative Development of the Republic of Belarus are considered.

Ключевые слова. Сельскохозяйственное машиностроение, государственная программа, инновационное развитие, направления.

Keywords. Agricultural engineering, State Program, innovative development, directions.

Приоритетным направлением развития промышленности РБ является машиностроительный комплекс, включающий отрасли по изготовлению машин, оборудования, электротехнических изделий, приборов, металлоизделий и др. Сельскохозяйственное машиностроение (СХМ) представляет один из наиболее крупных секторов комплекса, доля которого составляет порядка 20%. В последние годы при проектировании и производстве, ремонте сельскохозяйственных и других машин все более широко применяются инновационные технологии, основанные на достижениях современного научно-технического прогресса [1].

Результаты работы предприятий сельхозмашиностроения напрямую связаны с инновациями, созданием новой продукции, внедрением новых технологий, новых систем и методов управления предприятиями. В последние годы в отрасли наметилась тенденция повышения инновационной активности.

Для успешного продвижения инновационных технологий в производственную сферу необходимо обеспечить подготовку соответствующих специалистов – инженеров, знающих особенности реализации перспективных машиностроительных технологий и способных обеспечивать их эффективное практическое применение.

Основными инновационными направлениями развития СХМ являются:

– изучение особенностей реализации инновационных машиностроительных технологий, определение эффективных направлений их использования при проектировании и производстве

сельскохозяйственных и других машин в сельскохозяйственном машиностроении.

- освоение достижений науки и передового опыта в области инновационного развития сельскохозяйственного машиностроения;
- разработка инновационных направлений развития сельскохозяйственного машиностроения.

Оснащение АПК Беларуси необходимой техникой в соответствии с перспективной Системой машин осуществляется и максимально производится за счёт возможностей отечественного сельхозмашиностроения с использованием новых технологических процессов, материалов и наукоемких компонентов [2].

На основе анализа и оценки представленных за рубежом и РБ инновационных решений можно сформулировать следующие стратегические цели и тенденции инновационного развития отечественного сельхозмашиностроения [1,3]:

1. Повышение технического уровня, качества и надежности выпускаемой техники.

Внедрение новых технологий в производство позволяют существенно повысить технический уровень, качество и надежность выпускаемой техники. За последние годы в сельскохозяйственном машиностроении более широкое применение получили: гибкие производственные системы и роботизированные технологические комплексы; новые технологии обработки и сварки; лазерные, плазменные, электрофизические, электролучевые методы изготовления точных заготовок; прогрессивные процессы упрочнения деталей и новые методы сварки, окраски и другие технологические процессы. На предприятиях внедряются вычислительная техника, системы автоматизированного проектирования и управления технологическими процессами и производством, а также системы управления качеством в соответствии с требованиями международных стандартов ИСО серии 9000-2001, определяющих комплекс мероприятий, которые должны быть осуществлены для выпуска качественной продукции [3]. Все это повысило надежность и долговечность сельскохозяйственной техники и снизило трудоемкость её технического обслуживания. Ресурс работы двигателей достиг 10–15 тыс. мото-ч, наработка на отказ у тракторов – более 1000 мото-ч, у зерноуборочных комбайнов – более 100–150 мото-ч (иногда и весь сезон).

2. Повышение уровня ресурсосбережения разрабатываемой сельскохозяйственной техники.

Разработка, изготовление и применение высокоэкономичных двигателей сельхозтехники с пониженным расходом горюче-смазочных материалов, износостойких рабочих органов и др.

3. Обеспечение новых технологий технического обслуживания и ремонта техники.

Увеличение в конструкциях выпускаемой техники блочности и расчленяемости машин, снижение трудоемкости их технического обслуживания. Широкое применение электронной системы диагностирования и технического обслуживания техники, которая за счет своевременного выявления неисправностей обеспечивает повышение работоспособности на 25 %–30 %.

4. Создание комфортных и безопасных условий труда.

Совершенствование конструкции кабин, органов управления и контроля режимов работы, улучшение тепло- и шумоизоляции, обзорности, уменьшение вибрации в зоне оператора, соблюдение требований эргономики.

5. Использование основных тенденций развития конструкций сельхозмашин

Увеличение ширины захвата за счет расширения количества корпусов; создание плугов с регулируемой шириной захвата; увеличение числа типоразмеров плужных корпусов; широкое применение оборотных или поворотных плугов, в т. ч. модульного типа, большой гаммы комбинированных многофункциональных орудий, выполняющих за один проход несколько технологических операций, оснащение техники электронными системами управления, создание сельскохозяйственных роботов, применение беспилотных летательных аппаратов и др.

6. Специализация заводов изготовителей и оптимизация номенклатуры выпускаемой техники и узлов.

Проведение оптимизации номенклатуры техники и унификация узлов СХМ согласно принятой Системы машин на основе специализации предприятий - изготовителей. Для снижения стоимости отечественной сельхозтехники целесообразно оптимизировать номенклатуру выпускаемых средств механизации и транспорта, обеспечив концентрацию и высокую унификацию их производства путем специализации заводов изготовителей отрасли [2].

Для удовлетворения растущих запросов производителей сельскохозяйственной продукции, необходима постоянная технико-технологическая модернизация отечественного сельскохозяйственного машиностроения. Инновационное и технологическое обновление отрасли становится основой устойчивого развития, поскольку именно инновации в сочетании с профессиональным менеджментом являются основой повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции [1]. Кроме того, необходимо качественное улучшение кадровой структуры научно-производственного сектора машиностроения для успешной реализации Государственной программы инновационного развития РФ, что может быть обеспечено че-

рез подготовку инженеров высшей квалификации в магистратуре, научных работников высшей квалификации – кандидатов и докторов наук - в аспирантуре и докторантуре.

В БГАТУ, начиная с 2023 года, для специальности 7-06-0812-05 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники», 2 степень образования, предусмотрено изучение учебной дисциплины «Инновационные направления развития сельскохозяйственного машиностроения» с целью подготовки инженеров, обладающих знаниями в области инновационных технологий, способных анализировать их достоинства и недостатки и оценивать эффективность их применения при проектировании и производстве сельскохозяйственных машин на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения. Это позволяет магистрантам глубже овладеть основными знаниями по инновационным направлениям развития сельскохозяйственного машиностроения.

Основные направления инновационного развития сельскохозяйственного машиностроения и АПК Республики Беларусь определяются целью и задачами Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2026 – 2030 годы.

Направления инновационного развития сельскохозяйственного машиностроения и результаты работы машиностроительных предприятий напрямую связаны с инновациями, созданием новой продукции, внедрением новых технологий, новых систем и методов управления предприятиями.

Определяющим фактором успеха практической реализации и инновационной политики в под отрасли является способность кадров генерировать новые идеи, принимать научно обоснованные решения по их воплощению, на профессиональном уровне решать задачи перехода к инновационному развитию предприятий. В связи с этим особое внимание следует уделять целевой подготовке инженерных и научных кадров для инновационной деятельности.

Список использованной литературы

1. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2026–2030 годы // <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100348> – Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь Указ №448 от 21.12.2025

2. Концепция системы машин и оборудования для реализации инновационных технологий производства, первичной переработки и хранения основных видов сельскохозяйственной продукции до 2015 и на период до 2020 года: рекомендации по применению / Национальная академия наук Беларуси [и др.]: подгот. В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: НАН Беларуси, 2014. 138с.

3. Чеботарев В.П. Инновационные направления развития сельскохозяйственной техники: учеб. метод. пособие / В.П. Чеботарев и [др.]. – Минск: БГАТУ, 2021. – 156 с.

Summary. The study examines the main directions of innovative development of agricultural engineering in the Republic of Belarus and their relationship with the targeted training of engineering and scientific personal.

Андрушевич А.А.¹, кандидат технических наук, доцент;

Калиниченко В.А.², кандидат технических наук, доцент

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

² Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Экспериментально изучено изменение твердости и износостойкости ЛКМ на основе меди в зависимости от времени выдержки матричного сплава.

Abstract. The changes in hardness and wear resistance of copper-based composite materials and varnishes depending on the holding time of the matrix alloy was experimentally studied.

Ключевые слова. Литые композиционные материалы, микротвердость, износостойкость, структура.

Keywords. Cast composite materials, microhardness, wear resistance, structure.

При производстве и ремонте сельскохозяйственной техники важную роль имеет снижение затрат на её техническое обслуживание путем повышения надежности узлов и их износостойкости за счёт выхода в режим «безизносного трения» [1,2]. Литые композиционные материалы (ЛКМ), в основном, нашли применение, для изготовления деталей триботехнического применения; они обладают повышенными антифрикционными свойствами, благодаря реализации принципа Шарпи. ЛКМ на основе медных сплавов в сочетании с чугунами гранулами максимально соответствуют указанному принципу. Применение ЛКМ в узлах трения сельскохозяйственной техники имеет ряд перспектив для увеличения срока службы машин для внесения жидких органических удобрений таких как МЖУ-25, прицепов типа ПСТ-9 – ПСТ-12 или прицепов группы ПСП, производимых на ОАО «УК холдинга «Бобруйск-агромаш» [1]. Существенное влияние на механические и эксплуатационные свойства применяемых ЛКМ оказывает технология пропитки матричным расплавом чугунных гранул (режимы - время и температура),

Объект исследований – макрогетерогенный литой композиционный материал на основе бронзы БрКМцЗ-1, армированный чугунными сферическими чугунными гранулами ДЛЧ -1, диаметром 0,5–1,0 мм.

Для оценки свойств полученных ЛКМ при различных технологических параметрах был проведен микроструктурный анализ матрицы с армирующими элементами, визуальная оценка границ контактов, анализ твердости и триботехнические испытания.

Структурный анализ проводился на оптическом микроскопе «Microvert» («Планар» г. Минск) при кратности увеличения 50 и 100 X. Результаты микроструктурного анализа образцов представлены на рисунках 1 – 3. Температура пропитки составляла 1100°C.

При небольшом времени выдержки (рисунок 1) отчетливо просматриваются границы матрицы и армирующих гранул, без образования прослойки интерметаллидов. Значительное увеличение продолжительности выдержки приводит к изменению структуры ЛКМ.

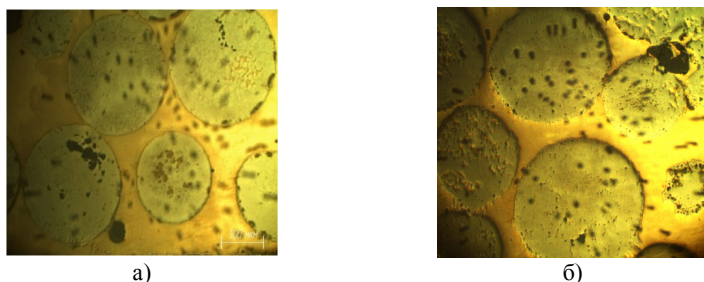


Рисунок 1 – Структуры литого композиционного материала с различным временем выдержки
а – 20 минут выдержки; б – 1 час выдержки

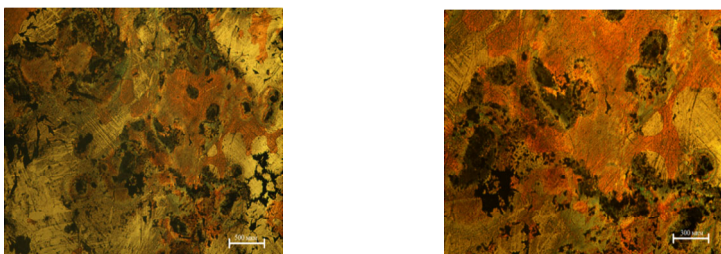


Рисунок 2 – Структуры литого композиционного материала с различным увеличением при выдержке в 5 часов

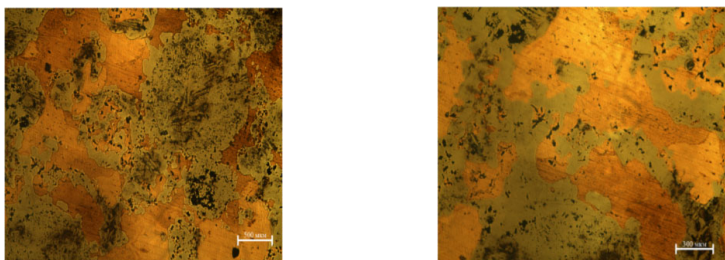
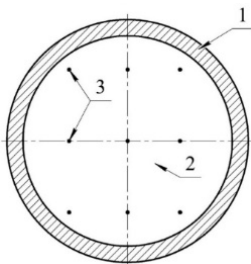


Рисунок 3 – Структуры литого композиционного материала с различным увеличением при выдержке в 10 часов

Установлено, что у образцов, прошедших выдержку 5 часов (рисунок 2) соотношение матрицы и армирующей составляющей находится приблизительно 1 к 1. Однако из-за длительного времени температурного воздействия наблюдается процесс повсеместного растворения матрицей чугунных гранул. Отмечается полная потеря их сферичности с наличием зон растворением и спайкой их друг с другом. При более продолжительном времени выдержки (рисунок 3) происходит заметное поглощение бронзовой матрицей гранул и, как результат, изменение соотношения матрицы армирующей составляющей в сторону увеличения матричного состава до 70 % и уменьшения армирующей фазы до 30 %.

Исследования показали, что с увеличением времени выдержки происходит процесс растворения армирующих гранул и относительно равномерное распределение их по объёму матрицы с образованием макротетерогенной композиционной структуры.

Твердость определялась в границе контакта матричного материала и армирующих чугунных гранул на микротвердомере MicroVicky VH1010A, в автоматическом режиме. На рисунке 4 изображена схема точек образцов, в которых производилось измерение.



1 – литейная форма; 2 – исследуемый материал; 3 – точки определения твердости
Рисунок 4 – Схема определения микротвердости

Распределение микротвердости в зависимости от времени выдержки изображено на рисунке 5. На диаграмме показано среднее значение твердости образцов ЛКМ.

Из диаграммы видно, что исходный материал бронзы БрКМц3-1 имеет микротвердость, равную 113,4 *HV*. При выдержке в 20 минут твердость повысилась в среднем на 20 единиц по шкале Виккерс. При увеличении выдержки до 1 часа идет увеличение в среднем на 60 единиц при сравнении с исходным материалом. Максимальное значение микротвердости 186,1 *HV* достигнуто при выдержке в 5 часов. Увеличение времени выдержки до 10 часов приводит к резкому уменьшению до 149,05 *HV*. Уменьшение значений твердости обусловлено растворением чугунной дроби в матричном расплаве и потерей сферической формы. Наибольшее

значение твердости получается при выдержке в 5 часов. Дальнейшее увеличение времени выдержки нецелесообразно.

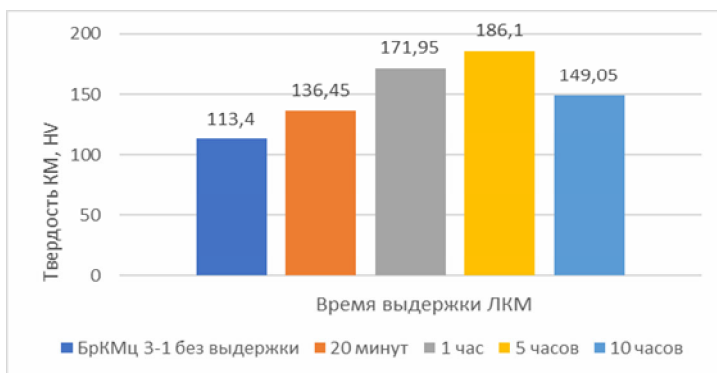


Рисунок 5 – Распределение микротвердости ЛКМ в зависимости от времени выдержки

Оценка износа образцов ЛКМ с ДЛЧ-1, полученных при оптимальных технологических параметрах, проводилась в сравнении с изучением износа бронзы БрКМц 3-1. Триботехнические испытания осуществляли на автоматизированном трибометре АТВП при нагрузке 1 МПа, пройденном пути -1000 м, материал контртела - сталь 45. Результаты испытаний износостойкости представлены на рисунке 6.

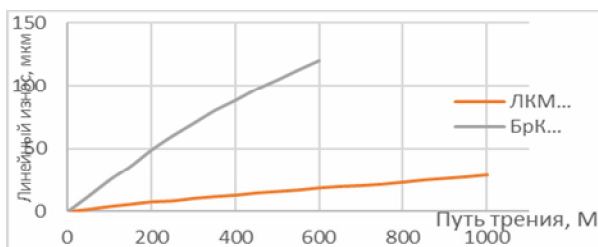


Рисунок 6 – Линейный износ образцов ЛКМ и бронзы в зависимости от пройденного пути трения

Как видно, ЛКМ с ДЛЧ-1 показывает лучшие результаты по сравнению с бронзой БрКМц 3-1. При прохождении пути, равному 1000 м, износ образца с ДЛЧ-1 составляет 29 мкм, в свою очередь образец БрКМц 3-1 при пройденном расстоянии в 600 м имеет износ 120 мкм (при экстраполяции до 1000 м – износ 200 мкм), а у образца с ДЛЧ-1 на данном пройденном пути износ составляет 18 мкм. Разница в значении износа составляет 102 мкм. Данное сравнение выявило, что при испытаниях макроармирован-

ные композиционные материалы показали линейный износ в несколько раз меньше, даже без дополнительной смазки.

Заключение. Проведенные исследования показали, что износостойкость и твердость ЛКМ могут быть существенно увеличены путем изменения технологических параметров их получения. Твердость возрастает в 1,5 -1,7 раза, а линейный износ ЛКМ, армированных ДЛЧ -1, по сравнению с бронзой уменьшился в 6 - 7 раз.

Список использованной литературы

- 1.КалиниченкоВ.А., Андрушевич А.А. Литые композиционные материалы: состояние и перспективы получения. Литейщик России №2. 2023. с. 27-36.
- 2.A. Kalinichenko, U. Kalinichenko, I. Voitov, V. Luhin. Formation of the Transition Zone "Matrix Alloy – Reinforcing Granules" in the Process of Solid-Liquid Synthesis of Composite Material.International Journal of Mineral Processing and Extractive Metallurgy 2023; 8(1). P. 9-14.

Summary. Research has shown that the wear resistance and hardness of paints and varnishes can be significantly increased by changing the production parameters. Hardness increases by 1.5-1.7 times, while the linear wear of paints and varnishes reinforced with DLC-1 decreases by 6-7 times compared to bronze.

УДК 621.432/004.932

Корнеева В.К., кандидат технических наук, доцент;

Капцевич В.М., доктор технических наук, профессор

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА ХРОМАТОГРАММ МОТОРНОГО МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Аннотация. Представлен обзор современных возможностей анализа хроматограмм моторного масла с использованием инструментов компьютерного зрения. Детально описаны возможности программы *ImageJ* для проведения морфологического анализа зон хроматограммы, колориметрической оценки их окраски, текстурного анализа с использованием *GLCM*-матрицы совместной встречаемости уровней серого и фрактального анализа.

Abstract. This article presents an overview of modern capabilities for analyzing motor oil chromatograms using computer vision tools. It describes in detail the capabilities of *ImageJ* for performing morphological analysis of chromatogram zones, colorimetric assessment of their color, texture analysis using a *GLCM* gray-level co-occurrence matrix, and fractal analysis.

Ключевые слова. Моторное масло, хроматограмма масляного пятна, компьютерное зрение, *ImageJ*, текстурный анализ, фрактальный анализ, матрицы *GLCM*.

Keywords. Motor oil, oil slick chromatogram, computer vision, ImageJ, texture analysis, fractal analysis, GLCM matrices.

Контроль технического состояния моторных масел является важной составляющей системы технического обслуживания и ремонта двигателей внутреннего сгорания. Своевременная и точная оценка состояния масла позволяет предотвратить преждевременный износ деталей двигателя, снизить затраты на ремонт и обеспечить надежную эксплуатацию автотракторной техники [1].

Одним из наиболее доступных и простых экспресс-методов анализа состояния моторных масел является метод капельной пробы (*Blotter Spot Test*) [2]. Данный метод отличается простотой выполнения, низкой стоимостью и возможностью получения экспресс-оценки состояния масла без использования сложного лабораторного оборудования. Однако традиционный подход к интерпретации хроматограмм, предполагающий визуальную оценку, существенно ограничивает объективность и воспроизводимость результатов.

В последние годы развитие методов компьютерного зрения открывает новые возможности для автоматизации и объективизации анализа хроматограмм. Цифровая обработка изображений позволяет не только повысить точность измерений, но и извлекать из хроматограмм информацию, недоступную при визуальном анализе – текстурные характеристики, фрактальные параметры, градиенты интенсивности окраски [3].

Целью настоящей работы является систематизация и анализ современных возможностей использования инструментов компьютерного зрения для анализа цифровых изображений хроматограмм моторных масел с использованием свободно распространяемого программного обеспечения *ImageJ*.

Традиционный подход к интерпретации хроматограмм масляного пятна предполагает визуальную оценку двух основных параметров: размеров зон и интенсивности их окраски. При этом оценка проводится по качественной шкале, а результаты фиксируются в описательной форме. Такой подход имеет существенные ограничения, подробно описанные в работах [1, 4].

При визуальной оценке размеров зон хроматограммы человек сталкивается с рядом субъективных факторов. Границы зон на хроматограмме нередко являются размытыми и нечеткими, что делает затруднительным точное определение диаметра или площади зоны невооруженным глазом. Различные исследователи могут по-разному интерпретировать границы зон вследствие индивидуальных особенностей зрительного восприятия, утомляемости и психологических факторов. Исследования показывают, что погрешность визуального определения диаметров зон хроматограммы может составлять от 10 до 25 % [5].

Не менее проблематичной является визуальная оценка окраски зон хроматограммы. Интенсивность цветовых оттенков воспринимается чело-

веческим глазом нелинейно и зависит от множества факторов: типа и интенсивности освещения, угла падения света, фонового цвета поверхности, на которой расположена хроматограмма, и индивидуальных особенностей цветовосприятия оператора. Шкалы визуального сравнения окраски, даже при их формализованном использовании, не обеспечивают достаточной точности и воспроизводимости результатов.

Существенным недостатком визуальной оценки является также невозможность ее стандартизации и документирования в объективной форме. Кроме того, визуальная оценка не позволяет выявлять тонкие градиенты интенсивности окраски в пределах одной зоны, которые могут нести важную диагностическую информацию о составе и состоянии масла.

Современные исследования показали [6], что метод капельной пробы в сочетании с инструментальными методами позволяет эффективно диагностировать техническое состояние двигателей. Однако для полной объективизации метода необходим переход к цифровым методам анализа изображений.

Программный комплекс *ImageJ* представляет собой мощный инструмент для анализа цифровых изображений, широко используемый в научных исследованиях для обработки и количественного анализа изображений различного происхождения [3]. Разработанный в Национальном институте здравоохранения США (*NIH*), этот комплекс предоставляет обширный набор функций для измерения геометрических параметров объектов, количественного анализа цвета, текстурного и фрактального анализа изображений.

Выбор *ImageJ* в качестве основного инструмента анализа хроматограмм обусловлен рядом преимуществ: свободное распространение и открытый исходный код; обширная пользовательская база и развитая экосистема расширений; поддержка работы с изображениями в различных форматах; возможность автоматизации повторяющихся операций с помощью макросов и скриптов; кроссплатформенность (*Windows, macOS, Linux*).

Измерение геометрических параметров зон хроматограммы. Для измерения размеров зон на хроматограмме программа *ImageJ* предлагает несколько инструментов. Основным из них является функция измерения области (*Analyze → Measure*), которая позволяет автоматически определять площадь выделенной пользователем области или автоматически выделять области на основе пороговых значений интенсивности.

После калибровки масштаба изображения программа автоматически пересчитывает пиксельные измерения в метрические единицы. Функция *Measure* позволяет определять размерные характеристики (площадь, периметр, средний диаметр, минимальный и максимальный диаметры Ферет и др.) а также характеристики формы (круглость, округлость, сплошность, компактность и др.) (рисунок 1). Эти данные экспортируются в формате, пригодном для последующей статистической обработки в табличных процессорах или специализированных программах.

Results													
File Edit Font Results													
Label	Area	Mean	XM	YM	Circ	Feret	FeretX	FeretY	FeretAngle	MinFeret	AR	Round	Solidity
1 Диф_Зона_250ч_32 мм.tif	439.175	98.492	15.872	16.294	1.000	24.119	15.881	28.418	90	23.164	1.040	0.961	0.999

Рисунок 1 – Окно результатов определения геометрических характеристик с использованием функции *Measure*

Точность измерений ограничена разрешением исходного изображения. Для большинства современных сканеров и цифровых камер разрешение составляет единицы микрометров на пиксель, что обеспечивает погрешность измерений менее 1 %. Это существенно превосходит точность визуальной оценки.

Для анализа хроматограмм масляного пятна особый интерес представляет возможность измерения отношения диаметров ядра и зоны диффузии, которое служит индикатором диспергирующих свойств масла [1]. Программа позволяет автоматически выделять эти зоны на основе пороговой обработки и рассчитывать искомое отношение для каждой хроматограммы.

Количественная оценка окраски зон хроматограммы. Для измерения окраски зон хроматограммы в *ImageJ* используются инструменты анализа гистограммы и измерения значений пикселей. Функция *Analyze* → *Color Histogram* отображает распределение значений интенсивности выделенной области в пространстве *RGB* (красный – зеленый – синий), позволяя количественно оценить степень однородности окраски и выявить наличие градиентов (рисунок 2).

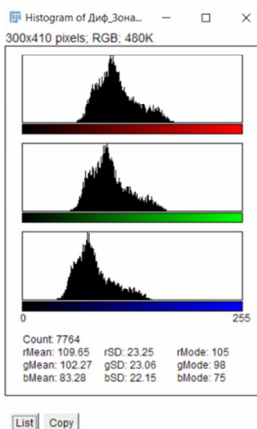


Рисунок 2 – Окно результатов оценки окраски с использованием функции *Color Histogram*

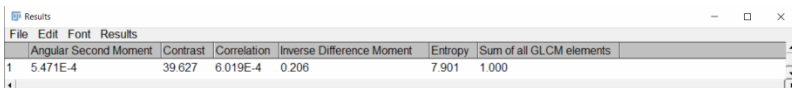
Измерение средней интенсивности в выделенной области дает числовой показатель, пропорциональный концентрации вещества в данной зоне хроматограммы. Для повышения информативности анализа используются дополнительные статистические характеристики: медиана, мода, стандартное отклонение, коэффициент вариации.

Программа поддерживает работу с изображениями в различных цветовых пространствах: *RGB*, *Grayscale* (оттенки серого), *HSB* (оттенок – насыщенность – яркость) и *CIELAB*. Для анализа хроматограмм желто-коричневых оттенков пространство *CIELAB* может быть предпочтительнее *RGB*, поскольку оно обеспечивает более равномерное восприятие различий в цвете человеческим глазом.

Текстурный анализ хроматограмм. Текстурный анализ хроматограмм представляет собой метод оценки структурных особенностей поверхности масляного пятна, основанный на выявлении и количественном описании закономерностей распределения оптических характеристик по площади хроматограммы. Текстура хроматограммы отражает микрогеометрию поверхности масляного пятна и содержит информацию о процессах, протекавших при формировании хроматографического рисунка.

Классическим инструментом текстурного анализа являются матрицы *GLCM* (*Gray Level Co-occurrence Matrix*) [7]. Матрица *GLCM* описывает вероятность совместного появления пар пикселей с определенными значениями интенсивности на заданном расстоянии и в заданном направлении. На основе *GLCM* вычисляются ряд текстурных параметров: контраст, корреляция, однородность, энергия, энтропия и др.

В программе *ImageJ* матрица *GLCM* и связанные с ней текстурные параметры вычисляются с помощью плагина *GLCM Texture*. Плагин вычисляет 8 текстурных параметров: угловой второй момент (*Angular Second Moment*), контраст, корреляцию, сумму квадратов дисперсии, инерцию (*Inverse Difference Moment*), сумму средних, сумму дисперсии и сумму энтропии (рисунок 3).



The screenshot shows the 'Results' window in ImageJ. It contains a table with 8 columns representing different GLCM texture parameters. The first row of data shows the following values: 5.471E-4, 39.627, 6.019E-4, 0.206, 7.901, and 1.000. The last two columns are empty.

	Angular Second Moment	Contrast	Correlation	Inverse Difference Moment	Entropy	Sum of all GLCM elements	
1	5.471E-4	39.627	6.019E-4	0.206	7.901	1.000	

Рисунок 3 – Окно результатов текстурного анализа с использованием плагина *GLCM Texture*

Фрактальный анализ изображений. Фрактальный анализ представляет собой математический подход к описанию объектов и явлений, характеризующихся самоподобной структурой на различных масштабах [8]. Фрактальные свойства объектов описываются фрактальной размерностью – числом, которое количественно характеризует степень заполнения пространства объектом и его сложность.

Применительно к хроматограммам моторных масел фрактальный анализ позволяет охарактеризовать геометрическую сложность границ зон разделения и текстуру поверхности масляного пятна. Фрактальная размерность границы зоны хроматограммы отражает степень нерегулярности этой границы и может служить индикатором процессов, протекавших при формировании зоны.

В *ImageJ* фрактальный анализ реализован с помощью плагина *FracLac* [9]. Плагин позволяет вычислять фрактальную размерность методом подсчета ячеек (*box counting*), а также анализировать лакунарность и мультифрактальные характеристики изображений. Метод *box counting* заключается в последовательном покрытии изображения сеткой квадратов различного размера и подсчете числа квадратов, содержащих часть анализируемого объекта. Зависимость числа заполненных квадратов от размера квадрата в логарифмических координатах представляет собой прямую линию, тангенс угла наклона которой равен фрактальной размерности.

Кроме того, в *ImageJ* доступна встроенная функция *Fractal Box Count* (*Analyze* → *Tools* → *Fractal Box Count*), которая требует бинарного изображения и вычисляет фрактальную размерность выделенных объектов. Для анализа хроматограмм границы зон могут быть выделены с помощью пороговой обработки, а затем проанализированы на предмет фрактальной размерности.

На основе проведенного анализа ограничений визуальной оценки и возможностей инструментов компьютерного зрения становится очевидным, что традиционный подход к интерпретации хроматограмм масляного пятна требует существенного пересмотра. Комплексный подход к анализу хроматограмм с использованием *ImageJ* предполагает одновременное использование нескольких методов: измерения геометрических параметров зон, количественной оценки окраски, текстурного анализа и фрактального анализа.

Комбинация этих методов позволяет получить многопараметрическую характеристику хроматограммы, которая может служить основой для разработки математических моделей оценки состояния моторного масла. Каждый из методов вносит свой вклад в общую информативность анализа: геометрические параметры отражают масштабные характеристики зон, цветовые характеристики – химический состав, текстурные параметры – структурные особенности, фрактальные характеристики – сложность и нерегулярность.

Применение компьютерного зрения для анализа хроматограмм обеспечивает ряд существенных преимуществ перед традиционными методами. Цифровое представление хроматограммы позволяет сохранять результаты измерений в стандартизированной форме, пригодной для долговременного хранения, сравнения и статистического анализа. Автоматизация процедуры измерений снижает трудозатраты и исключает влияние субъективных факторов. Возможность обработки больших массивов данных позволяет накапливать базу измерений для разработки и валидации статистических моделей оценки состояния масел.

Список использованной литературы

1. Капцевич, В.М. Экспресс-методы контроля свойств моторного масла автотракторных двигателей внутреннего сгорания в условиях организаций агропромышленного комплекса / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – 120 с.
2. Standard Test Method for Measuring the Merit of Dispersancy of In-Service Engine Oils with Blotter Spot Method: ASTM D7899-19. – ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019. – 7 p.
3. Ferreira, T. ImageJ user guide / Fiji 1.46 / T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.
4. Сидоров, В.А. Техническая диагностика механического оборудования: учебник / В.А. Сидоров. – Москва: Инфра-Инженерия, 2021. – 256 с.
5. Амелин, В.Г. Хроматографические методы анализа: практикум / В.Г. Амелин; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 72 с.
6. Gołębiowski, W. Preventive maintenance in urban public transport: the role of engine oil analysis / W. Gołębiowski, A. Wolak, G. Zając // Scientific Reports. – 2024. – V. 14. – Article 30894.
7. Haralick, R.M. Textural features for image classification / R.M. Haralick, K. Shanmugam, I. Dinstein // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1973. – Vol. SMC-3. – № 6. – P. 610-621.
8. Richardson, L.F. The problem of contiguity: an appendix to Statistics of Deadly Quarrels / L.F. Richardson // Gen. Sys. Yearbook. – 1961. – Vol. 6. – P. 139-187.
9. Souza, P.V.S. A simple and didactic method to calculate the fractal dimension – an interdisciplinary tool / P.V.S. Souza, R.L. Alves, W.F. Balthazar // *arXiv :Physics Education*. – 2018. – P. 1-7.

Summary. This article presents an overview of modern capabilities for analyzing motor oil chromatograms using computer vision tools. The limitations of traditional visual methods for assessing chromatograms are discussed, and the need to transition to instrumental analysis is substantiated. The capabilities of ImageJ software for performing morphological analysis of chromatogram zones, colorimetric assessment of their color, texture analysis using a GLCM gray-level co-occurrence matrix, and fractal analysis are described in detail. A comparative analysis of existing approaches is provided, and the advantages of comprehensive multiparameter analysis of digital chromatogram images for assessing the condition of motor oils are described.

УДК 621.432/004.932

Корнеева В.К., кандидат технических наук, доцент;

Капцевич В.М., доктор технических наук, профессор

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА *GLCM* В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ *IMAGEJ* ДЛЯ ОЦЕНКИ ХРОМАТОГРАММ МОТОРНОГО МАСЛА

Аннотация. Рассмотрены методические возможности применения текстурного анализа цифровых изображений на основе матрицы совместной встречаемости

уровней серого (*GLCM*), реализованного в плагине *GLCM Texture* программного комплекса *ImageJ*, для оценки текстуры хроматограмм моторного масла. Приведено математическое описание алгоритма построения *GLCM* и расчета основных текстурных параметров: углового второго момента, контраста, корреляции, обратного разностного момента и энтропии. Выполнена физическая интерпретация указанных параметров применительно к характерным зонам масляного пятна.

Abstract. This paper examines the potential of using digital image texture analysis based on the gray-level co-occurrence matrix (GLCM), implemented in the GLCM Texture plugin of the ImageJ software package, to assess the texture of motor oil chromatograms. A mathematical description of the GLCM construction algorithm and calculation of the key texture parameters – angular second moment, contrast, correlation, inverse difference moment, and entropy – is provided. A physical interpretation of these parameters is provided for characteristic zones of an oil slick.

Ключевые слова. Капельная проба, моторное масло, хроматограмма, текстурный анализ, *GLCM*, *ImageJ*.

Keywords. Blotter Spot, motor oil, chromatogram, texture analysis, GLCM, ImageJ.

Эксплуатация дизельных двигателей внутреннего сгорания сопровождается накоплением в моторном масле продуктов окисления, загрязняющих частиц различного происхождения и продуктов износа деталей. Своевременная диагностика состояния смазочных материалов позволяет предотвратить аварийные отказы двигателя, оптимизировать межсервисные интервалы и снизить эксплуатационные затраты.

Традиционные методы анализа моторных масел, основанные на физико-химических испытаниях и спектральном определении элементного состава, требуют специализированного оборудования, значительного времени и высокой квалификации персонала. В этих условиях актуальной является разработка экспресс-методов оценки состояния масел, которые могут быть реализованы в полевых условиях без сложного лабораторного оборудования. Одним из таких экспресс-методов является метод капельной пробы, основанный на растекании капли моторного масла по фильтровальной бумаге и формировании концентрических зон, размеры, окрашивания и текстура которых различна в зависимости от времени ихработки. Нами разработаны методы оценки размеров и окрашивания зон с использованием плагинов и инструментов *Find Edges*, *Interactive 3D Surface Plot*, *Radial Profile*, *Color Inspector 3D* программного комплекса *ImageJ* [1], описанные в работах [2–4]. В то же время, нерешенная задача оценки текстуры зон масляного может быть решена с помощью плагина *GLCM Texture* программного комплекса *ImageJ*.

Целью работы является анализ и обоснование методических возможностей применения текстурного анализа на основе матрицы совместной встречаемости уровней серого (*GLCM*), реализованного в плагине *GLCM Texture*, для количественного описания текстуры хроматограмм моторных масел.

Матрица совместной встречаемости уровней серого (*GLCM*) является одним из наиболее широко применяемых методов описания текстуры цифровых изображений. Концепция *GLCM* была впервые предложена *Haralick R.M.* в 1973 г. [5] для анализа аэрофотоснимков и в настоящее время нашла применение в различных областях обработки изображений: медицинской диагностике, дистанционном зондировании, анализе материалов, контроле качества продукции и др. [6–9].

Математически нормализованная *GLCM* представляет собой квадратную матрицу размером $N \times N$, где N – количество уровней градаций серого анализируемого изображения. Каждый элемент матрицы $P(i, j)$ определяется как вероятность совместного появления пары пикселей с уровнями яркости i и j , расположенных на заданном расстоянии d и в заданном направлении θ .

Формула для вычисления элемента *GLCM* имеет следующий вид:

$$P(i, j | d, \theta) = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \begin{cases} 1 & \text{если } I(x, y) = i \text{ и } I(x + \Delta x, y + \Delta y) = j \\ 0 & \text{если } I(x, y) \neq i \text{ и } I(x + \Delta x, y + \Delta y) \end{cases}}{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \begin{cases} 1 & \text{если } I(x, y) = i \text{ и } I(x + \Delta x, y + \Delta y) = j \\ 0 & \text{если } I(x, y) \neq i \text{ и } I(x + \Delta x, y + \Delta y) \end{cases}},$$

где: $I(x, y)$ – интенсивность пикселя с координатами (x, y) ;

Δx и Δy – смещение, определяемое расстоянием d и направлением θ ;

M, N – размеры изображения в пикселях;

L – количество уровней градаций серого ($L = 256$ для 8-bit).

Нормализованная *GLCM* представляет собой матрицу вероятностей, сумма всех элементов которой равна единице. Нормализация обеспечивает инвариантность результатов к размеру анализируемой области и общему числу пар пикселей.

Плагин *GLCM Texture* реализует стандартный алгоритм вычисления *GLCM* и набора производных текстурных статистик. Для настройки анализа необходимо задать следующие параметры в диалоговом окне плагина.

Расстояние d (строка «*Enter the size of the step in pixels*») – определяет смещение (в пикселях) между парой анализируемых пикселей при построении *GLCM*. Малые значения (1–3 пикселя) чувствительны к мелко-масштабным вариациям яркости, связанным с отдельными мелкими частями. Средние значения (5–10 пикселей) характеризуют текстурные паттерны среднего масштаба и агломераты. При анализе хроматограмм масляных пятен расстояние d следует выбирать минимальным ($d = 1$).

Направление θ (строка «*Select the direction of the step*») – задает направление (угол в градусах) между горизонтальной осью и направлением смещения. Плагин позволяет вычислить *GLCM* для четырех основных направлений: 0° , 90° , 180° , 270° . Для хроматограмм масляных пятен, обладающих радиальной симметрией, необходимо использовать усреднение

по всем направлениям для получения инвариантных к ориентации результатов ($\theta = 0 \text{ degrees}$).

На основе нормализованной *GLCM* плагин вычисляет следующие пять текстурных статистических параметров изображения.

Angular Second Moment (угловой второй момент) *ASM* – характеризует степень упорядоченности текстуры:

$$ASM = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} [P(i, j)]^2.$$

Максимальное значение *ASM*, равное 1, достигается, когда все элементы *GLCM* сосредоточены в одной точке (все пиксели имеют одинаковую яркость). Минимальные значения соответствуют равномерному распределению элементов матрицы, что характерно для случайной, неупорядоченной текстуры. Высокие значения *ASM* указывают на однородную, упорядоченную структуру анализируемой области: чистое масло характеризуется более высокими значениями *ASM*, поскольку текстура базового масла на фильтровальной бумаге однородна. По мере накопления загрязнений структура становится более хаотичной, что приводит к снижению *ASM*.

Contrast (контраст) – характеризует локальную изменчивость интенсивности окрашивания:

$$Contrast = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} (i - j)^2 P(i, j).$$

Контраст измеряет разницу в интенсивности окрашивания (квадрат разности уровней серого) между соседними пикселями, взвешенную по вероятности их совместного появления. Высокие значения контраста указывают на наличие резких перепадов яркости – «крутых» границ между светлыми и темными областями. Нулевое значение контраста соответствует изображению с постоянной яркостью. Высокие значения контраста на хроматограмме характерны для зон с высокой концентрацией крупных частиц, создающих неоднородное распределение оптической плотности. Ядро масляного пятна обычно имеет повышенный контраст вследствие наличия крупных агломератов с резкими границами. Диффузионная зона, напротив, характеризуется более равномерным распределением мелкодисперсной сажи и, следовательно, меньшими значениями контраста.

Correlation (корреляция) – мера линейной зависимости между уровнями интенсивности окрашивания:

$$Correlation = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} (i - \mu_i)(j - \mu_j) P(i, j)}{\sigma_i \sigma_j},$$

где μ_i, μ_j – средние значения частных распределений;

σ_i, σ_j – их стандартные отклонения.

Корреляция показывает степень линейной связи между значениями интенсивности окрашивания пары пикселей. Значение +1 указывает на полную положительную линейную зависимость (интенсивность окрашивания пары пикселей изменяется синхронно). Значение 0 указывает на отсутствие линейной корреляции. Отрицательные значения возможны для инвертированных текстур. Высокая корреляция на хроматограмме масляного пятна свидетельствует о постепенных, плавных пространственных вариациях концентрации загрязнений. Резкое снижение корреляции указывает на наличие дискретных структур – отдельных частиц или агломератов, контрастирующих с окружающим фоном.

Inverse Difference Moment (обратный разностный момент) *IDM* – локальная однородность (гомогенность) изображения определяется по формуле:

$$IDM = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \frac{P(i, j)}{1 + (i - j)^2}.$$

Высокие значения *IDM* указывают на преобладание пар пикселей с близкими уровнями яркости ($|i-j|$ мало), что соответствует гладким, равномерно окрашенным областям без резких перепадов. Максимальное значение $IDM = 1$ достигается для изображения, в котором все пиксели имеют одинаковое значение интенсивности окрашивания. Для хроматограммы чистого масла характерны высокие значения *IDM*, свидетельствующие об однородном распределении поглощающего материала. По мере накопления загрязнений *IDM* снижается вследствие увеличения доли пар пикселей с различной интенсивностью окрашивания. Значение *IDM* ядра должно быть более низким по сравнению с диффузионной зоной.

Entropy (энтропия) – мера хаотичности и неоднородности текстуры определяется по формуле:

$$Entropy = - \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j) \log_2 P(i, j),$$

при этом $P(i, j) \log_2 P(i, j) = 0$ при $P(i, j) = 0$.

Энтропия достигает максимума при равномерном распределении элементов *GLCM*, когда все элементы матрицы имеют примерно одинаковую вероятность. Это соответствует максимальной случайности и информационной сложности текстуры. Минимальные значения энтропии характерны для упорядоченных, предсказуемых текстур. Для хроматограмм моторных масел высокая энтропия указывает на сложную, неоднородную структуру, обусловленную наличием частиц различного размера и формы. Чистое масло характеризуется более низкими значениями энтропии. Диффузионная зона может иметь повышенную энтропию вследствие случайного распределения мелких частиц сажи.

В работе проведен анализ возможностей применения текстурного анализа изображений на основе матрицы совместной встречаемости уровней серого, реализованного в программной среде *ImageJ*. Показано, что параметры *GLCM* обладают информативностью для описания текстуры хроматограмм масляного пятна и имеют четкую физическую интерпретацию, связанную с распределением загрязнений и продуктами деградации масла.

Использование плагина *GLCM Texture* позволяет формализовать анализ текстуры и перейти от качественной визуальной оценки к количественным характеристикам. При этом определены ключевые параметры (*ASM*, контраст, корреляция, *IDM*, энтропия), которые потенциально могут быть использованы в качестве диагностических показателей.

Таким образом, текстурный анализ на основе *GLCM* является перспективным инструментом для развития цифровых методов обработки изображений масляных пятен. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований, направленных на экспериментальную верификацию и разработку количественных критериев оценки состояния моторных масел.

Список использованной литературы

1. Ferreira, T. ImageJ user guide / Fiji 1.46 / T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.
2. Корнеева, В.К. Методы оценки экспериментальных результатов экспресс-тестирования моторных масел, основанные на использовании программного комплекса *ImageJ*. Часть 1. Колориметрические методы / В.К. Корнеева, В.М. Капцевич // Агропанорама. – 2024. – № 6. – С. 29-36.
3. Корнеева, В.К. Методы оценки экспериментальных результатов экспресс-тестирования моторных масел, основанные на использовании программного комплекса *ImageJ*. Часть 5. Цифровая обработка хроматограмм моторного масла, полученных методом капельной пробы / В.К. Корнеева, В.М. Капцевич // Агропанорама. – 2025. – № 6. – С. 29-36.
4. Корнеева, В.К. Методы оценки экспериментальных результатов экспресс-тестирования моторных масел, основанные на использовании программного комплекса *ImageJ*. Часть 6. Альтернативная бесприборная методика оценки свойств моторного масла согласно ASTM D7899 / В.К. Корнеева, В.М. Капцевич // Агропанорама. – 2026. – № 1. – С. 28-33.
5. Haralick, R.M. Textural features for image classification / R.M. Haralick, K. Shanmugam, I. Dinstein // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1973. – Vol. SMC-3. – № 6. – P. 610-621.
6. Materka, A. On the effect of image brightness and contrast nonuniformity on statistical texture parameters / A. Materka, M. Strzelecki // Foundations of computing and decision sciences. – 2015. – Vol. 40. – № 3. – P. 163-184.
7. Фраленко, В.П. Методы текстурного анализа изображений, обработка данных дистанционного зондирования Земли / В.П. Фраленко // Программные системы: теория и приложения. – 2014. – № 4(22). – С. 19-39.

8. Мокрова, С.М. Сравнительное исследование методов представления результатов текстурного анализа поликристаллических материалов / С.М. Мокрова, В.Н. Милич // Интеллектуальные системы в производстве. – 2023. – Том 21. – № 1. – С. 23–32.

9. Haddad, Y.M. Food texture analysis in quality evaluation and product development / Y.M. Haddad // Journal of Food Science Research. – 2025. – № 10 (2). P. 1-2.

Summary. This paper analyzes the potential of image texture analysis based on a gray-level co-occurrence matrix, implemented in the ImageJ software environment. It is shown that GLCM parameters are informative for describing the texture of oil slick chromatograms and have a clear physical interpretation related to the distribution of contaminants and oil degradation products. Using the GLCM Texture plugin allows for formalizing texture analysis and moving from a qualitative visual assessment to quantitative characteristics. Key parameters (ASM, contrast, correlation, IDM, entropy) that can potentially be used as diagnostic indicators are identified.

УДК 621.432/004.932

Корнеева В.К., кандидат технических наук, доцент;
Капцевич В.М., доктор технических наук, профессор;
Пернач Е.Е.; Королец И.С.; Селицкий Е.И., студенты
*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХРОМАТОГРАММ МОТОРНОГО МАСЛА ЛУКОЙЛ АВАНГАРД 10W-40 В RGB-ПРОСТРАНСТВЕ

Аннотация. Представлены результаты исследования возможностей экспресс-диагностики моторного масла Лукойл Авангард 10W-40 с применением колориметрического анализа. Для измерения RGB-характеристик в кольцевых зонах хроматограмм моторного масла с различной наработкой использован плагин *Color Inspector 3D* программы *ImageJ*. Установлены корреляционные зависимости между цветовыми параметрами и степенью деградации масла. Определены пороговые значения RGB-компонентов для оценки технического состояния масла.

Abstract. The results of a study examining the rapid diagnostic capabilities of Lukoil Avangard 10W-40 motor oil using colorimetric analysis are presented. The Color Inspector 3D plugin of ImageJ was used to measure RGB characteristics in the annular zones of chromatograms of motor oils with different mileage levels. Correlations between color parameters and the degree of oil degradation were established. Threshold values for RGB components for assessing the technical condition of the oil were determined.

Ключевые слова. Хроматограмма моторного масла, колориметрия, RGB-анализ, экспресс-диагностика, *ImageJ*, *Color Inspector 3D*, деградация масла.

Keywords. Motor oil chromatogram, colorimetry, RGB analysis, express diagnostics, ImageJ, Color Inspector 3D, oil degradation.

Экспресс-диагностика состояния моторных масел является важной задачей технического обслуживания ДВС автотракторной техники. Традиционные лабораторные методы анализа требуют значительного времени и специализированного оборудования, что делает их непригодными для оперативной оценки состояния масла непосредственно в полевых условиях [1]. Одним из простых и информативных экспресс-методов является метод капельной пробы (*Blotter Spot*) [2], основанный на капиллярной хроматографии моторного масла на фильтровальной бумаге, который позволяет получать визуальную картину (хроматограмму) распределения продуктов дегградации в масляном пятне.

Среди современных методов экспресс-анализа особое место занимает колориметрический анализ [3], основанный на измерении цветовых характеристик объектов исследования. Такой подход при анализе хроматограмм позволяет количественно оценить степень дегградации масла без использования дорогостоящего оборудования. Визуальная оценка масляного пятна давно применяется для определения состояния масла, однако субъективность восприятия цвета ограничивает точность диагностики. Применение инструментальных методов измерения цвета позволяет объективизировать результаты анализа и обеспечить воспроизводимость данных.

Целью настоящей работы является установление количественных критериев оценки состояния моторного масла на основе *RGB*-измерений в различных зонах масляного пятна с использованием программного обеспечения для колориметрического анализа изображений.

При нанесении капли моторного масла на фильтровальную бумагу происходит ее капиллярное растекание. При этом крупные частицы износа деталей ДВС, агрегированной сажи и продукты термического разложения масла в результате механизма поверхностного фильтрования формируют зону ядра. Более мелкие частицы коллоидной сажи, вода и топливо продвигаются дальше по капиллярам бумаги в режиме глубинного фильтрования, образуя диффузионную зону. Мелкие молекулы и полярные соединения формируют периферийную зону чистого масла и топлива.

В процессе эксплуатации моторное масло подвергается комплексу деструктивных процессов. Термическое окисление приводит к образованию кислородсодержащих соединений – спиртов, кетонов, альдегидов и карбоновых кислот. Эти соединения имеют более высокую полярность по сравнению с исходными углеводородами и характеризуются интенсивной коричневой окраской. Накопление сажи в масле является индикатором неполного сгорания топлива и проявляется в почернении масляного пятна. Попадание охлаждающей жидкости в масло приводит к образованию эмульсий и изменению структуры масляного пятна. Присутствие антифриза вызывает появление характерных желто-оранжевых включений.

В качестве объекта исследований выбирались цифровые изображения хроматограмм моторных масел Лукойл Авангард 10W-40 с наработкой 33,

88, 185 и 250 ч, отобранных из картера ДВС Д-260.4S2 трактора Беларусь 2022.3 при проведении весенних полевых работ.

Колориметрический анализ в RGB -пространстве выполнялся в программном комплексе *ImageJ* [4] с использованием плагина *Color Inspector 3D* [5–7]. Данный плагин позволяет проводить измерения в различных цветовых пространствах (RGB , HSV , Lab и др.) В настоящей работе для обеспечения максимальной воспроизводимости и простоты интерпретации результатов использовалось цветовое пространство RGB , основанное на аддитивном смешении трех основных цветов – красного (*Red*), зеленого (*Green*) и синего (*Blue*). Каждый пиксель изображения характеризуется тремя значениями интенсивности в диапазоне от 0 до 255.

Для каждой хроматограммы моторного масла с различной наработкой проводились измерения в цветовых координатах RGB для ядра, диффузионной зоны и всего масляного пятна. Для обеспечения статистической достоверности средних значений измерения проводились при помощи инструмента выделения области интереса, охватывающего не менее 500 пикселей. Кроме получения численных значений цветовых координат R , G и B плагин позволяет визуализировать выделенную область в RGB -пространстве (рисунк).

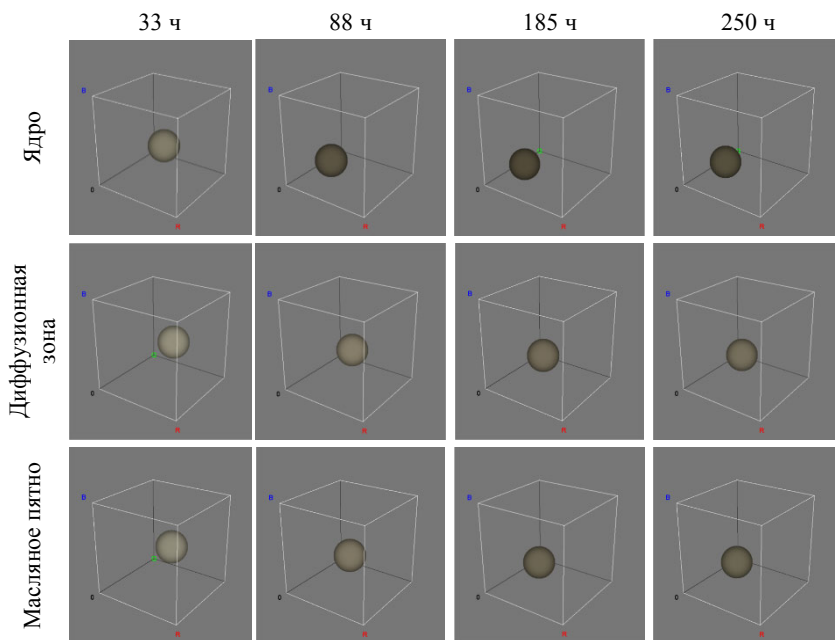


Рисунок – Визуализация зон хроматограмм моторного масла с различной наработкой в RGB -пространстве

По полученным данным измерений рассчитывали яркость I по формуле [8]:

$$I = 0,299R + 0,587G + 0,114B ,$$

а также разность между цветовыми координатами R и $B - \Delta_{R,B}$ и разность между цветовыми координатами R и $G - \Delta_{R,G}$. Кроме того дополнительно оценивали количественное изменение цветовых координат ε (%) с увеличением наработки с 33 ч до 185 ч.

Результаты измерений и расчетов исследуемых параметров представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений и расчетов исследуемых параметров в RGB -пространстве

Зона	Параметр	Наработка, ч				ε , %
		33 ч	88 ч	185 ч	250 ч	
Ядро	R	130	92	82	86	–37%
	G	126	85	75	81	–41%
	B	107	68	58	63	–46%
	I	125	85	75	80	–40%
	$\Delta_{R,B}$	23	24	24	23	–
	$\Delta_{R,G}$	4	7	7	5	–
Диффузионная зона	R	149	135	118	118	–21%
	G	145	127	110	111	–24%
	B	126	107	91	91	–28%
	I	144	127	110	111	–24%
	$\Delta_{R,B}$	23	28	27	27	–
	$\Delta_{R,G}$	4	8	8	7	–
Масляное пятно	R	145	129	109	108	–25%
	G	141	121	102	103	–28%
	B	123	102	83	83	–33%
	I	140	121	102	102	–27%
	$\Delta_{R,B}$	22	27	26	25	–
	$\Delta_{R,G}$	4	8	7	5	–

Ядро масляного пятна представляет собой центральную зону, где концентрируются тяжелые продукты деградации. Анализ результатов, представленных в таблице 1, для ядра, представляющего собой зону, в которой концентрируются тяжелые продукты деградации, показывает заметное снижение яркости при увеличении наработки. Так, яркость уменьшается с 125 при 33 ч до 75 при 185 ч, что составляет снижение на 40 %. Разность $\Delta_{R,B}$ стабильно сохраняется на уровне 23–24, что указывает на преобладание желто-коричневых оттенков во всех исследованных образцах.

В диффузионной зоне, характеризующейся мелкими по размеру продуктами деградации, наблюдается аналогичная тенденция к снижению яркости, однако интенсивность изменений меньше. Снижение яркости составляет

24 % (с 144 до 110) при переходе от 33 к 185 ч наработки. При этом разность $\Delta_{R,B}$ увеличивается с 23 до 27–28, что свидетельствует о более интенсивном накоплении продуктов окисления в периферийной зоне.

Интегральные показатели масляного пятна демонстрируют снижение яркости на 27 % при увеличении наработки от 33 до 185 ч. Стабилизация параметров наблюдается в интервале 185–250 ч, что может свидетельствовать о достижении квазиравновесного состояния системы.

Данные таблицы 1 показывают, что наиболее информативной зоной для диагностики является ядро масляного пятна, где изменения выражены наиболее интенсивно. Яркость ядра снижается на 40 %, тогда как масляное пятно демонстрирует снижение на 27 %.

Анализ полученных данных позволяет выделить три стадии деградации исследуемого масла. Первая стадия (33–88 ч) характеризуется интенсивным снижением яркости во всех зонах пятна. Переход от 33 к 88 ч сопровождается снижением яркости ядра на 32 %, что указывает на активное накопление продуктов деградации. Вторая стадия (88–185 ч) отличается менее интенсивными изменениями. Переход от 88 к 185 ч вызывает снижение яркости ядра еще на 12 %. Темпы деградации замедляются, что может быть связано с достижением квазиравновесного состояния между процессами образования и удаления продуктов деградации. Третья стадия (185–250 ч) демонстрирует стабилизацию параметров. Изменения яркости минимальны, разности $\Delta_{R,B}$ и $\Delta_{R,G}$ возвращаются к значениям, близким к начальным. Данный эффект может быть обусловлен выходом на режим «насыщения» или особенностями применяемого масла с противозадирными присадками.

На основании полученных данных разработаны предварительные диагностические критерии оценки состояния масла Лукойл Авангард 10W–40 по колориметрическим параметрам (таблица 2).

Таблица 2 – Диагностические критерии по яркости ядра

Состояние	I ядра	$\Delta_{R,G}$ (ядро)	$\Delta_{R,B}$ (ядро)	$\Delta_{R,G}$ (дифф. зона)	$\Delta_{R,B}$ (дифф. зона)	Интерпретация
Отличное	>110	<3	<20	<3	<20	Низкое содержание продуктов деградации
Хорошее	85–110	3–5	20–25	3–5	20–25	Допустимое содержание продуктов
Удовлетворительное	72–85	5–7	25–28	5–8	25–30	Требуется контроль
Неудовлетворительное	<72	>7	>28	>8	>30	Рекомендуется замена

Таким образом, колориметрический анализ хроматограмм масляного пятна с использованием плагина *Color Inspector 3D* программного комплекса *ImageJ* позволяет количественно оценить степень деградации мо-

торного масла Лукойл Авангард 10W-40. Установлена корреляционная зависимость между наработкой моторного масла и снижением яркости в различных зонах масляного пятна. Показано, что наиболее информативной зоной является ядро, где снижение яркости достигает 40 %. Определены пороговые значения RGB -параметров для диагностики состояния масла: яркость ядра менее 72 ед. указывает на необходимость замены масла. Показано, что разность $\Delta_{R,B}$ является стабильным индикатором, позволяющим оценить накопление продуктов окисления независимо от абсолютных значений яркости.

Список использованной литературы

1. Капцевич, В.М. Экспресс-методы контроля свойств моторного масла автотракторных двигателей внутреннего сгорания в условиях организаций агропромышленного комплекса / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – 120 с.
2. Standard Test Method for Measuring the Merit of Dispersancy of In-Service Engine Oils with Blotter Spot Method: ASTM D7899-19. – ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019. – 7 p.
3. Корнеева, В.К. Методы оценки экспериментальных результатов экспресс-тестирования моторных масел, основанные на использовании программного комплекса *ImageJ*. Часть 2. Цветовые модели и возможности их применения при колориметрических методах / В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, В.В. Остриков // Агропанорама. – 2025. – № 1. – с. 29-36.
4. Ferreira, T. ImageJ user guide / Fiji 1.46 / T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.
5. Barthel, K.U. 3D-Data Representation with ImageJ / K.U. Barthel // ImageJ Conference, 2006. – Luxembourg: Luxembourg Institute of Science and Technology, 2006. – 215458973.
6. Muljosumarto, C. A Case Study Color as a Visual Language: Focused on TV Commercial / C. Muljosumarto // NIRMANA. – 2017. – Vol. 17. – № 1, Januari. – P. 1-9.
7. Medina, J.J. A rapid and cost-effective pipeline for digitization of museum specimens with 3D photogrammetry / J.J. Medina [et al.] // PLoS ONE. – 2020. – № 15(8). – P. 1-14.
8. Рекомендация МСЭ-R BT.601-6. [Электронный ресурс] – URL : https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.601-6-200701-S!!PDF-R.pdf (Дата обращения: 11.05.2026).

Summary. Colorimetric analysis of oil slick chromatograms using the Color Inspector 3D plugin in ImageJ software allows for quantitative assessment of the degradation rate of Lukoil Avangard 10W-40 motor oil. A correlation was established between the oil's wear rate and the decrease in brightness in different areas of the oil slick. The most informative zone is the core, where the brightness decrease reaches 40 %.

Корнеева В.К., кандидат технических наук, доцент;
Капцевич В.М., доктор технических наук, профессор;
Закревский И.В., старший преподаватель;
Спиридович П.М., аспирант

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЧАСТИЦ ИЗНОСА В МОТОРНОМ МАСЛЕ *SHELL RIMULA 10W-40*

Аннотация. Представлены результаты морфологического анализа частиц износа, содержащихся в моторном масле *Shell Rimula 10W-40* с наработкой 100 ч. Исследование выполнено на фильтрограммах, полученных с помощью металлографического микроскопа *Polyvar*. С использованием инструмента *Analyze Particles* программы *ImageJ* определены морфологические характеристик частиц износа: площадь, периметр, диаметры Фере, круглость, сплошность и др. Показано, что методы металлографии в сочетании с цифровой обработкой изображений позволяют эффективно выявлять и количественно оценивать морфологию частиц износа в моторных маслах.

Abstract. The article presents the results of a morphological analysis of wear particles contained in Shell Rimula 10W-40 motor oil with 100 hours of service life. The study was performed on filtergrams obtained using a Polyvar metallographic microscope. Using the Analyze Particles tool in ImageJ, the morphological characteristics of the wear particles were determined, including area, perimeter, Feret diameters, roundness, continuity, and others. It is demonstrated that metallographic methods combined with digital image processing enable the effective detection and quantitative assessment of wear particle morphology in motor oils.

Ключевые слова. Моторное масло, фильтрограмма, металлография, частицы износа, *ImageJ*, *Analyze Particles*, морфологический анализ.

Keywords. Motor oil, filtergram, metallography, wear particles, ImageJ, Analyze Particles, morphological analysis.

Надежность и долговечность ДВС во многом определяются интенсивностью процессов изнашивания трущихся поверхностей. В процессе эксплуатации двигателя продукты износа попадают в моторное масло, которое становится носителем диагностической информации о техническом состоянии узлов трения [1]. Анализ частиц износа позволяет выявлять характер развивающихся дефектов, оценивать интенсивность изнашивания и прогнозировать остаточный ресурс ДВС.

Среди существующих методов исследования продуктов износа особое место занимает металлографический анализ. В отличие от спектральных методов, определяющих главным образом элементный состав, металло-

графия позволяет исследовать форму, размеры, распределение и морфологические особенности частиц. Именно геометрия частиц часто несет информацию о механизме их образования. Так, вытянутые частицы могут свидетельствовать об абразивном износе, пластинчатые – об усталостном разрушении поверхностных слоев, а мелкодисперсные округлые частицы – о нормальном эксплуатационном изнашивании [2].

Металлографический подход особенно эффективен при исследовании фильтрограмм моторных масел, полученных методом мембранной фильтрации [1]. Мембранная фильтрация обеспечивает концентрирование твердых загрязнений и частиц износа на поверхности фильтра, что создает благоприятные условия для последующего микроскопического анализа.

Современные цифровые методы обработки изображений значительно расширяют возможности металлографических исследований. Использование программного обеспечения *ImageJ* [3] позволяет автоматизировать процедуру измерения морфологических характеристик частиц и получать статистически достоверные данные по большим массивам объектов.

Целью работы является морфологический анализ частиц износа в моторном масле *Shell Rimula 10W-40* с использованием металлографической микроскопии и программной обработки изображений в среде *ImageJ*.

В качестве объекта исследования выбраны цифровые изображения фильтрограммы моторного масла *Shell Rimula 10W-40* с наработкой 100 ч, полученные с помощью металлографического микроскопа *Polyvar* на трех участках с увеличением 500× (рисунок 1). Выбор объекта обусловлен широким применением данного масла в ДВС автотракторной техники, а также необходимостью изучения динамики деградации масла и формирования продуктов износа при данной наработке.

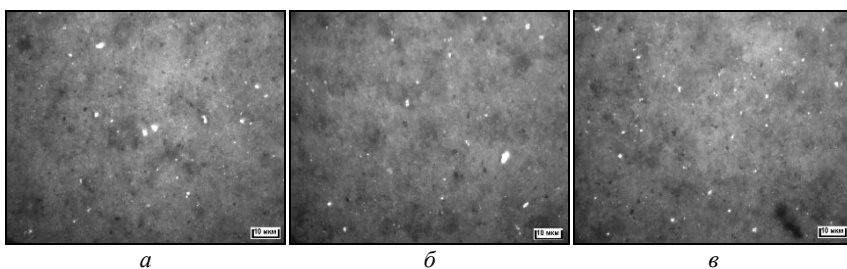


Рисунок 1 – Цифровые изображения фильтрограммы моторного масла *Shell Rimula*:
а – участок 1; б – участок 2; в – участок 3

На металлографических изображениях фильтрограммы наблюдаются светлые отражающие частицы и темные участки различной формы и размеров. Светлые частицы, обладающие высокой отражательной способно-

стью, с высокой вероятностью соответствуют металлическим частицам износа. Их яркий контраст в отраженном свете обусловлен высокой отражательной способностью металлической поверхности.

Темные участки фильтрограммы могут быть связаны с агломератами сажи, продуктами окисления масла, органическими загрязнениями и дисперсными углеродистыми образованиями. Фоновая структура фильтрограммы характеризуется относительно равномерным распределением мелкодисперсных загрязнений, что указывает на присутствие продуктов старения масла и мелкодисперсной сажи.

Обработка изображений выполнялась в программном комплексе *ImageJ*. Проводили предварительную обработку изображения, включающую создание копии, перевод ее в формат *8-bit*, калибровку (масштабирование) изображения, коррекцию контрастности и яркости и использование различных фильтров для улучшения изображения. Далее преобразовывали изображение в бинарное с выделением частиц износа, разделяли соприкасающиеся частицы и выбирали область интереса. На рисунке 2 представлено изображение фильтрограммы, готовое для проведения морфологического анализа.

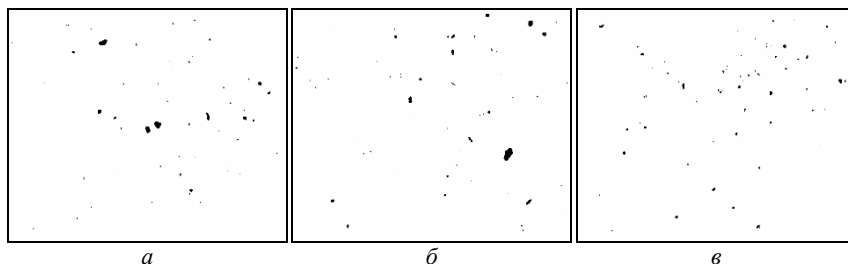
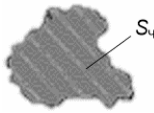
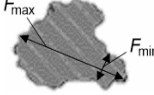
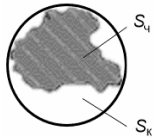
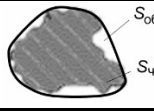
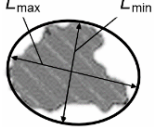


Рисунок 2 – Изображения фильтрограммы, готовое для морфологического анализа:
а – участок 1; б – участок 2; в – участок 3

Морфологический анализ проводили с использованием инструмента *Analyze Particles*, позволяющего, во-первых, задавать диапазоны размеров (площади) анализируемых частиц и их формы (круглость) и, во-вторых, получать результаты морфологических характеристик для каждой частицы по 25 параметрам.

Морфологический анализ частиц износа проводили по размерным характеристикам и характеристикам формы, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Морфологические характеристики частиц

Характеристики	Изображение	Обозначение, формула
<i>Area</i> (площадь частицы)		S_q – площадь частицы
<i>Perimeter</i> (периметр)		P_q – периметр частицы
<i>Max (Min) Feret</i> (максимальный (минимальный) Фере)		$F_{\max}$ и $F_{\min}$ – максимальный и минимальный диаметры Фере
<i>Circularity</i> (круглость)	–	$C = 4\pi S_q / P_q^2$
<i>Roundness</i> (округлость)		$R = S_q / S_k$, S_k – площадь наименьшей описывающей окружности
<i>Solidity</i> (сплошность)		$S = S_q / S_{об}$, $S_{об}$ – площадь описывающей выпуклой оболочки
<i>Aspect ratio (AR)</i> (соотношение сторон)		$AR = L_{\max} / L_{\min}$, $L_{\max}$ и $L_{\min}$ – длина главной и малой оси описывающего эллипса

В результате обработки изображений было проанализировано 192 частицы. Результаты описательной статистики представлены, включающие минимальное Min , максимальное Max и среднее значение μ морфологических характеристик, стандартное отклонение σ , также рассчитанные значения медианы Me , первого Q_1 и третьего Q_3 квартилей и межквартильного размаха IQR [4] и коэффициента вариации CV , представлены в таблице 2.

Для оценки морфологических характеристик частиц проводили статистический анализ, чтобы выявить взаимосвязи между параметрами и сделать выводы о свойствах частиц.

Таблица 2 – Описательная статистика морфологических параметров частиц износа

Параметр	Min	Max	μ	σ	Q_1	Me	Q_3	IQR	$CV, \%$
S_q , мкм ²	0,01	9,38	0,45	0,93	0,06	0,16	0,44	0,38	206,67
P_q , мкм	0,32	12,69	1,99	1,75	0,86	1,49	2,55	1,69	87,94
L_{max} , мкм	0,13	4,71	0,74	0,62	0,35	0,55	0,93	0,58	83,78
L_{min} , мкм	0,13	2,54	0,49	0,38	0,23	0,36	0,64	0,41	77,55
F_{max} , мкм	0,16	4,86	0,81	0,64	0,41	0,64	1,04	0,63	79,01
F_{min} , мкм	0,11	2,79	0,52	0,41	0,22	0,44	0,67	0,45	78,85
C	0,38	1,00	0,92	0,12	0,88	0,98	1,00	0,12	13,04
R	0,20	1,00	0,70	0,17	0,56	0,68	0,81	0,25	24,29
S	0,67	1,00	0,89	0,07	0,86	0,89	0,93	0,07	7,87
AR	1,00	5,11	1,55	0,51	1,24	1,46	1,79	0,55	32,90

Полученные результаты показывают, что основная часть частиц характеризуется небольшими размерами и высокой округлостью. Среднее значение C , близкое к единице, свидетельствует о преобладании относительно компактных частиц. Значение $AR = 1,55$ указывает на наличие умеренно вытянутых частиц. Подобная морфология характерна для частиц, возникающих при процессах абразивного и усталостного изнашивания. Высокие значения S свидетельствуют об отсутствии значительной фрактальности контуров большинства частиц.

Проведенный статистический анализ морфологических параметров частиц позволяет более детально оценить характер загрязнений и особенности процессов изнашивания.

Наиболее высокими коэффициентами вариации характеризуются параметры S_q и P_q . Значение CV для S_q частиц превышает 200 %, что свидетельствует о крайне неоднородном гранулометрическом составе загрязнений. В исследуемом масле одновременно присутствуют как мелкодисперсные частицы, так и относительно крупные включения. Существенная вариабельность параметров L_{max} , L_{min} , F_{max} и F_{min} также указывает на широкий диапазон размеров частиц. Максимальные значения S_q и параметра F_{max} значительно превышают медианные значения, что свидетельствует о наличии единичных крупных частиц износа.

Распределение большинства размерных параметров имеет выраженную правостороннюю асимметрию. Это подтверждается значительным различием между средними и медианными значениями. Например, средняя S_q почти в три раза превышает медианное значение. Подобная закономерность характерна для систем, содержащих небольшое количество крупных частиц на фоне преобладающей мелкодисперсной фракции. Наличие единичных крупных частиц может указывать на локальные процессы интенсивного механического разрушения поверхностей трения.

Высокие значения C и S свидетельствуют о том, что значительная часть частиц обладает относительно компактной и сглаженной формой. Медианное значение C , близкое к единице, указывает на преобладание частиц без выраженной угловатости. Низкий коэффициент вариации параметра S показывает сравнительно устойчивую структуру контуров частиц и отсутствие большого количества сильно фрагментированных или дендритных образований.

Параметр AR характеризуется умеренной вариабельностью. Его медианное значение свидетельствует о наличии умеренно вытянутых частиц. Подобная морфология может быть связана с процессами микрорезания и абразивного изнашивания. При этом отсутствие экстремально высоких значений AR у большинства частиц позволяет сделать вывод о том, что в исследуемом масле не наблюдается массового присутствия длинных стружкообразных фрагментов. Параметр R имеет более низкие значения по сравнению с C , что свидетельствует о наличии определенной анизотропии формы частиц. Это может быть связано с деформацией частиц в процессе трения и последующим дроблением.

Анализ квартилей показывает, что основная масса частиц сосредоточена в области малых размеров. Межквартильный размах для большинства параметров существенно ниже максимальных значений, что дополнительно подтверждает присутствие ограниченного числа крупных частиц.

Таким образом, проведенные исследования показали, что методы металлографии в сочетании с цифровой обработкой изображений позволяют эффективно выявлять и количественно оценивать морфологию частиц износа, что делает данный подход перспективным для диагностики технического состояния ДВС.

Список использованной литературы

1. Капцевич, В.М. Экспресс-методы контроля свойств моторного масла автотракторных двигателей внутреннего сгорания в условиях организаций агропромышленного комплекса / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – 120 с.
2. Корнеева, В.К. Аналитическая феррография моторного масла – один из основных методов контроля износа трибосопряжений ДВС / В.К. Корнеева [и др.] // Агропанорама. – 2023. – № 4. – С. 26-33.
3. Ferreira, T. ImageJ user guide / Fiji 1.46 / T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.
4. Красько, О. В. Статистический анализ данных в медицинских исследованиях: в 2 ч. / О. В. Красько. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2014. – Ч. I. – 127 с.

Summary. The conducted studies have shown that metallography methods in combination with digital image processing allow for the effective detection and quantitative assessment of the morphology of wear particles, which makes this approach promising for diagnosing the technical condition of internal combustion engines.

Кусин Р.А.¹, кандидат технических наук, доцент;

Астапенко А.А.¹; Кунцевич М.Д.¹;

Андрушевич А.А.², кандидат технических наук, доцент;

Закревский И.В.², старший преподаватель

¹ ГНУ «Институт порошковой металлургии

имени академика О.В. Романа», г. Минск, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ОРТОТРОПНОЙ СТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ ТКАНЫХ СЕТОК В АПК

Аннотация. Раскрыты преимущества фильтрующих материалов с ортотропной структурой на основе тканых сеток. Показана перспектива их применения на предприятиях АПК, в частности в качестве фильтрующих и дренажных элементов.

Abstract. The filter materials with an orthotropic structure based on woven meshes (FMWM) advantages are revealed. The potential for their application in agricultural enterprises, particularly as filter and drainage elements, is demonstrated.

Ключевые слова. Фильтрующий материал, очистка дизельного топлива, дренажный элемент, тканые сетки, ортотропная структура, проницаемость, тонкость очистки.

Keywords. Filter material, diesel fuel cleaning, drainage element, fabric meshes, orthotropic structure, permeability, fine cleaning.

Введение. Техника и оборудование современных предприятий агропромышленного комплекса не могут обойтись без фильтрации жидких и газообразных сред фильтрующими материалами (используемых в качестве участников технологического цикла при изготовлении продукции или предметов потребления) с целью их очистки, равномерного распределения по площади фильтрации, диспергирования, обеспечения безопасных условий труда и др., что обеспечивает достижение требуемого качества производимой с их помощью продукции или безотказную и безопасную работу машин и механизмов [1-4]. Для очистки газов и жидкостей от твердых механических примесей как в бытовых, так и в промышленных системах достаточно широко применяются сетчатые фильтрующие материалы (СФМ), имеющие ряд достоинств, обусловленных сочетанием высокой прочности и проницаемости, высокой термостойкостью, способностью к многократной регенерации [5,6]. Недостатком СФМ является их невысокая грязеемкость, сокращающая ресурс работы до регенерации. Процесс

регенерации СФМ затруднен, полностью удалить из ячеек все частицы загрязнений проблематично, сами ячейки подвержены деформации [7]. Институтом порошковой металлургии имени академика О.В. Романа и БГАТУ разработан фильтрующий материал с ортотропной структурой (ФМТС), состоящий из пакета тканых сеток и лишенный указанных недостатков [8,9]. Поток очищаемой среды в процессе эксплуатации ФМТС направляется параллельно ячейкам сеток, а выходит в перпендикулярном направлении по отношению к первоначальному (через ячейки), что повышает грязеемкость, так как фильтрующий материал работает в режиме глубинного фильтрования; при этом тонкость очистки фильтрующего материала определяется размерами щелей между слоями сеток, а не размерами их ячеек. Очевидно, что щелевые каналы, в которых задерживаются частицы загрязнителя, могут быть полностью очищены в процессе регенерации с разборкой фильтра. Это объясняется тем, что контур этих каналов при разборке становится полностью разомкнутым, что обеспечивает практически неограниченный ресурс работы ФМТС [7].

Целью работы является обмен опытом по вопросу перспективных областей применения разработанных фильтрующих материалов с ортотропной структурой на основе тканых сеток в АПК.

Основная часть. Принципиальная конструкция разработанных фильтроэлементов (ФЭ) на основе ФМТС представлена на рисунке 1 [3].

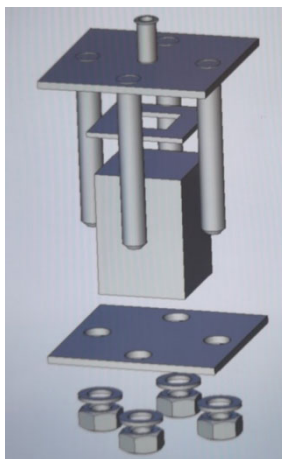


Рисунок 1. 3-D модель фильтроэлементов на основе ФМТС

Фильтроэлементы на основе ФМТС отличаются простотой конструкции, надежностью в работе, высокой регенерируемостью. Отличительной особенностью этих изделий является возможность их

обслуживания, регенерации и изготовления в любых условиях, поскольку это не требует наличия специализированных мастерских, участков и т.п. Применяя разные исходные сетки, можно в широких пределах регулировать свойства ФМТС (тонкость очистки от нескольких до сотен микрон, пропускная способность регулируется размерами ФЭ); при этом ФМТС обладают более высоким комплексом свойств по сравнению с традиционными материалами.

В результате полученных на настоящий период экспериментальных данных в качестве перспективных областей применения ФМТС в АПК были выбраны очистка дизельного топлива и предотвращение выноса загрузки в трубопровод в различного вида устройствах (например, в каталитических или скорых фильтрах).

Для обоснования возможности использования фильтрующих материалов с ортотропной структурой на основе тканых сеток для очистки дизельного топлива в качестве аналога для сравнения характеристик был выбран штатный (бумажный) фильтр DIFA 6101/1, применяемый в системе подачи топлива автотракторных двигателей моделей Д-240/245 (рисунок 2); экспериментальный образец фильтроэлемента из ФМТС для сравнения свойств с бумажным аналогом приведен на рисунке 3.



Рисунок 2 – Фильтр DIFA 6101/1 в сборе и в разобранном виде



a



Рисунок 3 – Экспериментальный образец фильтроэлемента из ФМТС в разобранном виде (*a*) и в сборе (*б*)

Материал для изготовления образцов ФМТС подобран по результатам определения методом вытеснения жидкости по ГОСТ 26849-86 размеров максимальных пор (определяющих тонкость очистки) установленного в штатном фильтре фильтроэлемента (45 мкм). Затем по ГОСТ 25283-93 был определен вязкостной коэффициент проницаемости экспериментального образца, что позволило рассчитать пропускную способность ФМТС и, соответственно, изготавливаемые из него изделия любых типоразмеров. Установлено, что характеристики экспериментального образца из ФМТС соответствуют условиям использования по прямому назначению: при одинаковом качестве очистки (тонкости очистки, оцениваемой по размерам пор) со штатным фильтроэлементом ФМТС обеспечивает требуемый расход топлива (7,5 л/ч) при пересчете на площадь фильтрации, соответствующую объему корпуса штатного фильтра[3].

По аналогичной методике была обоснована возможность применения ФМТС для очистки дизельного топлива при эксплуатации автомобилей марок МАЗ и КамАЗ. Для этого были разобраны штатные рекомендуемые фильтры для очистки дизельного топлива (рисунок 4), исследованы их свойства, подобраны аналоги ФМТС, изготовлены экспериментальные образцы и проведено сравнение характеристик. В результате также была подтверждена возможность использовать разработанные материалы для изготовления аналогов фильтрующих элементов для очистки дизельного топлива в системах подачи топлива автомобилями марок МАЗ и КамАЗ; здесь следует отметить, что фильтры FS36253 и FF542 имеют более высокую степень очистки (размеры максимальных пор равны $32,5 \pm 2,5$ мкм), фильтр FSA2402100 – более низкую (размер максимальных пор составляет 69 ± 2 мкм).

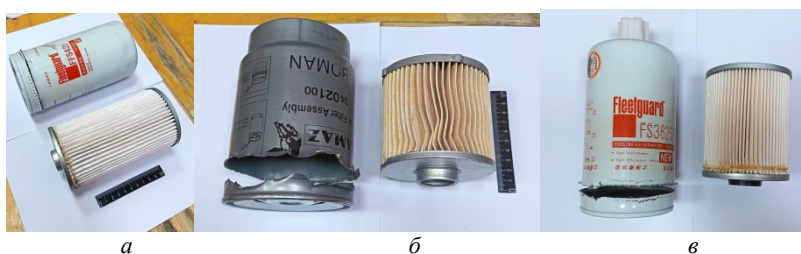


Рисунок 4 – Фильтры для очистки дизельного топлива FF5421(а), FSA2402100 (б) и FS36253 (в)

Перспективность применения ФМТС для предотвращения выноса мелкодисперсных загрузок в трубопровод подтверждена при внедрении изготовленного в БГАТУ дренажного элемента. Элемент был установлен

в блок каталитической очистки установки обезжелезивания воды [10] Эскиз и фото дренажного элемента приведены на рисунке 5.

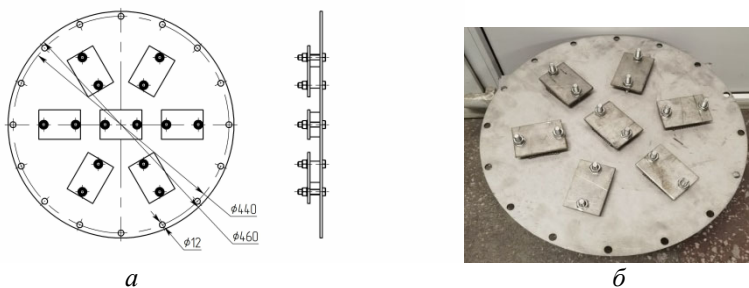


Рисунок 5 – Эскиз (а) и фото (б) дренажного элемента

Дренажный элемент предназначен для предотвращения уноса частиц засыпки Vigm, которые имеют размеры 0,2 – 0,4 мм. Дренажный элемент обеспечивает пропускную способность по воде не менее 10 м³/ч при перепаде давления 1 атм. и обеспечивать тонкость фильтрации не более 0,2 мм.

Заключение. Описаны разработанный Институтом порошковой металлургии имени академика О.В. Романа и БГАТУ фильтрующий материал с ортотропной структурой, состоящий из пакета тканых сеток, и принципиальная конструкция фильтроэлементов на его основе. Раскрыты преимущества ФМТС. Показана перспектива их применения на предприятиях АПК в качестве фильтров для очистки дизельного топлива и дренажных элементов.

Список использованной литературы

1. Яблокова, М.А. Перспективные методы очистки дизельного топлива от воды и механических примесей / М.А. Яблокова, Е.А. Пономаренко // Научное обозрение. Технические науки. – 2014. – № 2. – С. 235-235.
2. Коваленко, В.П. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений [Текст] / В.П. Коваленко, А.А. Ильинский. – Москва: Химия. – 1982. – 272 с.
3. Ilyushchanka, A. Research of the possibility of using filter materials with orthotropic structure based on woven nets for cleaning diesel fuel / R. Kusun, I Charniak, A. Kusun, V. Kaptsevich, N. Rutkovskaia. // MATEC Web of Conferences 387, 06001 (2023).Power Transmissions 2023.
4. Улюкина, Е.А. Обеспечение чистоты топлив и масел при эксплуатации сельскохозяйственной техники / Е.А. Улюкина, В.П. Коваленко В.П., М.А. Ли-паева // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». - 2015. - № 3 (67). С. 44–50.
5. Синельников, Ю.И. Пористые сетчатые материалы / Ю.И. Синельников. – М., 1983. – 64 с.].

6. Спиридонов, В.С. Фильтровальные перегородки из спеченных металлических сеток для встроенных фильтров авиационных гидросистем / В.С. Спиридонов, Ю.М. Новиков, В.А. Большаков // Безопасность в техносфере, №4. - 2015. - С. 39 – 45.

7. Кусин, Р.А. Оптимизация конструкции фильтров с ортотропной структурой на основе тканых сеток при ограниченных возможностях варьирования управляющими факторами / Р.А. Кусин, М.М. Дечко, И.Н. Черняк [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2025. – Т. 69, № 3. – С. 234–241.

8. Пат. 4811 Респ. Беларусь, МПК 7 В 01D 29/44. Щелевой фильтр: заявлено 29.06.1998: опубл. 30.12.2002 / Витязь П.А., Кусин Р.А., Валькович И.В., Капцевич В.М., Круглей В.П.; заявители ГНУ и БГАТУ;

9. Пат. РБ № 949 Респ. Беларусь. U. В 01D 29/00. Композиционный фильтр: заявлено 18.12.2002: опубл. 30.09.2003 / Капцевич В.М., Крутов А.В., Корнеева В. К., Азаров Г.А., Кусин Р.А., Бокань Г.А., Лыков И.Ю., Кусин А.Р.; заявители ГНУ ИПМ, БГАТУ.

10. Aliaksandr Ph. Ilyushchanka, Aleksey R. Kusin, Iryna M. Charniak, Dzmitryi I. Zhehzdryn, Ruslan A. Kusin, Natalia V. Rutkovskaya, Evgeniy N. Eremin and Tsanka D. Dikova / Equipment for Catalytic Water Purification with a Gas-Saturated Reactor / Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, KOD 2021. Mechanisms and Machine Science, vol 109. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88465-9_17 2022. P. 201-206

Summary. The paper describes a filter material with an orthotropic structure, developed by the O.V. Roman Institute of Powder Metallurgy and BSATU, consisting of a package of woven meshes, and the basic design of filter elements based on it, and demonstrates the prospects for their application in agricultural enterprises.

УДК 621.923

Акулович Л.М.¹, доктор технических наук, профессор;

Сергеев Л.Е.¹, доктор технических наук, доцент;

Алешко А.Ю.¹, студент;

Цекун В.И.², старший научный сотрудник

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

² Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОГРАФИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАХ РАБОЧЕГО ЗАЗОРА

Аннотация. В статье приведены результаты исследования топографии магнитного поля при эквидистантной и плоской формах рабочего зазора. Приведен расчет напряженности магнитного поля и распределение этой напряженности в рабочем зазоре. Разработана математическая модель, позволяющая определить максимальную напряженность магнитного поля в рабочем зазоре.

Abstract. The article presents the results of the study of the topography of the magnetic field with equidistant and flat forms of the working gap. The calculation of the magnetic field strength and the distribution of this intensity in the working gap are given. A mathematical model has been developed that allows to determine the maximum intensity of the magnetic field in the working gap

Ключевые слова. Сложнопрофильные поверхности, магнитно-абразивная обработка, рабочая технологическая среда, рабочий зазор, электромагнитная система, топография магнитного поля.

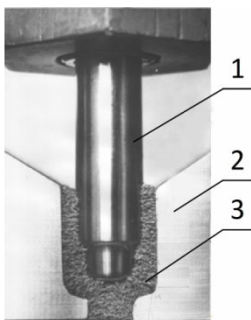
Key words. Complex-profile surfaces, magnetic abrasive treatment, working technological medium, working gap, electromagnetic system, topography of magnetic field.

Мировой и отечественный опыт свидетельствует о том, что применение деталей типа тел вращения со сложнопрофильными поверхностями (СПП) позволяет снизить металлоемкость изделий (от 20% до 30%) за счет уменьшения количества деталей в узлах машин и повысить конкурентноспособность изделий повышением качества и уменьшением их себестоимости до 30% [1–2]. Механическую обработку СПП традиционно производят на специальных станках и их многообразие обусловлено тем, что для каждого вида профиля поверхности требуются свои, отличающиеся от других, формообразующие движения. Однако для таких деталей существует проблема финишной тонкой обработки, заключающаяся в том, что обработка производится специальным абразивным инструментом, у которого профиль режущей кромки должен геометрически или программно отражать топологию обрабатываемой поверхности. При обработке таким инструментом поверхностей с переменной кривизной возникают дополнительные погрешности формы и разброс параметров шероховатости, что приводит к неоднородности показателей качества и необходимости дополнительных доводочных операций. Альтернативным вариантом финишной обработки СПП тел вращения могут быть технологии с использованием концентрированных потоков энергии, к числу которых относится магнитно-абразивная обработка (МАО) [3]. Поэтому отсутствие требуемого информативного объема о топографии магнитного поля (МП), определяемой его магнитной напряженностью H и распределении этой напряженности в рабочем зазоре приводит к эмпирическому подходу при использовании процесса съема материала при МАО СПП, который заключается либо в росте опытно-экспериментальных работ по поиску оптимальной схемы обработки, либо в резком увеличении мощности технологического оборудования для обеспечения необходимого давления режущего инструмента. Цель исследования заключается в разработке математической модели топографии МП в рабочем зазоре в зависимости от его конструктивных параметров для обеспечения производительности и качества процесса МАО СПП.

Одним из важных факторов повышения качества и производительности процесса МАО СПП является создание и применение рабочей техно-

логической среды (РТС), состоящей из ферроабразивного порошка (ФАП) и смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), и формируемой магнитным полем (МП). При МАО роль режущего инструмента выполняет порция ФАП, а заготовку для обработки размещают между полюсами электромагнитной системы (ЭМС). Пространство между полюсами ЭМС, частично или полностью заполненное ФАП, называется рабочей зоной, а пространство между обрабатываемой поверхностью заготовки и полюсами ЭМС – рабочим зазором, рисунок 1.

Установление значений H в любой точке рабочего зазора определяет их одинаковый диапазон на каждом его локальном участке, что позволяет обеспечить равенство давления ФАП на обрабатываемую поверхность детали и позволяет изготовить рациональную конструкцию ЭМС в зависимости от выбранной технологической схемы обработки. Детальное топографическое исследование МП связано с правильным выбором граничных условий и реализовано путем решения уравнений Максвелла матричными формами и применением метода комплексного переменного.



1 – пуансон; 2 – полюсный наконечник; 3 – ферроабразивная «щетка»

Рисунок 1 – Фотография рабочей зоны МАО пуансона

Считаем, что имеется стационарный магнитопровод с магнитной проницаемостью μ . Поскольку среда в рабочем зазоре является однородной, то для решения воспользуемся матричной записью уравнений Максвелла для стационарных полей. Нормальную и тангенциальную составляющие поля внутри магнитопровода обозначим $p_1(x_1)$, $p_2(x_2)$ и $q_1(x_1)$, $q_2(x_2)$ соответственно. В этом случае поле на i -й границе внутри ограниченной ими области можно описать следующим образом:

$$H_i^t = H_n^i(x_i) \sin(\alpha) + H_\tau^i(x_i) \cos(\alpha) =$$

$$= p_i(x_i) \frac{f_i'(x_i)}{\sqrt{1+f_i'(x_i)^2}} + q_i(x_i) \frac{1}{\sqrt{1+f_i'(x_i)^2}}, \quad (1)$$

$$H_2^i = H_n^i(x_1) \cos(\alpha) + H_\tau^i(x_1) \sin(\alpha) =$$

$$= \rho_i(x_1) \frac{1}{\sqrt{1+f_i'(x_1)^2}} + q_i(x_1) \frac{f_i'(x_1)}{\sqrt{1+f_i'(x_1)^2}}, \quad (2)$$

где $H_\tau^i(x_1)$ – тангенциальная составляющая магнитного поля;

$H_n^i(x_1)$ – нормальная составляющая магнитного поля;

$f_i(x_1)$ – функция кривой, определяющей границу расчетной области магнитного поля в виде формы полюсного наконечника;

$\rho_i(x_1)$ – нормальная составляющая магнитного поля внутри магнитопровода на его границе;

α – угол нормали профиля магнитопровода;

$q_i(x_1)$ – тангенциальная составляющая напряженности магнитного поля внутри магнитопровода на его границе.

В качестве граничных условий приняты:

$q_1(x_1) = q_2(x_2)$ – тангенциальная компонента непрерывна при прохождении границы раздела сред;

$\mu_{a1} \rho_1(x_1) = \mu_{a2} \rho_2(x_2)$ – нормальная компонента претерпевает разрыв, определяемый отношением магнитных проницаемостей сред.

Схемы рабочего зазора при магнитно-абразивной обработке эквидистантной и плоской форм представлены на рисунке 2 (а, б).

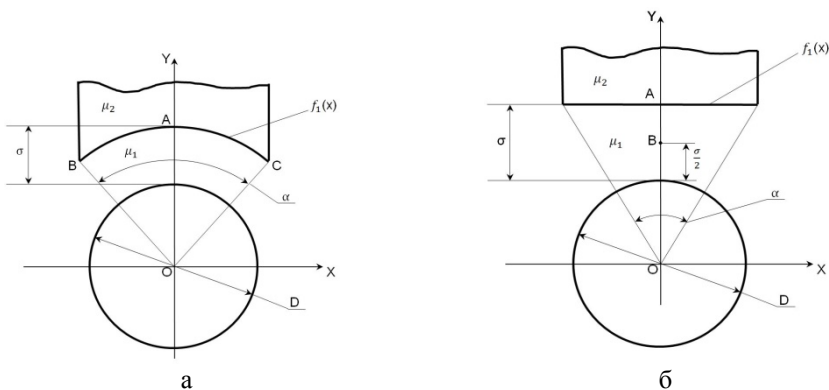


Рисунок 2– Схемы эквидистантного (а) и плоского (б) зазора при МАО

где μ_1 – магнитная проницаемость зазора, Гн/м;

μ_2 – магнитная проницаемость полюсного наконечника, Гн/м;

α – угол нормали профиля магнитопровода, град.;

σ – рабочий зазор, мм;

D – диаметр, мм;

$f_1(x)$ – функция границы верхнего зазора.

Каждая из двух схем имеет ряд конструктивных особенностей, определяемых конструкцией ЭМС. Направим ось Y вдоль центральной линии магнитопровода. Пусть граница верхнего зазора задаётся функцией $f_1(x)$. Нормальная и тангенциальная составляющие поля внутри магнитопровода на верхней границе обозначим $\rho_1(x)$ и $q_1(x)$ соответственно. В этом случае поле на верхней границе внутри ограниченной ею области можно описать следующим образом:

$$H_x^1 = \rho_1(x) \frac{f_1'(x)}{\sqrt{1 + f_1'^2(x)}} + q_1(x) \frac{1}{\sqrt{1 + f_1'^2(x)}};$$

$$H_y^1 = \rho_1(x) \frac{1}{\sqrt{1 + f_1'^2(x)}} + q_1(x) \frac{f_1'(x)}{\sqrt{1 + f_1'^2(x)}}.$$

Рассмотрим эквидистантную форму рабочего зазора при МАО:

Обозначим $OA = \frac{D}{2} + \sigma = r$ – радиус дуги ВАС. Уравнение окружности с радиусом r и центром в точке O :

$$x^2 + y^2 = r^2 \rightarrow y = \pm \sqrt{r^2 - x^2},$$

где знак $(+)$ описывает верхнюю часть окружности. Поэтому для верхней границы магнитопровода получаем

$$f_1(x) = \sqrt{r^2 - x^2} \quad \text{или} \quad f_1(x) = \sqrt{\left(\frac{D}{2} + \sigma\right)^2 - x^2},$$

где x лежит в интервале

$$-\left(\frac{D}{2} + \sigma\right) \sin \frac{\alpha}{2} \leq x \leq \left(\frac{D}{2} + \sigma\right) \sin \frac{\alpha}{2}.$$

В (1) вычислим дробные выражения. Применяя формулу производной от квадратного корня

$$\left(\sqrt{f(x)}\right)'_x = \frac{f'(x)}{2\sqrt{f(x)}},$$

по (2) вычисляем производную функции $f_1(x)$:

$$f_1'(x) = \frac{\left[\left(\frac{D}{2} + \sigma\right)^2 - x^2\right]'}{2\sqrt{\left(\frac{D}{2} + \sigma\right)^2 - x^2}} = \frac{-2x}{2\sqrt{\left(\frac{D}{2} + \sigma\right)^2 - x^2}} = -\frac{x}{\sqrt{\left(\frac{D}{2} + \sigma\right)^2 - x^2}}$$

$$f_1'^2(x) = \frac{x^2}{\left(\frac{D}{2} + \sigma\right)^2 - x^2}.$$

Далее находим

$$\begin{aligned}\sqrt{1+f_1'^2(x)} &= \sqrt{1+\frac{x^2}{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2+x^2}{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2}{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}} = \\ &= \frac{\frac{D}{2}+\sigma}{\sqrt{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}}.\end{aligned}$$

Дробные выражения в (1) принимают вид

$$\begin{aligned}\frac{f_1'(x)}{\sqrt{1+f_1'^2(x)}} &= -\frac{x}{\sqrt{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}} \cdot \frac{\frac{D}{2}+\sigma}{\sqrt{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}} = -\frac{x}{\sqrt{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}} \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}}{\frac{D}{2}+\sigma} = \\ &= -\frac{x}{\frac{D}{2}+\sigma} \cdot \\ \frac{1}{\sqrt{1+f_1'^2(x)}} &= \frac{\sqrt{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}}{\frac{D}{2}+\sigma}.\end{aligned}$$

Получим

$$\frac{f_1'(x)}{\sqrt{1+f_1'^2(x)}} = -\frac{x}{\frac{D}{2}+\sigma}, \quad \frac{1}{\sqrt{1+f_1'^2(x)}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}}{\frac{D}{2}+\sigma}. \quad (3)$$

Подставляя формулы (3) в формулы (1), получаем

$$\begin{aligned}H_x^I &= \rho_1(x) \cdot \left(-\frac{x}{\frac{D}{2}+\sigma}\right) + q_1(x) \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}}{\frac{D}{2}+\sigma} = \frac{-\rho_1(x) \cdot x + q_1(x) \cdot \sqrt{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}}{\frac{D}{2}+\sigma} \\ H_y^I &= \rho_1(x) \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2}}{\frac{D}{2}+\sigma} + q_1(x) \cdot \left(-\frac{x}{\frac{D}{2}+\sigma}\right) = \frac{\rho_1(x) \cdot \sqrt{\left(\frac{D}{2}+\sigma\right)^2-x^2} - q_1(x) \cdot x}{\frac{D}{2}+\sigma}.\end{aligned}$$

Окончательно получаем проекцию напряженности магнитного поля на ось X на верхней границе внутри ограниченной ею области,

$$H_x^1 = \frac{-\rho_1(x) \cdot x + q_1(x) \cdot \sqrt{\left(\frac{D}{2} + \sigma\right)^2 - x^2}}{\frac{D}{2} + \sigma} \quad (4)$$

и проекцию напряженности магнитного поля на ось Y на верхней границе внутри ограниченной ею области,

$$H_y^1 = \frac{\rho_1(x) \cdot \sqrt{\left(\frac{D}{2} + \sigma\right)^2 - x^2} - q_1(x) \cdot x}{\frac{D}{2} + \sigma} \quad (5)$$

$$\text{где } -\left(\frac{D}{2} + \sigma\right) \sin \frac{\alpha}{2} \leq x \leq \left(\frac{D}{2} + \sigma\right) \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Рассмотрим форму плоского рабочего зазора при МАО:

Из рис. 2 следует $y = OA = \frac{D}{2} + \sigma$. Поэтому для верхней границы магнитопровода получаем функцию

$$f_1(x) = y = \frac{D}{2} + \sigma = \text{const}.$$

Производная от const равна нулю: $f_1'(x) = 0$ и по формулам (1) получаем

$H_x^1 = q_1(x)$ – проекция магнитного поля на ось X на верхней границе внутри ограниченной ею области,

$H_y^1 = \rho_1(x)$ – проекция магнитного поля на ось Y на верхней границе внутри ограниченной ею области,

$$\text{где } -\left(\frac{D}{2} + \sigma\right) \sin \frac{\alpha}{2} \leq x \leq \left(\frac{D}{2} + \sigma\right) \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Таким образом, на основе установленной взаимосвязи конструкции рабочих зазоров и характеристик МП разработана математическая модель, позволяющая определить их основные параметры и условия создания топографии МП при его максимальной магнитной напряженности.

В статье описана математическая модель для расчета напряженности магнитного поля в области рабочего зазора с учетом его геометрических размеров и формы (эквидистантный и плоский) на основе решения уравнений Максвелла матричными формами и применением метода комплексного переменного. Полученная математическая модель реализует функциональную связь между исследуемыми составляющими напряженности магнитного поля и геометрическими факторами рабочего зазора, что обеспечивает эффективность их использования и не требует многократного и громоздкого расчета топографии МП. Сравнение результатов расчетов математической модели с расчетами численными методами, использующими

конечно-разностную аппроксимацию согласно программы Femm, а также экспериментальными данными, полученными применением тесламетра Т-3 показали достаточную точность разработанной модели, поскольку результаты расчетов численными методами согласуются с расчетными и полученными экспериментальными результатами и составляют погрешность для эквидистантного – $14 \div 18$ % и плоского – $10 \div 14$ %, что обеспечивает изготовление рациональной конструкции ЭМС в зависимости от выбранной технологической схемы обработки. Показаны условия неоднородности топографии МП, создаваемой ЭМС, и необходимость применения рабочих зазоров с заданной величиной напряженности МП, которые являются оптимальными для создания высокоэффективной схемы МАО СПП.

Список использованной литературы

1 Ящерицын, П. И. Обработка изделий со сложным профилем в магнитном поле / П. И. Ящерицын, Т. Л. Деев, Л. М. Кожуро // Вестн. машиностроения. – 1994. – № 3. – С. 42–44.

2 Афанасова, Ю. А. Повышение эффективности технологии механической обработки фасонных поверхностей деталей пресс – форм : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Ю. А. Афанасова ; ГОУ ВПО «Белгород. гос. технолог. ун-т им. В. Г. Шухова». – Белгород, 2010. – 19 с.

3 Акулович, Л. М. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин / Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев. – Минск : БГАТУ, 2019. – 272 с.

Summary. This article describes a mathematical model for calculating the magnetic field strength in the working gap region, taking into account its geometric dimensions and shape (equidistant and planar). This model is based on solving Maxwell's equations using matrix forms and the complex variable method.

УДК 658.51 : 621.81

Акулович Л.М.¹, доктор технических наук, профессор;

Стрига М.В.¹, студент;

Мендалиева С.И.², кандидат технических наук, доцент

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

² НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ И ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ИЗ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований точности и шероховатости поверхностей заготовок при термической резке листового

металлопроката. Определены граничные условия назначения в технологические процессы изготовления деталей машин из металлопроката операций термической резки, использование которых в системе сквозного автоматизированного проектирования технологий изготовления деталей из металлопроката обеспечивает экономию металлопроката до 10% за счет снижения припусков на обработку.

Abstract. The results of experimental studies of the accuracy and surface roughness of workpieces during thermal cutting of sheet metal are presented. Boundary conditions for incorporating thermal cutting operations into the manufacturing processes of machine parts from rolled metal are determined. Their use in a system for end-to-end automated design of manufacturing technologies for rolled metal parts enables savings of up to 10% in rolled metal by reducing machining allowances.

Ключевые слова: технологический процесс, раскрой, схемы обработки, синтез операций, металлопрокат.

Key words. technological process, cutting, processing schemes, synthesis of operations, rolled metal products.

Листовой металлопрокат широко применяется в сельскохозяйственном машиностроении в качестве исходных заготовок для изготовления многих изделий. Это целый класс почвообрабатывающих деталей – ножи, диски, лемехи, зубья и т.п. Большинство таких деталей работают в абразивной среде и подвержены интенсивному изнашиванию. Вместе с тем, сроки изготовления быстроизнашиваемых деталей, как правило, ограничены [1] и определяются сезонным спросом.

Технологические процессы изготовления изделий из листового металлопроката включают в себя множество стадий (переделов). Состав имеющихся технологических переделов определяет структуру производства машиностроительных предприятий. Например, для станкостроительных и машиностроительных предприятий, специализирующихся на выпуске, ремонте и обслуживании сельскохозяйственной техники, у которых детали изготавливаются в основном из металлопроката, типичными являются: раскрой листового проката на гильотинных ножницах или на машинах термической резки, установках лазерной и гидроабразивной резки, раскрой круглого и профильного металлопроката на разрезных станках (ленточно-отрезных, абразивно-отрезных, фрезерно-отрезных станках), холодная штамповка, механическая обработка (в основном на универсальном оборудовании), сварка, лакокрасочные и гальванические покрытия.

Известно, что при изготовлении деталей из листового металлопроката наиболее трудоемкими являются операции раскроя и последующей механической обработки. За последние годы для раскроя листового металлопроката широко внедряются технологии плазменной, лазерной и гидроабразивной резки. Технологические комплексы для резки имеют точность позиционирования $\pm 0,01\text{мм}$ и могут обеспечивать точность обработки – $\pm 0,1\text{мм}$. В технической документации на раскройные комплексы их про-

изводители указывают параметры точности перемещений исполнительных органов, а параметры геометрической точности вырезаемых контуров заготовок не приводятся, поскольку они зависят от технологических режимов резки, толщины листов металлопроката, мощности резательной головки, скорости перемещения резака и т.п. Высокая производительность резки (до 20 м/мин), малые ширина реза и зона термического влияния (диаметр луча составляет сотые доли миллиметра), высокая точность взаимного расположения вырезаемых поверхностей, возможность раскроя сложных контуров деталей позволяют использовать способы резки листового металлопроката и операции механической обработки в единых технологических процессах. Вместе с тем, разработка таких технологических процессов с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяет пересмотреть припуски на механическую обработку в сторону их уменьшения, экономить металл, снизить трудоемкость изготовления изделий.

Для определения граничных условий назначения в технологические процессы изготовления деталей машин из металлопроката операций термической резки были проведены экспериментальные исследования по влиянию современных способов термической резки металлопроката на точность и шероховатость поверхностей заготовок. Геометрическая точность оценивалась качеством точности, определяемым через величины отклонения от номинальных размеров и допуски. Шероховатость поверхностей реза оценивалась по параметру Ra (среднее арифметическое отклонение профиля). Для вырезки заготовок использовали порталный станок для плазменной и газовой резки VanadProxima (Portal) HDSeries и консольный станок для лазерной резки VANAD MIRON LASER (Fiber). Из листового металлопроката 345–09Г2С–св–2 ГОСТ 19281–89 различной толщины плазменной и лазерной резкой вырезали заготовки деталей круглой формы определенных диаметров (по 5 штук каждого диаметра из листов определенной толщины), на которых измеряли диаметральный ($D\Phi$) размер и параметр Ra шероховатости поверхности реза. Варьируемые факторы: толщина листа S , и радиус реза R . По фактической величине диаметров вычисляли отклонения Δ_{Π} (для плазменной резки) и $\Delta_{Л}$ (для лазерной резки) от номинальных размеров. Эксперименты проводились по программе центрального композиционного ротatableльного планирования второго порядка. Результаты экспериментальных исследований были обработаны методами математической статистики с использованием табличного процессора MS-Excel 2010.

Получены уравнения регрессии второго порядка:

$$\Delta_{\Pi} = 0,177 + 10^{-3} \cdot (16,9 \cdot S - 0,34 \cdot R - 0,018 \cdot S \cdot R - 0,04 \cdot S^2 + 0,003 \cdot R^2);$$

$$\Delta_{Л} = 0,065 + 10^{-3} \cdot (1,3 \cdot S + 0,5 \cdot R + 0,2 \cdot S^2 + 0,002 \cdot R^2);$$

$$Ra_{\Pi} = 15,40 + 10^{-3} \cdot (64,3 \cdot S - 135,9 \cdot R - 0,4 \cdot S \cdot R + 16,1 \cdot S^2 + 0,6 \cdot R^2);$$

$$Ra_{Л} = 2,545 + 10^{-3} \cdot (432,7 \cdot S - 32,4 \cdot R + 0,2 \cdot S \cdot R - 7,2 \cdot S^2 + 0,2 \cdot R^2).$$

Графическая зависимость влияния толщины листа S и радиуса реза R на величину параметра Ra шероховатости поверхности реза при плазменной и лазерной резке приведена на рисунке 1.

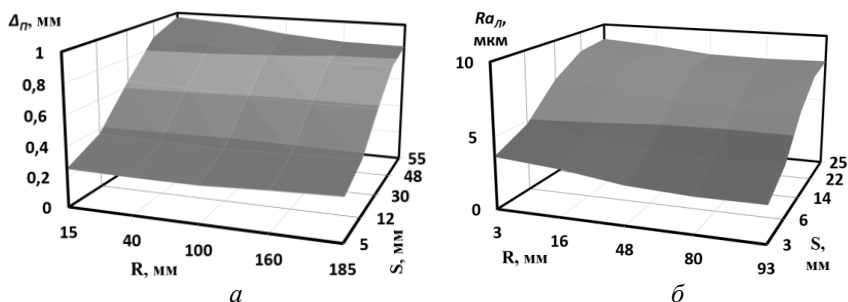


Рисунок 1 – Влияние толщины листа S и радиуса реза R на отклонение от номинального размера Δ при плазменной (а) и лазерной (б) резке

Экспериментально установлено, что плазменной резкой можно обрабатывать поверхности по 10...14-му качеству точности (ГОСТ 25346–89) с шероховатостью Ra 8,0...63,0 мкм, а лазерной резкой – по 10...12-му качеству точности с шероховатостью Ra 2,5...10,0 мкм.

Результаты экспериментальных исследований использованы при разработке библиотеки конструктивно-технологических элементов (КТЭ) деталей из металлопроката для САПР технологий их изготовления. Библиотека содержит КТЭ (поверхности, отверстия, пазы, окна, канавки и другие) со схемами обработки, включая условия выбора операции лазерной и плазменной резки.

Библиотека КТЭ позволяет формировать технологические процессы методом синтеза операций [2], совмещающие операции резки листового металлопроката и механической обработки. Внедрение САПР сквозного проектирования технологий изготовления деталей из металлопроката обеспечивает экономию металлопроката до 10% за счет снижения припусков на обработку.

Список использованной литературы

1. Акулович, Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении : учеб. пособие / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2012. – 488с.
2. Система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей PRAMEN. Руководство пользователя. ОРГС 4664.013.ИЗ. – Минск : ОАО «Институт Белоргстанкинпром», 2005. – 135 с.

Summary. The implementation of an automated end-to-end design system for manufacturing technologies for rolled metal parts ensures savings of up to 10% on rolled metal by reducing machining allowances.

Акулович Л.М., доктор технических наук, профессор;

Миранович А.В., кандидат технических наук, доцент;

Шабуня В.В., старший преподаватель

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Аннотация. Представлены результаты моделирования топографии магнитного поля в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке. Показано, что использование дополнительного магнитного поля позволяет управлять углом наклона абразивных зерен и обеспечить наименьшую шероховатость поверхности после 45с обработки, а по классической схеме – после 60с.

Abstrac. The results of modeling the magnetic field topography in the working gap during magnetic-abrasive machining are presented. It is shown that the use of an additional magnetic field allows for control of the abrasive grain angle and ensures the lowest surface roughness after 45 seconds of machining, compared to 60 seconds using the conventional approach.

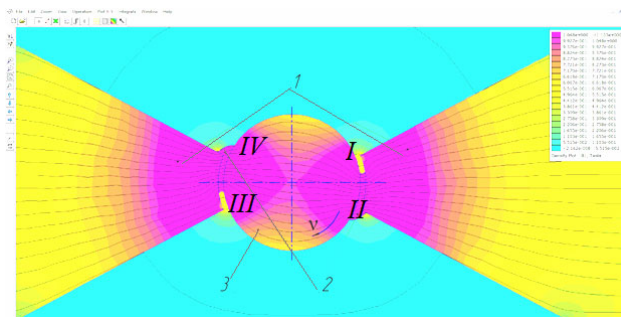
Ключевые слова: рабочий зазор, ферроабразивное зерно, абразивная щетка, топография магнитного поля, электромагниты.

Key words. working gap, ferroabrasive grain, abrasive brush, magnetic field topography, electromagnets.

Повышение точности и качества поверхностей деталей является одной из приоритетных задач машиностроения. Решающее влияние на формирование показателей качества поверхностей деталей оказывает технология их обработки на чистовых и отделочных операциях, среди которых в машиностроении преобладают скоростное шлифование и притирка. Скоростное шлифование сопровождается интенсивным тепловыделением, что может приводить к изменению исходного состояния структуры и свойств поверхностного слоя. Поэтому все больший интерес представляют методы финишной обработки незакрепленными абразивными зёрнами. Вместе с тем, большими потенциальными возможностями обладают электрофизические и электрохимические методы обработки, основанные на использовании концентрированных в пространстве и во времени потоков энергии. Из них электрические и магнитные потоки энергии наиболее технологичны и удобны в управлении. Решением указанной проблемы является использование подвижно скоординированного режущего инструмента в виде абразивной «щетки», формируемой энергией магнитного поля при магнитно-абразивной обработке (МАО), и реализация ориентированного резания с минимальным тепловыделением. Абразивная щетка формируется из множества ферроабразивных зерен (ФАЗ), каждое из которых стремится сориентироваться наибольшей осью параллельно силовым линиям магнитного поля под действием вращающего момента [1, 2].

Однако, процессу МАО через $(15 \div 60)$ с присуще снижение режущей способности абразивной щётки [1]. Происходит это по нескольким причинам: засаливание абразивной щётки снимаемой стружкой, затупление режущих кромок, выкрашивание абразивной составляющей ФАЗ.

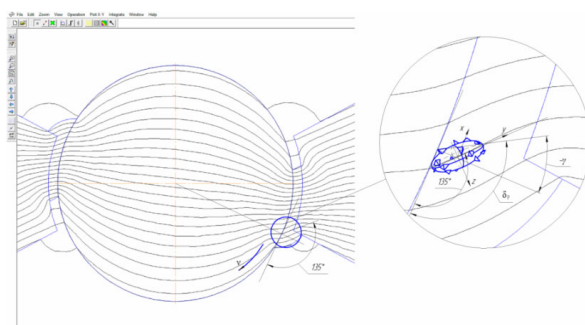
Засаливание приводит к уплотнению абразивной щётки зерен в зонах II и IV (рисунок 1), что приводит к выпячиванию абразивной щетки из зоны выхода из рабочего зазора и изменению топографии магнитного поля (рисунок 1).



1 - полюсные наконечники; 2 – абразивная щетка; 3 – заготовка;
v – скорость главного движения

Рисунок 1 – Компьютерная модель положения абразивной щетки при классической схеме реализации МАО

При этом ФАЗ занимают положение, в котором передние углы являются отрицательными (рисунок 2). В результате МАО происходит при углах резания, превышающих 90° . Известно, что при увеличении угла резания процесс снятия стружки ухудшается, а по мере затупления режущих кромок ФАЗ переходит в процесс выхаживания обрабатываемой поверхности, что снижает производительность обработки.



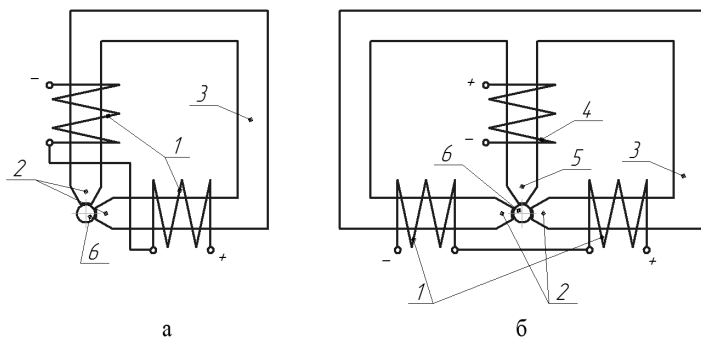
v – скорость главного движения; δ_p – угол резания; γ – передний угол

Рисунок 2 – Компьютерная модель наклона силовых линий магнитного поля и положения ферроабразивного зерна

Таким образом, для повышения режущей способности ФАЗ и следовательно, производительности МАО, необходимо изменить угол наклона оси ФАЗ к обрабатываемой поверхности.

Для уменьшения угла резания ФАЗ путем изменения направления магнитных силовых линий предложены технические решения по асимметричному расположению полюсных наконечников основного магнитного поля относительно обрабатываемой поверхности (рисунок 3, а), либо в промежутке между полюсными наконечниками основного магнитного поля устанавливать источник дополнительного магнитного поля (рисунок 3, б) [3].

Наличие нескольких электромагнитных катушек приводит к суперпозиции в рабочем зазоре основного и дополнительного магнитных полей и его влиянию на изменение угла резания. Применение асимметрично расположенных полюсных наконечников позволяет при МАО получить две зоны, в одной из которых будет происходить процесс микрорезания, а в другой – выхаживания (рисунок 3, а) [3]. Эта схема целесообразна при снятии небольшого припуска, когда время обработки не выходит за пределы 15 с.



1, 4 – катушки электромагнитов; 2, 5 – полюсные наконечники;
3 – магнитопровод; 6 – заготовка

Рисунок 3 – Схемы МАО с асимметрично расположенными полюсными наконечниками (а) и с дополнительной магнитной системой (б)

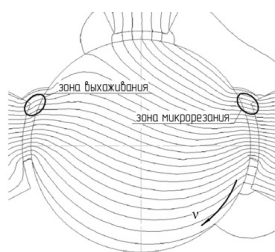
Схема МАО с источником дополнительного магнитного поля аналогично изменяет топографию магнитного поля в рабочем зазоре (рисунок 3, б), при которой происходит концентрация магнитных силовых линий в зоне входа в рабочий зазор, создавая условия изменения в ней градиента магнитной индукции [3]. Расположение дополнительного полюсного наконечника, под углом 90° к основному магнитопроводу, позволяет изменять величину и градиент магнитной индукции в рабочем зазоре, т. е. изменяет направление силовых линий магнитного поля основной магнитной системы.

Исследование топографии магнитного поля в рабочем зазоре при помощи компьютерного моделирования (рисунок 4) позволило установить,

что суперпозиция основного и дополнительного магнитных полей обеспечивает возможность варьирования углом наклона силовых линий магнитного поля в зоне входа в рабочий зазор в интервале от 43° до 50° . При этом величина индукции дополнительного магнитного поля B_d не должна превышать величину магнитной индукции основного магнитного поля B_o , то есть граничным условием является $B_d < B_o$.

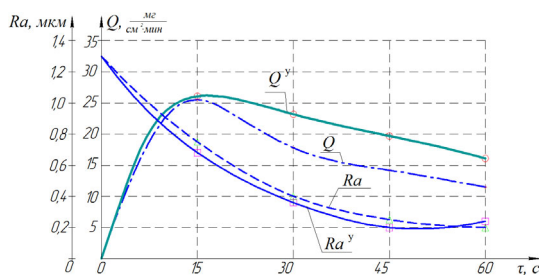
Изменение топографии магнитного поля в рабочем зазоре применением дополнительной магнитной системы для управления углом наклона ФАЗ позволяет обеспечить при МАО положительные значения передних углов резания ($+\gamma$). Такая топография магнитного поля формирует зону резания у входа в рабочий зазор у одного полюсного наконечника и зону выхаживания (см. рисунок 3) у другого полюсного наконечника основной магнитной системы. Плавная регулировка угла наклона силовых линий, путем изменения величины магнитной индукции, генерируемой дополнительной магнитной системой, позволяет управлять интенсивностью резания и шероховатостью поверхности.

Экспериментальные исследования были проведены на модернизированной установке ЭУ-6, содержащей дополнительную магнитную систему. Образцами служили поршневые пальцы диаметром 25мм из стали 12ХНЗА с исходной шероховатостью образцов Ra ($1,14 \pm 0,97$) мкм. твердостью поверхностного слоя ($58 \div 62$) HRC. Измерение шероховатости проводилось на профилографе-профилометре *Mitutoyo SJ-201P*. Оценка производительности производилась по изменению массы деталей, которая определялась взвешиванием на весах *Massa-K BK-600* с точностью до 0,01г. Результаты экспериментов приведены на рисунке 5.



v – скорость главного движения

Рисунок 4 – Компьютерная модель топографии магнитного поля при суперпозиции с основного и дополнительного магнитных полей



Q и Ra – производительность МАО и шероховатость поверхности соответственно при классической схеме; Q^y и Ra^y – производительность МАО и шероховатость поверхности соответственно при управлении углом ориентации ФАЗ

Рисунок 5 – График зависимости шероховатости Ra и производительности Q от времени обработки τ

Анализ экспериментальных данных (рисунок 5) показывает, что после 15с обработки производительность МАО по классической схеме резко падает, а после 30с производительность снижается до 40% по сравнению с производительностью в первые 15с обработки. При МАО с управляемым углом наклона ФАЗ в рабочем зазоре, падение производительности более плавное и не превышает 14% от производительности в первые 15с обработки. Наименьшая шероховатость, при управлении углом наклона ферроабразивных зерен, достигается после 45с обработки, а по классической схеме обработки – после 60с.

Список использованных источников

1. Сакулевич, Ф. Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф. Ю. Сакулевич. – Минск : Наука и техника, 1981. – 328 с.
2. Упрочняющая и финишная абразивная обработка в магнитном поле деталей сельскохозяйственных машин / Л. М. Акулович [и др.]; под редакцией Л. М. Акуловича. – Минск : БГАТУ , 2022. – 360 с.
3. Акулович, Л. М. Особенности магнитно-абразивной обработки с регенерацией контура режущего инструмента импульсным магнитным полем / Л. М. Акулович, М. М. Дечко, О. Н. Ворошуха // Вестник ПГУ. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2018. – Вып. 11. – С. 71–77.

Summary. It was found that with magnetic abrasive machining using a controlled ferroabrasive grain angle in the working gap, the productivity decline is more gradual and does not exceed 14% of productivity in the first 15 seconds of machining. The lowest roughness, when using controlled ferroabrasive grain angle, is achieved after 45 seconds of machining, while with the conventional machining method, it is achieved after 60 seconds.

УДК 629.359

Гедроить Г.И., кандидат технических наук, доцент;

Занемонский С.В., старший преподаватель;

Соболевский С.Е., студент

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДРУЛИВАЮЩИХ ОСЕЙ В ТРАКТОРНЫХ ПРИЦЕПАХ

Аннотация. В статье представлены основные технические решения по применению подруливающих осей в тракторных прицепах.

Abstract. The article presents the main technical solutions for the use of steering axles in tractor trailers.

Ключевые слова. Транспортировка, прицеп, подруливающая ось, шина.

Keywords. Transportation, trailer, steering axle, tire.

Тракторные прицепы и полуприцепы предназначены для перевозки различных сельскохозяйственных грузов: зерна, минеральных удобрений, зеленой массы для силосования и силоса к животноводческим фермам [1]. В сельском хозяйстве применяют тракторные одноосные, двухосные и трехосные самосвальные прицепы, оборудованные гидравлическими устройствами для разгрузки кузова [2].

Подруливающие оси прицепов (рисунок 1) представляют собой важный узел для обеспечения безопасности, так как они направляют прицеп по линии движения трактора [3].



Рисунок 1 – Подруливающая ось Hydro-Tandem и Hydro-Tridem JOSKIN

Угол поворота колес самоподруливающих осей находится в пределах $\pm 15^\circ$ в зависимости от типа покрышек [4]. При движении по шоссе со скоростью от 15 км/ч или задним ходом гидравлическое устройство обеспечит блокировку и выравнивание задней оси по отношению к передней, гарантируя безопасность агрегата. Датчик, установленный на ось, определяет направление движения прицепа и обеспечивает автоматическую блокировку одного из двух гидроцилиндров, гарантируя таким образом надлежащее функционирование системы.

У двухосных прицепов подруливающей является задняя ось, трехосные ходовые части тракторных прицепов комплектуются двойной системой подруливающих осей (первая и последняя оси), функционирующих в двух направлениях движения (рисунок 2).

Принудительный поворот подруливающих осей прицепов (направляющих осей) может быть реализован за счет гидравлической или электронной систем управления. Гидравлическое управление осуществляется при помощи двух гидроцилиндров, установленных на дышле прицепа и соединяемых с трактором посредством тяги с быстроразъемным соединением (рисунок 3). Управление направляющим гидроцилиндром оси осуществляется при помощи двух управляющих гидроцилиндров, соединенных с трактором посредством тяг с быстроразъемным соединением. По-

следние крепятся на дышло посредством шаровой цапфы и управляют через два гидроцилиндра гидравлической системой, которая приводит в действие направляющий гидроцилиндр. Система уравнивается посредством компенсационных гидроцилиндров, которые оказывают одинаковое усилие в двух направлениях движения. Гидравлическая цепь имеет моноблочный узел регулировки, в который входят манометр, два азотных амортизатора, клапан выравнивания и узел регулировки давления [5].

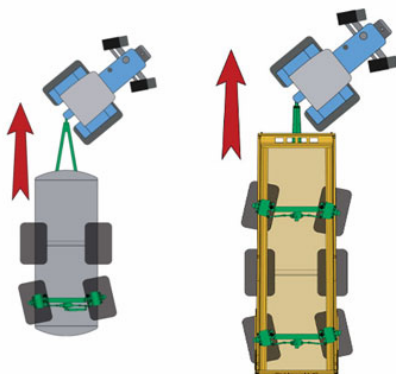


Рисунок 2 – Схема поворота колес двух- и трехосных прицепов [3]



Рисунок 3 – Тягово-сцепное устройство прицепа Krone TX 460 / 560 с гидравлическим принудительным управлением [5]

Благодаря своему самокорректирующему устройству, автоматически выводящему агрегат из колеи, направляющая система обеспечивает наибольшую безопасность и манёвренность.

При повороте тракторного агрегата с трехосным прицепом влево шток левого управляющего цилиндра задвигается и подает поток масла на делитель потока. Масло проходит от делителя потока через масляный

фильтр и нагнетается по рукавам высокого давления на силовые гидроцилиндры, тем самым поворачивая колеса передней оси прицепа вправо, а колеса задней оси – влево. Аналогично при повороте агрегата вправо будет вдавливаться шток правого управляющего цилиндра и поворот колес передней оси будет осуществляться вправо, а колес задней оси – влево.

Система направляющих осей с электронным управлением позволяет, в частности, контролировать различные углы поворота в зависимости от скорости движения (меньше крутых поворотов на высокой скорости и больше на низкой) и существенно повысить маневренность и безопасность вождения.

В системе электронных осей используются гидроцилиндры и тяги, прицепленные к трактору, но управление осуществляется при помощи мини-компьютера и датчика поворота дышла [4].

В отличие от других систем, электронные направляющие оси корректируют угол поворота пропорционально скорости. Благодаря этому, прицеп сохраняет устойчивость при дорожных перевозках и поворотливость при совершении маневров.

Они обладают следующими преимуществами [4]:

- высокая поворачиваемость и устойчивость (при увеличении скорости движения радиус угла поворота уменьшается, блокировка осей осуществляется при 50 км/ч);

- комфортное движение задним ходом;

- возможность управлять прицепом в сложной ситуации благодаря коробке управления в кабине трактора.

Подруливающий механизм осей помогает облегчить процесс поворота и уменьшает износ шин, направляет прицеп по линии движения трактора, повышает маневренность за счет уменьшения радиуса поворота, позволяет повысить безопасность и комфорт вождения. Также уменьшаются повреждение дерна и деформация почвы под колесами прицепа при повороте.

Список использованной литературы

1. Гедроить, Г.И. Объемы работ и условия эксплуатации транспортных средств / Г.И. Гедроить, С.В. Занемонский // Агропанорама. – 2021, № 3. – С. 2–7.

2. Гедроить, Г.И. Совершенствование ходовых систем транспортно-технологических машин / Г.И. Гедроить, С.В. Занемонский, А.В. Бобрышов, А.И. Оскирко // Агропанорама. – 2020, № 2. – С. 2–6.

3. Совершенствование ходовых систем тракторных прицепов / Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межведомственный тематический сборник / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск : Беларуская навука, 2023. – Вып. 56. – С. 241–246.

4. Joskin [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// joskin.com](https://joskin.com) – Дата доступа: 06.05.2026.

5. Krone [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// gruppe.krone.de](https://gruppe.krone.de) – Дата доступа: 07.05.2026.

Summary. The potential applications of various solutions for installing steering axles on agricultural tractor trailers are analyzed. The relevance of this issue stems from the need to ensure excellent turning ability and stability, as well as comfortable reversing, the ability to control the trailer in difficult situations, facilitate turning, and reduce tire wear.

УДК 658.012.01

Белевич А.Г., старший преподаватель;
Павлючук Н.В., кандидат биологических наук
Брановец Н.С., студент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВКИ ФИЛЬТРА В СИСТЕМУ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ Д-245.35Е5

Аннотация: В данной статье рассмотрены разновидности фильтров для охлаждающей жидкости и представлена схема установки фильтра в систему охлаждения дизельного двигателя Д-245.35Е5.

Abstract: This article discusses the types of coolant filters and provides a diagram of how to install a filter in the cooling system of the D-245.35E5 diesel engine.

Ключевые слова: Фильтр для охлаждающей жидкости, дизельный двигатель Д-245.35Е5.

Keywords: Coolant filter, D-245.35E5 diesel engine.

Дизельный двигатель Д-245.35Е5 производства ОАО «Минский моторный завод» представляет собой 4-тактный поршневой четырехцилиндровый двигатель внутреннего сгорания с рядным вертикальным расположением цилиндров, непосредственным впрыском дизельного топлива и воспламенением от сжатия.

С целью достижения показателей по содержанию вредных веществ в отработавших газах, соответствующих экологическим нормам Еуро 5. При установке на техническое средство двигатель оснащается устройством последующей обработки отработавших газов, основанных на технологии селективной каталитической нейтрализации отработавших газов (SCR). Управление устройством последующей обработки отработавших газов осуществляет блок электронного управления, встроенный в подающий модуль (насос подачи мочевины) и взаимодействующий с ЭБУ системы Common Rail по CAN-сигналу.

На двигателе Д-245.35Е5 контроль за обеспечением уровня содержания вредных веществ в отработавших газах обеспечивает система бортовой диагностики (БД).

Для обеспечения уверенного пуска в условиях низких температур окружающей среды в головке цилиндров дизеля установлены свечи накалывания, а устанавливаемый на дизелях жидкостно-масляный теплообменник обеспечивает скорейшее достижение оптимальной температуры масла в системе смазки дизеля и поддержание ее на необходимом уровне в процессе работы.

Система охлаждения двигателя Д-245.35Е5 (рисунок 2) закрытого типа, с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости от центробежного насоса. Система охлаждения двигателя в составе автотранспортного средства должна обеспечивать температуру выходящей из дизеля охлаждающей жидкости не более плюс 100° С и масла – не более плюс 115° С при температуре окружающего воздуха плюс 40°

Водяной насос приводится во вращение поликлиновым ремнем от шкива коленчатого вала. Смазка "Литол-24" в подшипниковую полость насоса заложена при сборке. В процессе эксплуатации смазывание подшипников не требуется.

Температуру охлаждающей жидкости в системе контролируют по дистанционному термометру, датчик которого установлен в головке цилиндров.

Заводская система охлаждения двигателя Д-245.35Е5 не имеет фильтрующего элемента. В ходе эксплуатации она неизбежно загрязняется, и даже полная замена антифриза не позволит полностью убрать ржавчину, продукты износа и другие отложения.

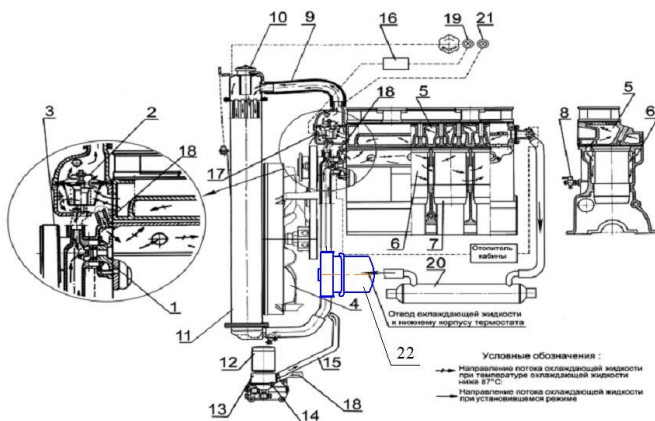
Нами произведен анализ фильтров (рисунок 1), которые можно использовать в качестве фильтрующего элемента в системе охлаждения двигателя Д-245.35Е5.



Рисунок 1 – Сравнительный анализ фильтров для очистки охлаждающей жидкостей

В качестве эксперимента в систему охлаждения двигателя Д-245.35Е5 был установлен фильтр 22 (рисунок 2).

Нами установлено, что фильтрующий элемент справляется со своей задачей. Он собрал небольшое количество ржавчины из системы охлаждения двигателя Д-245.35Е5. Однако, крупные ячейки фильтрующей сетки пропускают мелкую пыль, поэтому она оседает в расширительном бачке.



- 1 – водяной насос; 2 – термостат; 3 – ремень привода водяного насоса;
 4 – вентилятор; 5 – рубашка охлаждения головки цилиндров; 6 – рубашка охлаждения блока цилиндров; 7 – гильза блока цилиндров; 8 – краны для слива охлаждающей жидкости; 9 – патрубок; 10 – пробка заливной горловины; 11 – радиатор; 12 – фильтр масляный; 13 – жидкостно-масляный теплообменник (ЖМТ); 14 – пробка для слива охлаждающей жидкости; 15 – патрубок отвода охлаждающей жидкости от ЖМТ; 16 – электронный блок системы CRS; 17 – датчик температуры охлаждающей жидкости для топливной системы CRS; 18 – патрубок подвода охлаждающей жидкости к ЖМТ; 19 – диагностическая лампа системы CRS; 20 – охладитель рециркулируемых отработавших газов; 21 – световой сигнализатор аварийной температуры охлаждающей жидкости; 22 – фильтр для очистки охлаждающей жидкости

Рисунок 2 – Схема системы охлаждения двигателя Д-245.35Е5

Фильтрация охлаждающей жидкости двигателя Д-245.35Е5 снижает износ водяного насоса, гильз и термостата, визуально напугивает об обслуживании (загрязнении фильтра).

Список использованной литературы

1. Электронная система управления дизельными двигателями Д-245.35 с топливной системой Common Rail : метод. рекомендации для студентов специальности 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства / И. В. Дубень, В. А. Потапов ; М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. – Барановичи : БарГУ, 2019. – 32 с.
2. Руководство по эксплуатации 245.35Е5-0000100 РЭ: Открытое акционерное общество "Управляющая компания холдинга "Минский моторный завод" : Минск, 2016. - 148 с.

Summary. Filtering the coolant of the D-245.35E5 engine reduces wear on the water pump, sleeves, and thermostat, and visually reminds you to perform maintenance (filter contamination).

Жданович Ч.И., кандидат технических наук, доцент;
Разганов А.Ю., аспирант
*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ВАЛ ОТБОРА МОЩНОСТИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Аннотация. В статье представлен обзор современных подходов к реализации электромеханических валов отбора мощности в сельскохозяйственной технике. Рассмотрены конструктивные особенности электромеханического вала отбора мощности. Проведен сравнительный анализ по ключевым эксплуатационным и энергетическим показателям. Выявлены основные преимущества и недостатки, а также определены тенденции развития.

Abstract. This article presents an overview of modern approaches to implementing electromechanical power take-off shafts in agricultural machinery. The design features of electromechanical power take-off shafts are examined. A comparative analysis of key performance and energy indicators is conducted. The main advantages and disadvantages are identified, and development trends are outlined.

Ключевые слова: вал отбора мощности, электромеханическая трансмиссия, трактор, электрический привод.

Keywords: power take-off shaft, electromechanical transmission, tractor, electric drive.

Введение. Современное развитие сельскохозяйственной техники характеризуется активным внедрением электрических и гибридных силовых установок, направленных на повышение энергетической эффективности, управляемости и экологичности тракторов. Одним из ключевых элементов, обеспечивающих передачу мощности от силовой установки к рабочим органам навесных и прицепных машин, является вал отбора мощности (ВОМ).

Традиционные механические системы ВОМ, несмотря на их широкое распространение и достаточную конструктивную проработанность, характеризуются рядом ограничений. К их числу относятся жесткая кинематическая связь с двигателем внутреннего сгорания, ограниченные возможности регулирования частоты вращения, а также наличие механических потерь, возрастающих при работе в переменных режимах.

В качестве альтернативного направления рассматривается применение электромеханических валов отбора мощности, в которых передача энергии осуществляется по электрическому каналу с использованием дизель-генераторной установки либо аккумуляторной батареи. Реализация такой схемы позволяет обеспечить раздельное управление частотой вращения и крутящим моментом ВОМ, повысить точность поддержания заданных

режимов и упростить интеграцию с системами автоматизированного управления трактором.

Цель работы заключается в анализе современного состояния и практического опыта применения электромеханических ВОМ, сравнительной оценке их эффективности по отношению к механическим системам, а также в выявлении основных направлений дальнейшего развития.

Конструктивные и функциональные особенности электромеханического ВОМ. Электромеханический вал отбора мощности представляет собой систему, в которой передача энергии на технологическое оборудование осуществляется электродвигателем через механический редуктор. В типовом случае структура включает: электрический генератор (или аккумуляторную батарею), преобразователь, электродвигатель, редуктор, выходной вал отбора мощности.

Ключевой особенностью электромеханического ВОМ является возможность независимого регулирования частоты вращения и крутящего момента на выходе, что достигается за счет применения современных преобразователей и систем управления. Это обеспечивает: широкий диапазон регулирования частоты вращения, поддержание заданных режимов независимо от оборотов двигателя, реализацию адаптивных алгоритмов управления.

На рисунке 1 приведена структурная схема одного из вариантов реализации электромеханического ВОМ. Привод осуществляется от электродвигателя, через редуктор на ВОМ. Для полностью электрической трансмиссии схема упрощается и в нее входят источник питания (аккумуляторная батарея), инвертор, блок управления и электродвигатель.

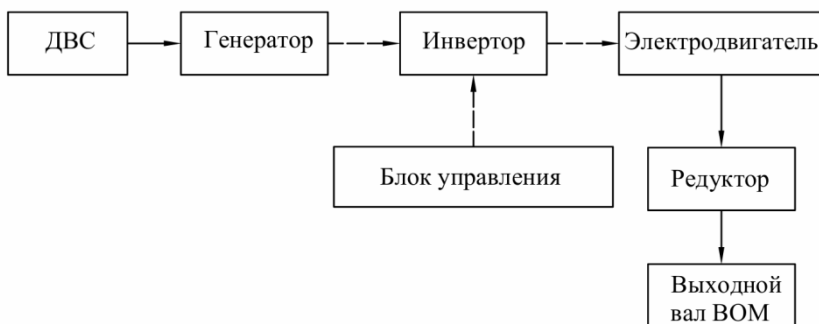


Рисунок 1 – Структурная схема электромеханического ВОМ

Опыт применения электромеханических ВОМ в тракторостроении. В последние годы отмечается увеличение числа разработок электромеханических трансмиссий со стороны ведущих мировых производителей

сельскохозяйственной техники. В частности, концепции тракторов с электрическим приводом вспомогательных механизмов реализуются на тракторах John Deere, Fendt, New Holland.

Характерным примером реализации является концепция трактора с электрическим интерфейсом для агрегируемых машин, в которой механический BOM заменяется силовым электрическим интерфейсом. Это позволяет подключать сельскохозяйственные орудия с индивидуальными электроприводами.

Fendt e100 Vario. Производителем заявлена номинальная мощность электродвигателя 55 кВт (75 л.с.) в непрерывном режиме и пиковая мощность 66 кВт (90 л.с.), в энергосберегающем режиме (ECO) доступно 50 кВт (68 л.с.). Производителем заявлено 5 часов непрерывной работы при емкости аккумуляторной батареи 100 кВтч. Электродвигатель имеет режим рекуперации энергии. Передний BOM приводится основным электродвигателем [1].

New Holland T4 Electric Power. Электрический трактор мощностью 120 л.с., максимальный крутящий момент 440 Нм, режим быстрой зарядки постоянным током позволяет зарядить аккумуляторную батарею за 1 час и 4 часа непрерывной работы. Привод BOM реализован от основного электродвигателя, включение и отключение реализовано через электрогидравлическую муфту [2].

John Deere реализует два направления. Первое – трансмиссия eAutoPowr с электромеханическим распределением мощности для тракторов серии 8R: два электродвигателя, мощность на BOM 100 кВт (134 л.с.), передача до 100 кВт на внешнее оборудование через трехфазный интерфейс 480/700В. В этом варианте BOM приводится через трансмиссию от обычного дизельного двигателя, но также выведен интерфейс для подключения электрического привода орудий. Питание реализовано от двух мотор-генераторов. На выходе 480 вольт и мощность до 100 кВт. Второе – полностью электрические прототипы платформы E-Power: мощность около 130 л.с., мощность на BOM 87 кВт (116 л.с.), до пяти батарей Kreisel Electric общей емкостью 195 кВтч, жидкостное охлаждение погружного типа, автономность до 8 часов в зависимости от нагрузки. Отличительной особенностью E-Power является наличие отдельного электродвигателя для BOM, который управляется собственным инвертором [3].

В странах СНГ, включая Республику Беларусь и Российскую Федерацию, разработки в области электромеханических трансмиссий ведутся на базе научно-исследовательских организаций и машиностроительных предприятий. В частности, работы по созданию тракторов с электрической трансмиссией [4 - 6]. В настоящее время такие решения преимущественно находятся на стадии опытных образцов.

Сравнительный анализ электромеханического и механического ВОМ. Сравнение традиционных и электромеханических систем ВОМ целесообразно проводить по ряду ключевых критериев.

Энергетическая эффективность.

Механические ВОМ характеризуются высокими КПД при установившихся режимах, однако потери возрастают при изменении нагрузки и частоты вращения. Электромеханические системы имеют дополнительные потери на преобразование энергии, но обеспечивают более оптимальное распределение мощности.

Сравнительный анализ показывает, что при установившихся номинальных режимах механический ВОМ, как правило, обладает более высоким КПД за счет отсутствия многократных преобразований энергии.

Электромеханический ВОМ обеспечивает возможность работы технологического оборудования в оптимальных режимах за счет независимого задания его параметров. Это особенно проявляется при эксплуатации в условиях переменных нагрузок, где достигается снижение суммарных энергетических потерь и повышение интегральной эффективности машинно-тракторного агрегата.

Для полностью электрических тракторов дополнительным фактором является отсутствие механической передачи от двигателя внутреннего сгорания, что исключает соответствующие потери и частично компенсирует потери в силовой электронике и электроприводе.

С точки зрения надежности механические системы ВОМ отличаются простотой конструкции и высокой ремонтопригодностью. Электромеханические системы, в свою очередь, характеризуются более сложной структурой и требуют применения средств диагностики силовой электроники.

Преимущества использования электромеханических ВОМ: независимость параметров ВОМ от режима работы двигателя, высокая точность регулирования, возможность автоматизации технологических процессов, снижение динамических нагрузок, интеграция с цифровыми системами управления.

Недостатки: усложнение конструкции, увеличение стоимости системы (высокая начальная стоимость электромеханических систем может быть частично компенсирована за счет снижения эксплуатационных), дополнительные энергетические потери, требования к надежности силовой электроники.

Перспективы применения электромеханических валов отбора мощности. Анализ современных разработок показывает, что развитие электромеханических ВОМ тесно связано с общей тенденцией электрификации сельскохозяйственной техники. К основным направлениям развития относятся: переход к гибридным и полностью электрическим тракторам, использование высоковольтных бортовых сетей, внедрение интеллектуальных систем управления, развитие модульных энергетических платформ.

В перспективе электромеханические ВОМ могут стать основой для создания унифицированных энергетических интерфейсов сельскохозяйственных машин, обеспечивающих гибкость агрегатирования и повышение эффективности использования техники.

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что электромеханические ВОМ могут рассматриваться как перспективное направление развития тракторных трансмиссий. При наличии определенных технических и экономических ограничений они обеспечивают расширенные возможности управления и автоматизации рабочих процессов.

Сопоставление с традиционными механическими системами показывает, что на современном этапе целесообразно их параллельное использование, тогда как в более отдаленной перспективе возможно увеличение доли электромеханических решений.

Для электрических тракторов существенным фактором является организация системы быстрой замены аккумуляторных батарей с обеспечением безопасной коммутации высоковольтных цепей. В системах с дизель-генераторной установкой данное ограничение выражено в меньшей степени.

Наиболее эффективным является применение электромеханических ВОМ при работе в условиях переменной нагрузки и при необходимости точного регулирования режимов технологического оборудования.

Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на повышение энергетической эффективности, снижение стоимости и увеличение надежности элементов силовой электроники, что позволит расширить сферу практического применения рассматриваемых систем.

Заключение. Электромеханические валы отбора мощности и электрический отбор мощности на привод рабочих органов сельскохозяйственных орудий являются перспективным направлением. Они обеспечивают расширенные возможности управления и автоматизации рабочих процессов, что особенно важно в системах точного земледелия. Их внедрение целесообразно в рамках общей электрификации сельхозтехники, создания тракторов с электромеханическими трансмиссиями и интеллектуальными системами управления.

Список использованной литературы

1. Fendt e100 Vario [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.fendt.com/int/agricultural-machinery/e-tractors/fendt-e100vario__ – Дата доступа: 10.04.2026.
2. New Holland T4 Electric Power [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agriculture.newholland.com/fr-fr/europe/produits/tracteurs> – Дата доступа: 10.04.2026.
3. John Deere unveils new electric tractor and eAutoPowr transmission [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agriland.co.uk/farming-news/new-stepless-electro-mechanical-transmission-is-a-world-first/> – Дата доступа: 10.04.2026

4. Виноградов, А. Б. Особенности реализации тягового электрооборудования гусеничного промышленного трактора мощностью 160 л.с. / Виноградов А.Б., Гнездов Н.Е., Чистосердов В.Л. // Электротехника. – 2017. – № 5. – С. 14–18.

5. Зезетко, Н. И. Техника холдинга «МТЗ-Холдинг» для сельскохозяйственно-го производства / Н. И. Зезетко // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 24–25 ноября 2022 г. – Минск : БГАТУ, 2022. – С. 38–45.

6. Гедроить, Г. И. Перспективы развития тракторов с электромеханической и электрической трансмиссией / Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский // Механизация и электрификация сельского хозяйства : Межведомственный тематический сборник. – Минск : РУП "Издательский дом "Белорусская наука", 2024. – С. 326-332. – EDN EFMMCB.

Summary. Electromechanical power take-off (PTO) systems and electric power take-off for driving the working parts of agricultural implements represent a promising development direction. They provide advanced capabilities for control and workflow automation, which is particularly critical in precision farming systems. Their implementation is highly practical within the framework of the general electrification of agricultural machinery, as well as the creation of tractors featuring electromechanical transmissions and intelligent control systems.

УДК 621.869.4

Жданович Ч.И., кандидат технических наук, доцент;

Муратов А.А., аспирант

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ПРИВОДОВ КОЛЕСНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ ДЛЯ НУЖД АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ современных тяговых приводов лёгких и средних (1 – 5 т) колесных погрузчиков, эксплуатируемых в условиях агропромышленного комплекса. Рассмотрены конструктивные особенности и эксплуатационные показатели трансмиссий.

Abstract. This paper presents a comparative analysis of modern traction drives for light and medium-duty (1 – 5 t) wheel loaders operated within the agro-industrial complex. The design features and performance indicators of various transmissions are examined.

Ключевые слова. Колесный погрузчик, агропромышленный комплекс, классификация, гидромеханическая передача, гидростатическая передача, энергоэффективность, тяговое усилие, рабочий цикл.

Keywords. Wheel loader, agro-industrial complex, classification, hydromechanical transmission, hydrostatic transmission, energy efficiency, tractive effort, duty cycle.

Введение. Современное сельскохозяйственное производство характеризуется высокой интенсивностью погрузочно-разгрузочных работ: от обработки зерновых и удобрений до заготовки кормов, и обслуживания животноводческих комплексов. Благодаря широкому спектру навесного оборудования, колесный погрузчик (КП) становится универсальным средством механизации. Анализ специфики применения показывает, что наиболее широко используемым является погрузчик грузоподъемностью около 3,5 т [1].

Специфика агропромышленного комплекса (АПК) предъявляет жесткие и часто противоречивые требования к тяговым приводам машин легкого и среднего классов (погрузчики грузоподъемностью 1–5 т). С одной стороны, необходима высокая приемистость и плавность реверсирования в стесненных условиях складов, с другой – реализация максимального тягового усилия на деформируемых поверхностях (силос, грунт, навоз и т.д.).

Основная часть. На текущем этапе развития мирового машиностроения тяговые приводы КП классифицируются по принципу передачи мощности на следующие группы:

Гидромеханические передачи (ГМП). Классический вариант трансмиссии, распространённый в отечественных и зарубежных погрузчиках среднего класса (например, погрузчики «АМКОДОР 332С4, 342С4, 352С» и Cat, JCB и тд). Включает в себя гидротрансформатор (ГТ), который обеспечивает плавное трогание и защиту ДВС от перегрузок, и планетарной или вальной коробки передач. ГТ обеспечивает автоматическое изменение крутящего момента в зависимости от сопротивления на колесах и позволяет машине трогаться плавно под нагрузкой. Энергия передается посредством циркуляции рабочей жидкости между насосным и турбинным колесами. Наличие гидравлической связи обуславливает внутренние потери энергии на нагрев масла. Для минимизации потерь в транспортном режиме существует функция блокировки трансформатора (Lock-up), когда насосное и турбинное колеса жестко соединяются, превращая трансмиссию в прямую механическую передачу, что исключает гидравлические потери и снижает расход топлива.

Основными преимуществами ГМП является её высокая надежность, возможность передачи больших мощностей, хорошие тяговые характеристики на при выполнении транспортных работ. К недостаткам можно отнести низкий КПД гидротрансформатора при работе в режимах с большим скольжением (фаза внедрения в штабель), разрыв потока мощности при переключении передач, что критично для частого реверсирования в условиях АПК (короткие циклы).

Гидростатические передачи (ГСП). Бесступенчатые приводы, активно внедряемые компаниями отечественного производства «АМКОДОР» (модели 308, 320) и зарубежного Liebherr (модели L 507 – L 514),

Caterpillar (модели 906H – 908H), Volvo (модели L20F – L25F) и др., находят все большее применение благодаря гибкости компоновки и высокой эффективности при частом реверсировании в коротком цикле. ГСП состоит из регулируемого насоса и одного или нескольких гидромоторов [2]:

Одномоторная схема: Один регулируемый насос питает один регулируемый гидромотор, соединенный с редуктором или раздаточной коробкой. В основном применяется на машинах легкого класса грузоподъемностью до 2 т. Преимущества: простота, низкая стоимость.

Двухмоторная схема: Один насос питает два гидромотора, которые работают на общую суммирующую раздаточную коробку. При наборе материала работают оба мотора для обеспечения максимальной тяги. При достижении определенной скорости один мотор отключается, что снижает гидравлические потери и позволяет развить высокую транспортную скорость. По оценкам компании Danfoss система 2MT обеспечивает экономию топлива до 20% по сравнению с гидротрансформатором [3].

Бесступенчатое регулирование и возможность мгновенного изменения направления движения делают её идеальной для работы в стесненных условиях ферм. Исследование П. Иванова и В. Цонева [4] подтверждает, что ГСП превосходит ГМП по топливной экономичности в коротких циклах работы КП, обеспечивая снижение расхода топлива примерно на 8,05%. Однако в длинных циклах при транспортировках на большие расстояния ситуация меняется, и ГМП становится на 4,71% эффективнее за счет меньших потерь на высоких скоростях. Применение двухмоторных схем ГСП позволяет компенсировать данное падение КПД на высоких скоростях.

Для дальнейшей оптимизации работы ГСП в специфических условиях АПК целесообразно применение систем интеллектуального управления мощностью, таких как Danfoss Hybrid Load Control (HLC). Данная технология представляет собой программный алгоритм, который в реальном времени согласует работу двигателя и трансмиссии. Система HLC предотвращает критическое падение оборотов при пиковых нагрузках, автоматически корректируя рабочий объем гидромашин [5].

Двухпоточные трансмиссии (Power-Split). Представлены компаниями ZF сPower, Dana Rexroth Transmission и Liebherr XPower (серия погрузчиков L550–L586). В них крутящий момент от двигателя поступает в планетарный редуктор, где разделяется на две ветви. Одна ветвь представлена гидростатической парой, которая позволяет плавно менять передаточное отношение. Вторая ветвь - механическая. На выходе оба потока объединяются [6]. Для работы в коротком цикле используется гидростатическая часть трансмиссии, что позволяет реализовать требуемый крутящий момент и плавное регулирование скорости. С увеличением скорости движения мощность, передаваемая по механической ветви, возрастает

и достигает почти 100% на максимальной скорости. Это обеспечивает высокий КПД трансмиссии и снижение расхода топлива погрузчиком.

Двухпоточные трансмиссии имеют сложную конструкцию, высокую стоимость производства и обслуживания, а также сложную систему управления. Их применение в КП малого и среднего класса, используемых в АПК, связано с существенными экономическими рисками.

Гибридные и электромеханические трансмиссии (ЭМТ). Перспективным направлением для КП, используемых в АПК, является переход на электрические и гибридные трансмиссии. Их преимущество при работе в закрытых помещениях (склады зерна, животноводческие комплексы) - отсутствие токсичных выбросов.

В исследованиях [7] рассматриваются электрические погрузчики с распределенным приводом (DEWL). Каждый ведущий мост погрузчика оснащен своим независимым тяговым электродвигателем. Система управления является интеллектуальной, она может отключать один двигатель или распределять нагрузку между двигателями, что бы двигатели работали в режиме максимального КПД. Это обеспечивает снижение потребляемой мощности на 18 – 37%, общий КПД системы привода увеличивается на 6 – 13% по сравнению с системами с фиксированным распределением момента. В фазе внедрения в штабель использование алгоритмов распределения крутящего момента на основе мгновенных осевых нагрузок позволяет удерживать пиковое проскальзывание колес в пределах 13 – 15% (против 22 – 35% у классических схем). Среднее значение буксования при этом снижается на 2,6 – 5,9%.

В настоящее время, высокая стоимость электрических компонентов и литий-ионных накопителей ограничивает внедрение гибридных и электрических схем для легких и средних погрузчиков, эксплуатируемых в АПК. Тем не менее, алгоритм распределения момента, представленный в ЭМТ, можно частично применить для двухмоторных ГСП.

Анализ условий эксплуатации в АПК. Применение КП в АПК связано с работой с материалами различной плотности (от легкого зерна до тяжелого влажного силоса) и движением по деформируемым или скользким поверхностям (бетон, асфальт, грунтовые дороги, силос, органическая подстилка и т.д.). Можно выделить следующие часто встречающиеся рабочие циклы [8]:

Короткий (V-образный) цикл характерен для работы на зернотоках (120–150 циклов в час). От трансмиссии требуется быстрый отклик и плавное изменение направления движения. ГСП здесь обладает преимуществом, так как позволяет менять направление движения без использования фрикционных муфт и потери мощности. Исследования траекторий движения и сил сопротивления [9] позволяют оптимизировать алгоритмы

управления именно для этих условий. Существенное влияние на эффективность в этом цикле оказывает уровень квалификации оператора: разница в расходе топлива между водителями может достигать 200% [10].

Длинный цикл (обслуживание ферм) включает транспортировку груза (сенаж, силосная масса, тюки) на значительные расстояния (от 100 до 500 метров) между хранилищем и кормораздатчиком. Движение происходит по внутренним дорогам, которые могут иметь неровности или деформируемое основание. В этом режиме для погрузчика важна топливная экономичность. Привод должен обеспечивать стабильную скорость. Актуально использование функции демпфирования стрелы (Ride Control) и автоматической блокировки гидротрансформатора (если используется ГМП) или перехода на механическую ветвь (в системах Power-Split) для снижения потерь.

Бульдозерный режим применяется при трамбовке силоса и очистке площадок. Отличается низкой скоростью движения и высоким крутящим моментом на ведущих колесах. При низком коэффициенте сцепления избыточный крутящий момент срывает колеса в пробуксовку, что не только разрушает структуру корма, но и приводит к закапыванию техники. Для предотвращения этого целесообразно погрузчики оснащать системами контроля пробуксовки.

Для ГМП этот режим сопровождается максимальным тепловыделением в гидротрансформаторе, в связи с чем важна производительность системы охлаждения масла, в то время как ГСП позволяет более плавно контролировать тягу.

В транспортном режиме погрузчик перемещается по дорогам общего пользования со скоростью до 40 км/ч. В АПК выполняет роль самоходного шасси для перевозки навесного оборудования между удаленными фермами. Тяговый привод должен обеспечивать эффективное торможение.

Таким образом, для привода погрузчика в АПК важны не только базовые характеристики трансмиссии, но и адаптивность к частым циклам и изменяющимся условиям сцепления.

Заключение. Анализ показывает, что для погрузчиков массового сегмента грузоподъемностью 3 - 5 т, работающих в АПК, внедрение сложных двухпоточных трансмиссий, а также последовательных гибридов и ЭМТ является экономически нецелесообразным. Капитальная стоимость таких трансмиссий и требования к их сервисному обслуживанию значительно выше, что увеличивает срок окупаемости машины в условиях АПК. Наиболее сбалансированным решением является применение двухмоторных ГСП в сочетании с системами интеллектуального электронного управления. С помощью таких систем управления, приводы погрузчиков обеспечивают производительность и экономичность, сопоставимую с двухпоточными и гибридными трансмиссиями, при этом их стоимость ниже.

Список использованной литературы

1. Бяков, К.Е. Сравнительная оценка топливной экономичности фронтального погрузчика/ К.Е. Бяков, А.А. Стадухин, Н.А. Мокрецов // Транспортные системы. – 2022. – № 4 (26). – С. 51-62.
2. Капуста, П.П. Трансмиссии колесных погрузчиков с гидростатическим приводом: учеб. пособие / П.П. Капуста, С.В. Полешук. – Мн.: БНТУ, 2012. – 134 с.
3. Danfoss Power Solutions. Technical Information. – Ref. No AB298174786006en-000201 / Nordborg, Denmark: Danfoss Power Solutions Co, 2020.
4. Ivanov, P. Comparison of Fuel Consumption between Wheel Loader with Hydrodynamic and Hydrostatic Transmission/ P. Ivanov, V. Tsonev // Proceedings of the Technical University of Sofia. – 2025. – Vol. 75, Iss. 2. – P. 10-18. DOI: 10.47978/TUS.2025.75.02.002.
5. Danfoss launches Hybrid Load Control for hydrostatic propel applications [Electronic resource] // Danfoss News, 2025. URL: <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/news/dps/danfoss-launches-hybrid-load-control-for-hydrostatic-propel-applications/> (дата обращения: 14.04.2026).
6. Legner, J. ZF cPower – Hydrostatic-Mechanical Powersplit Transmission for Construction and Forest Machinery / J. Legner // 9th International Fluid Power Conference (9. IFK). – Aachen, 2014. – P. 504–515.
7. Shen, W. Improving Energy Efficiency and Traction Stability in Distributed Electric Wheel Loaders with Preferred-Motor and Load-Ratio Strategies / W. Shen, S. Han, X. Fei, Y. Gao, C. Ji // Energies. – 2025. – Vol. 18, No. 18. – Art. 4969. DOI: 10.3390/en18184969.
8. Чудаков, О.И. Анализ условий эксплуатации фронтальных погрузчиков и синтез расчетных нагрузочных режимов/ О.И. Чудаков // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2022. Материалы XXVI Международной научно-технической конференции. Ярославль, 2022. С. 134–142.
9. Wang, S. Modeling and Verification of an Acquisition Strategy for Wheel Loader's Working Trajectories and Resistance / S. Wang, Y. Yin, Y. Wu, L. Hou // Sensors. – 2022. – Vol. 22, No. 15. – Art. 5993. DOI: 10.3390/s22155993
10. Frank, B. On wheel loader fuel efficiency difference due to operator behaviour distribution / B. Frank, L. Skogh, M. Alaküla // 15th Scandinavian International Conference on Fluid Power (SICFP2017). – Linköping, 2017. – P. 402–409.

Summary. The analysis indicates that for mass-market wheel loaders with a 3–5 t load capacity operating in the agro-industrial complex, the implementation of complex power-split transmissions, as well as series hybrids and electromechanical transmissions, is economically unfeasible. The capital costs and maintenance requirements of such transmissions are significantly higher, which extends the machine's payback period under agricultural operating conditions. The most balanced solution is the application of dual-motor hydrostatic transmissions combined with intelligent electronic control systems. Through these control systems, loader drives achieve performance and fuel efficiency levels comparable to those of power-split and hybrid transmissions, while maintaining a lower overall cost.

Жданович Ч.И., кандидат технических наук, доцент
Мамонов Л.С., аспирант
*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

ВЛИЯНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОЛЕС НА ТЯГОВО-СЦЕПНЫЕ СВОЙСТВА ПОГРУЗЧИКА

Аннотация. В статье исследуется влияние архитектуры трансмиссии на тягово-сцепные свойства и проходимость полноприводных сельскохозяйственных погрузчиков при работе на рыхлых деформируемых грунтах. Проведен сравнительный анализ трех концепций: классической гидромеханической трансмиссии, системы с единым центральным тяговым электродвигателем и системы с индивидуальным электроприводом каждого колеса (мотор-колеса). Результаты исследования показывают преимущество индивидуального электропривода для сельскохозяйственных погрузчиков.

Abstract. The article examines the influence of transmission architecture on traction properties and cross-country ability of four-wheel drive agricultural loaders when working on loose deformable soils. A comparative analysis of three concepts has been carried out: a classical hydromechanical transmission, a system with a single central traction electric motor, and a system with an individual electric drive of each wheel (motor-wheels). The results of the study show the advantages of an individual electric drive for agricultural loaders.

Ключевые слова. колесный погрузчик, тяговый привод, трансмиссия, индивидуальный электропривод, тягово-сцепные характеристики.

Keywords. wheel loader, traction drive, transmission, individual electric drive, traction characteristics.

Введение. Специфика эксплуатации погрузчика в сельском хозяйстве связана с работой на деформируемых, рыхлых и неоднородных грунтах. Эффективность универсального погрузчика для выполнения широкого спектра задач сельского хозяйства напрямую зависит от тягово-сцепных свойств и проходимости машины, которые в условиях слабых грунтов часто оказываются неоптимальными при использовании традиционных схем трансмиссий, которые зачастую не обеспечивают эффективной реализации тягового усилия. Кроме того, «Работа технологических машин сопряжена с постоянным буксованием ведущих колёс, что может привести к повышенному износу шин и повреждению почвы» [1].

Традиционные схемы с механической дифференциальной связью между осями и колесами передают равный крутящий момент на все ведущие колеса, находящиеся в разных сцепных условиях, что может привести к повышенному буксованию. При блокировке дифференциал все ведущие колеса имеют одинаковую угловую скорость (если ведущие колеса одинакового радиуса). Такое решение само по себе не гарантирует ограничение буксования в желаемых пределах, однако, обеспечивает естественное перераспределение тяги в зависимости от сопротивления движению каждого

ведущего колеса. Но может привести к циркуляции мощности и потерям в трансмиссии. Работа погрузчика в условиях сельского хозяйства часто происходит на деформируемых, неоднородных грунтах с низким коэффициентом сцепления и высоким сопротивлением качению. Это приводит к повышенному буксованию, разрушению структуры почвы и падению тягового КПД. Кроме того при работе погрузчика с ковшом постоянного происходит смещения центра масс, перераспределения нагрузок между осями и бортами, что также требует мгновенного перераспределения крутящих моментов.

В работах [2 - 4] рассматриваются электрические погрузчики с распределенным приводом, где каждая ось оснащена независимым тяговым электродвигателем. Системам управления может отключать один из двигателей или распределять нагрузку между двигателями, что бы они работали в режиме максимального КПД. Дальнейшее совершенствование трансмиссий - индивидуальный электропривод колес [5, 6].

Применение электрических трансмиссий, в частности индивидуально-го электропривода, имеет ряд преимуществ. Электропривод обладает малой инерционностью и позволяет реализовать алгоритмы антипробуксовочных систем и системы распределения крутящего момента с гораздо большей скоростью и точностью, чем традиционные дифференциалы. А также позволяет реализовать адаптивное управление распределением тяговых сил путем индивидуального регулирования частоты вращения и крутящего момента каждого колеса, что позволит минимизировать энергопотери за счет исключения паразитной циркуляции мощности и оптимизации скольжения (буксования) в зоне максимального сцепления.

Теоретическое обоснование. Тяговое усилие на ведущем колесе погрузчика ограничивается не только мощностью двигателя, но и условием сцепления колеса с опорной поверхностью. Поэтому фактическое тяговое усилие на i -ом колесе F_{xi} определяется как

$$F_{xi} = \min \left(\frac{M_{wi}}{r_{di}}, F_{\varphi i}(\delta_i) \right),$$

где M_{wi} – крутящий момент, подведенный к колесу; r_{di} – динамический радиус колеса; $F_{\varphi i}$ – сила тяги колеса по сцеплению с опорной поверхностью, зависящая от коэффициента буксования δ_i [7].

Общее тяговое усилие погрузчика: $F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^4 F_{xi}$. Ключевое отличие трансмиссий разного типа заключается в том, как формируется крутящий момент на колесе M_{wi} и как система реагирует на изменение буксования δ_i на неровном рыхлом грунте.

В случае для гидромеханической трансмиссии (ГМТ) схема передачи крутящего момента выглядит так: ДВС – Гидротрансформатор – КПП – Межосевой и межколесные дифференциалы – Колеса.

Крутящий момент на колесе при идеальном распределении:

$$M_{wi} = \frac{M_e \cdot k_{ic} \cdot u_{gb} \cdot u_d \cdot \eta_{tr}}{4},$$

где M_e – крутящий момент ДВС; k_{ic} – коэффициент трансформации гидротрансформатора, зависящий от кинематического передаточного отношения; u_{gb}, u_d – передаточные числа КПП и мостов; η_{tr} – КПД трансмиссии.

Из-за наличия дифференциалов, если они не заблокированы жестко, при попадании одного колеса на участок с низким сцеплением, его буксование δ_i резко возрастает. При этом крутящий момент падает на всех колесах:

$$F_{\Sigma} = 4 \cdot \min(F_{x1}, F_{x2}, F_{x3}, F_{x4}).$$

Блокировка дифференциалов уравнивает угловые скорости ($\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4$), но на неоднородном грунте это вызывает циркуляцию мощности и повышенный износ шин [7].

В случае для центрального электропривода с единым электродвигателем схема трансмиссии выглядит так: АКБ – Инвертор – Тяговый электродвигатель – КПП – Межосевой и межколесные дифференциалы – Колеса.

Крутящий момент на колесе:

$$M_{wi} = \frac{M_{em} \cdot u_{gb} \cdot u_d \cdot \eta_{tr}}{4}.$$

Механическая связь колес остается такой же, как в ГМТ (те же недостатки дифференциалов). Однако уравнение крутящего момента для электродвигателя отличается от ДВС:

$$M_{em} = \begin{cases} M_{\max}, & \text{при } w_m \leq w_{nom} \\ \frac{P_{\max}}{w_m}, & \text{при } w_m > w_{nom} \end{cases}.$$

Электромотор способен выдавать максимальный момент с нулевых оборотов. Отклик системы управления инвертором ($\tau \approx 1-5$ мс) позволяет реализовать высокоскоростной алгоритм контроля крутящего момента на колесах ведущих мостов, предотвращая закапывание погрузчика, что недоступно для инерционной трансмиссии с ДВС [2 - 4].

В случае для индивидуального электропривода (мотор колеса) схема трансмиссии выглядит так: АКБ – 4 независимых инвертора – 4 электродвигателя с редукторами – 4 колеса. Крутящий момент на каждом колесе задается независимо:

$$M_{wi} = M_{emi} \cdot u_{tr} \cdot \eta_{tr}.$$

И это самая оптимальная топология для сельскохозяйственных условий с точки зрения эффективности реализации мощности. Система управ-

ления решает задачу нелинейной оптимизации в реальном времени, максимизируя тягу каждого колеса независимо от других:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^4 \max_{M_{enl}} \left(\min \left(\frac{M_{wi}}{r_{di}}, F_{\phi i}(\delta_i) \right) \right),$$

Математический алгоритм поддерживает буксование каждого колеса δ_i в точке оптимума δ_{opt} (обычно 15-20% для рыхлого грунта [7]), где производная тяги по буксованию равна нулю. Усилие распределяется пропорционально нормальным реакциям, которые динамически меняются, например, при наборе грунта в ковш погрузчика [2 - 4]. Также не возникает кинематического несоответствие как в случае блокировки дифференциалов, когда жестко связанные колеса проходят разные пути, что вызывает циркуляцию паразитной мощности в трансмиссии и увеличивает сопротивление качению, так как «проскальзывающие» колеса разрушают грунт, увеличивая его осадку.

Сравнительный анализ трансмиссий погрузчика. В таблице рассмотрено сравнение характеристик для различных типов трансмиссии погрузчика [2-6].

Таблица – Сравнительный анализ характеристик

Характеристика	ГМТ	Единый электродвигатель	Индивидуальный электропривод
КПД трансмиссии	65–75% (высокие потери в ГДТ)	85–90% (есть потери в мостах)	92–96% (прямой привод/редуктор)
Точность контроля момента	Низкая (инерция ДВС и жидкости)	Высокая (электронное управление)	Максимальная (отдельно для каждого колеса)
Скорость реакции системы	200–500 мс	5–10 мс	< 2 мс
Реализация анти-пробуксовки	Механические/вязкостные муфты	Программное ограничение	Векторное управление
Маневренность	Ограничена дифференциалом	Ограничена дифференциалом	Максимальная (разнотяг колес)
Рекуперация энергии	Невозможна	Возможна (через общую связь)	Максимальная эффективность (на каждом колесе)
Неподдрессоренные массы	Низкие	Низкие	Высокие (при использовании мотор-колес)
Сложность конструкции	Высокая (валы, КПД, ГДТ, мосты)	Средняя (эл. двигатель + мосты)	Минимальная механика, сложная электроника
Надежность на грунтах	Высокая (отработанная годами)	Высокая	Средняя (чувствительность к охлаждению и грязи)
Сервисное обслуживание	Замена масел, фильтров, ремонт КПП	Обслуживание редукторов и мостов	Минимальное (в основном диагностика ПО)
Стоимость	Базовая	+20–30% к базовой	+50–70% к базовой
Экономия энергии	–	20–30%	40–50%

Заключение. Индивидуальные системы электропривода сочетают преимущества электрической тяги с идеальным распределением крутящего момента. Однако они являются самыми дорогими в производстве, поскольку требуют использования накопителей энергии, четырех инверторов, четырех электродвигателей и интеллектуальной системы управления. С другой стороны, они обеспечивают значительные экономические преимущества, включая снижение энергопотребления, повышение производительности (цикл загрузки ускоряется на 15-20% за счет превосходного сцепления) и продление срока службы шин за счет уменьшения пробуксовки колес.

Список использованной литературы

1. Гартфельдер, В.А Законы управления индивидуальным тяговым электроприводом фронтального погрузчика/ В.А Гартфельдер., А.А Стадухин., Н.А. Мокрецов // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 6. С. 531–541. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-569416>

2. Fei, X. Mechanical Characteristics of Distributed Electric Wheel Loader in Shovel-ing Condition / X. Fei, H. Senrui, S.V. Wong, M. A. Azman, H. Yunwu // Automotive Experiences. – 2023. – Vol. 6. – №2. – P. 336–358. DOI: <https://doi.org/10.31603/ae.9024>

3. Fei, X. Design and Testing of Innovative Type of Dual-Motor Drive Electric Wheel Loader / X. Fei, Y. Han, S.V. Wong, M.A. Azman, W. Shen // Energies 2024, 17, 1542. <https://doi.org/10.3390/en17071542>.

4. Shen, W. Improving Energy Efficiency and Traction Stability in Distributed Electric Wheel Loaders with Preferred-Motor and Load-Ratio Strategies / W. Shen, S. Han, X. Fei, Y. Gao, C. Ji // Energies. – 2025. – Vol. 18, No. 18. – Art. 4969. DOI: [10.3390/en18184969](https://doi.org/10.3390/en18184969).

5. Бижаев, А. В. Использование индивидуального привода колес трактора посредством электрической тяги / А.В. Бижаев, С.М. Ветрова, А.С. Барчукова, Н.С. Кривых // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2024. – Т. 18. – №2. – С. 78–85.

5. Бижаев, А.В. Перспективы использования электротракторов малого тягового класса в сельском хозяйстве / А.В. Бижаев. –М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2024. 38 с.

7. Гуськов, А. В. Тягово-сцепные свойства и проходимость колесного движителя по грунтам со слабой несущей способностью / А. В. Гуськов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. – 2008. – №2. – С. 63–75.

Summary. Individual electric drive systems combine the benefits of electric traction with ideal torque distribution. However, they are the most expensive to produce because they require energy storage units, four inverters, four electric motors, and an intelligent control system. On the flip side, they deliver significant economic benefits, including lower energy consumption, increased productivity (a 15–20% faster loading cycle due to superior traction), and extended tire life due to reduced wheel spin.

Акулович Л.М., доктор технических наук, профессор;

Сергеев Л.Е., доктор технических наук, доцент;

Алешко А.Ю., студент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПОГРАФИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Аннотация. Моделированием топографии магнитного поля выявлена форма полюсных наконечников с наибольшей концентрацией магнитного потока. Установлено образование в рабочем зазоре зоны резания и зоны переориентации зерен ферроабразивного порошка, что приводит к изменению их координатного положения и обеспечивает эффект самозатачивания. Применение встречно направленных асимметрично серповидных наконечников позволяет получить высокие и однородные значения величины магнитной индукции по всей рабочей площади полюсных наконечников в зоне резания.

Abstract. Modeling the magnetic field topography revealed the pole piece shape with the highest magnetic flux concentration. The formation of a cutting zone and a reorientation zone for ferroabrasive powder grains in the working gap was established, leading to a change in their coordinate position and ensuring a self-sharpening effect. The use of counter-oriented, asymmetrically crescent-shaped pole pieces allows for high and uniform magnetic induction values to be achieved across the entire working area of the pole pieces in the cutting zone.

Ключевые слова. Магнитно-абразивная обработка, ферроабразивный порошок, магнитное поле, сложнопрофильные поверхности, магнитная индукция.

Keyword. *Magnetic abrasive machining, ferroabrasive powder, magnetic field, complex surfaces, magnetic induction.*

Экспериментальное исследование распределения магнитной индукции в рабочих зазорах, намагничиваемых П-образными постоянными магнитами типа Г23, было выполнено Ф. Ю. Сакулевичем с величиной магнитной индукции, равной $0,24 \pm 0,31$ Тл [1]. Результаты этого исследования послужили основой для последующего определения силовой топографии магнитного поля. Однако существенное ограничение экспериментов, проведенных Ф. Ю. Сакулевичем, состояло в том, что полученные результаты относятся к деталям простой геометрической формы и осуществляются в небольшом диапазоне измерений. При этом не учитывалось боковое рассеяние, возникающее при намагничивании объектов полюсными наконечниками. Опыт определения параметров магнитно-абразивной обработки (МАО) показал, что их измерение затрудняется из-за перераспределения магнитного потока внутри рабочего зазора между полюсами электромаг-

нитной системы (ЭМС) и над изделием [2]. При таком подходе не учитывается реальное неоднородное намагничивание объектов, исследование и полученные результаты являются преимущественно оценочными. Результаты эксплуатации приборов показывают, что в ряде случаев возникают трудности с использованием этих приборов, из-за чего не воспроизводятся при измерении контролируемых размеров. Поэтому для понимания процессов, происходящих при определении магнитной индукции и для расширения круга контролируемых изделий, в том числе и для оценки МАО сложнопрофильных поверхностей, необходимо исследовать пространственное распределение магнитного потока, как в рабочем зазоре, так и за его границами, которые проводились на станке СФТ 2.150.00.00.000. Рабочая зона станка СФТ 2.150.00.00.000 показана на рисунке 1.

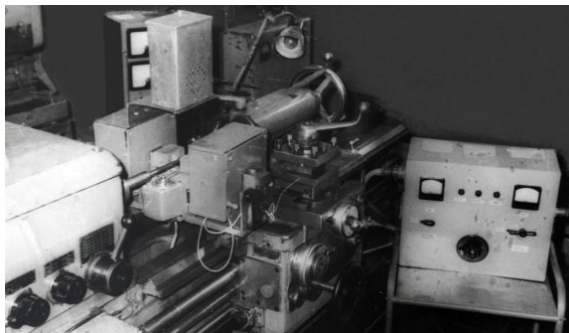
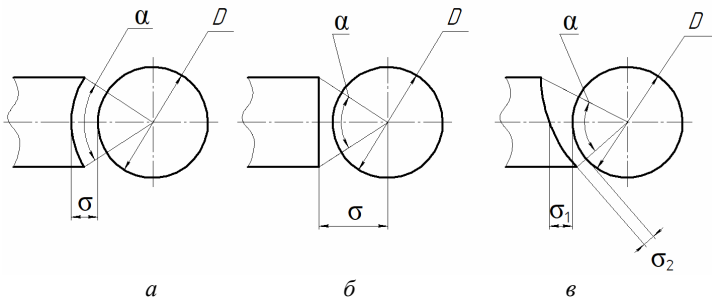


Рисунок 1 – Фотография рабочей зоны станка СФТ 2.150.00.00.000

Методика исследований основана на полученных экспериментальным путем результатах при одинаковых размерах ЭМС. Экспериментальное исследование с целью определения оптимального месторасположения и размеров полюсных наконечников, в которых распределение магнитных потоков заведомо неоднородно, производилось при использовании выпрямленного тока величиной 4 А в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.4.119103.



a – с эквидистантным зазором; *б* – с плоским зазором; *в* – с серповидным зазором
Рисунок 2 – Схемы рабочего зазора при МАО

Схемы рабочего зазора при магнитно-абразивной обработке различной формы представлены на рисунке 2. Полюсные наконечники изготавливали из стали 10 ГОСТ 1050–88, остаточная индукция которой равняется $B_r = 0,6$ Тл, напряженность, необходимая для получения остаточной индукции такого значения $H_r = 3200$ А/см. Размеры полюсных наконечников составляют: высота – $60 \div 100$ мм, ширина – $80 \div 120$ мм. Величина рабочего зазора при эквидистантной форме имеет диапазон $0,5 \div 3$ мм, при плоской и серповидной – $1 \div 5$ мм. С целью исследования пространственного распределения магнитного потока в рабочем зазоре для сложнопрофильных поверхностей использованы экспериментальные методы для решения осесимметричных задач определения топографии МП наружных и внутренних сферических поверхностей и МП конических поверхностей.

Способ и средства достоверного определения магнитного поля в рабочем зазоре магнитопровода состоят в следующем: измерение осуществлено в трех плоскостях (верхняя и нижняя границы магнитопровода и его средняя часть), полюсные наконечники изготовлены из Ст.3 ($\chi_{\max} \approx 2500$, $H_c \approx 330$ А/м), их магнитная индукция не достигает значений магнитной индукции насыщения при магнитодвижущей силе 1200 Ампер-витков. Погрешность измерения заключается в том, что размер зоны измерения составляет диапазон $0,1 \div 0,5$ мм, ошибка выставления – 0,5 мм. Точность измерения обеспечена стабильностью источников питания и калибровкой датчиков, учтена статистическая ошибка из-за переноса датчика, который расположен в плоскости вдоль образующей на отклонении 0,5 мм. Задача нахождения значений магнитной индукции на отдельных участках магнитной цепи носит итерационный характер. Возможность измерения внутреннего поля внешним датчиком основывается на непрерывности магнитной индукции на границе – ферромагнетик – изделие. Измерение внутреннего поля возможно, если внешнее поле измеряется непосредственно на поверхности объекта.

Допустимые удаления рабочей области датчика от поверхности объекта составили 0,5 мм, 1,5 мм и 4 мм от поверхности значения магнитного поля в межполюсном пространстве над поверхностью измеряемых объектов. Это означает, что при измерении величины внутреннего поля датчик поля находится в межполюсном пространстве без удаления от поверхности объекта. Оригинальность измерения значений МП в межполюсном пространстве магнитопровода заключается в использовании датчика поля типа гибкий зонд для реализации данных измерений в труднодоступных зонах сложнопрофильных поверхностей деталей. Геометрические размеры зонда, выполненного из проволоки 79НМ ГОСТ 10160–75 диаметром 0,1 мм, составляют $6 \times 4 \times 0,1$ мм. Для его изготовления использован материал из магнитомягкого ферромагнетика (высокониелевый пермаллой), который отличается низкими потерями на перемагничивание ($H_c \approx 6,4$ А/м) и высокой магнитной проницаемостью ($\chi_{\max} \approx 50$ мкГ/м) с целью получения линейной зависимости датчика от значений МП. Датчик поля типа гибкий

зонд относится к индукционным магнитомерам, принцип действия которых основан на измерении переменной э.д.с., индуцируемой в катушке соленоида при изменении потокосцепления с ней магнитного потока.

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что применяемые для намагничивания П-образные полюсные наконечники недостаточно эффективно намагничивают межполюсное пространство наружных и внутренних сферических поверхностей и конических поверхностей. Плотность магнитного потока в рабочем зазоре на локальных участках таких ЭМС в 3÷5 раз больше, чем в около полюсной зоне. При этом основная часть межполюсного пространства оказывается слабо намагниченной, а величины магнитной индукции при плоском зазоре характеризуют его экспоненциальную зависимость от увеличения рабочего зазора.

Эквидистантный зазор характеризуется равномерным распределением магнитного поля по радиусу объекта и отсутствием образования флоккул за границами рабочего зазора. Однако снижение бокового рассеяния и концентрация магнитного потока в рабочем зазоре приводит при MAO наружных и внутренних сферических поверхностей и конических поверхностей к отсутствию переориентации зерен ФАП. Трудности в обеспечении образования требуемого перебега зерен препятствуют самозатачиванию ферроабразивной «щетки» и снижают эффективность процесса MAO сложнопрофильных поверхностей.

Моделирование пространственного распределения магнитного потока показывает, что необходимо использовать встречно направленные асимметрично серповидные наконечники для увеличения магнитной индукции в рабочем зазоре. Установлено образование в рабочем зазоре зоны резания и зоны переориентации зерен ФАП, наличие которой приводит к изменению их координатного положения, что обеспечивает эффект самозатачивания. Для количественного определения бокового рассеяния была выявлена процентная доля магнитного потока, выходящего за профиль полюсов электромагнита в плоскостях верхней и нижней границ рабочего зазора от величины потока в магнитопроводе, которое составляет 7÷10 %.

Список использованных источников

1. Сакулевич, Ф. Ю. Основы магнитно-абразивной обработки /Ф. Ю. Сакулевич. – Минск : Наука и техника, 1981. – 326 с.
2. Акулович, Л. М. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин /Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев. – Минск : БГАТУ, 2019. – 272 с.

Summary. Modeling the spatial distribution of magnetic flux shows that it is necessary to use counter-directional, asymmetrically crescent-shaped tips to increase the magnetic induction in the working gap. To quantify lateral scattering, the percentage of magnetic flux extending beyond the electromagnet pole profile in the planes of the upper and lower boundaries of the working gap was determined, relative to the flux in the magnetic circuit, which is 7–10%.

Воробей А.С.¹, кандидат технических наук, доцент;

Боричевский А.Л.², аспирант

¹ РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧНОЙ УПАКОВКИ: УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ДОЗАТОРА МАУБ-5

Аннотация. Описан процесс устройства и работы дозатора автоматического упаковщика картофеля в биоразлагаемую бумагу МАУБ-5.

Abstract. Was described the process device and working of dispenser automatic packing machine in biodegradable paper MAUB-5.

Ключевые слова. Автоматический упаковщик, дозатор, биоразлагаемая бумага.

Keywords. Automatic packing machine, dispenser, biodegradable paper.

Упаковочное оборудование для взвешивания и дозировки играет ключевую роль в автоматизации процессов упаковки. Надежные весовые станции и автоматические дозаторы обеспечивают точное формирование порций продукции, что существенно повышает эффективность производственных линий. Такое оборудование позволяет уменьшить процент брака и сократить потери продукта, гарантируя при этом высокую скорость и точность обработки

Упаковочная машина – одна из последних единиц линии в цикле пред-реализационной подготовки картофеля. Обязательное требование – чтобы вес упаковки был «как минимум» равен весу, указанному на упаковке. С другой стороны, «перевесные» упаковки невыгодны для производителя. Комбинаторные весы – это машина, которая обычно используется для взвешивания плодоовощных культур, обеспечивая при этом высокую скорость и точность. Многие параметры должны быть установлены на оптимальные значения, указанные в руководствах производителя [1]. Даже при этих значениях возникают проблемы при взвешивании небольших упаковок продуктов из клубней картофеля. Эти проблемы приводят к блокировке весов, и требуется ручное вмешательство. Для устранения или уменьшения этих проблем необходима более подробная информация о процессе взвешивания и параметрах его управления. Единственная найденная информация содержится в патентах, руководствах и брошюрах производителей оборудования [2].

Основной частью каждого автоматического упаковщика является весовой дозатор. Дозатор – это мерное устройство, отмеряющее определен-

ную заданную порцию какого – либо продукта. В нашем случае картофеля. Весовой дозатор (рисунок 1) состоит из взвешивающего полотна, в котором находится тензодатчик, виброполотна и электронного управляющего блока (ЭУБ).

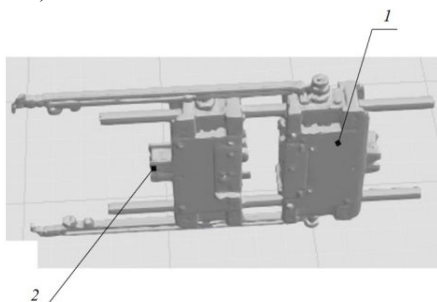


Рисунок 1 – Дозатор автоматического упаковщика картофеля в биоразлагаемую бумагу МАУБ-5

Принцип работы заключается в следующем: на ЭУБ оператор выставляет желаемый вес дозирования клубней картофеля, причем выставляет его по двум параметрам: грубая дозировка и точная дозировка. После запуска дозатора, ЭУБ подает сигнал на виброток, который вибрируя с заданной амплитудой, перемещает (насыпает) продукт из бункера дозатора на взвешивающий ковш. Наполнение ковша контролируется тензодатчиком, передающим сигнал на ЭУБ, и при достижении порога грубой дозирования, ЭУБ уменьшает амплитуду колебаний виброток, аккуратно досыпая продукт до достижения порога точной дозирования

Данные дозаторы являются неотъемлемой частью любого вида автоматического упаковщика картофеля в биоразлагаемую бумагу МАУБ-5.

Список использованной литературы

1. Simionato, Maestrino. Operating and maintenance handbook: Multihead weigher, model / Simionato, Maestrino MTS EDY CAN 12, Italy, 2000.
2. Lavdim, Kurtaj. HMI and control loops over serial line communication channel with MODBUS protocol for combinatorial weigher at potato chips production line / Lavdim, Kurtaj, Vjosa Shatri, 10th WSEAS Int. Conf. on Automation and Information, Prague, Czech Republic, 2009.

Summary. These dispensers are an integral part of any type of automatic potato packer in biodegradable paper.

Сентюров Н.С., старший преподаватель;
Цайц М.В., кандидат технических наук, доцент;
Курзенков С.В., кандидат технических наук, доцент
*Учреждение образования «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», г. Горки, Республика Беларусь*

ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕТЧАТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОЛОТЕН ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ НАГРУЖЕНИИ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Аннотация. В статье представлены результаты исследования механического поведения сетчатых лент из стекловолокна и полиэфира при комбинированном нагружении, включающем растяжение и изгиб. Разработаны калибровочные зависимости силы от перемещения и многофакторные модели относительного удлинения, а также определены предельные характеристики материалов. Установлены ключевые различия в деформационном поведении материалов, сформулирована замкнутая математическая модель для прогнозирования работоспособности сетчатых лент в технологических установках.

Abstract. This article presents the results of a study of the mechanical behavior of fiberglass and polyester mesh belts under combined loading, including tension and bending. Calibration curves for force versus displacement and multifactor models for relative elongation are developed, and the ultimate material properties are determined. Key differences in the deformation behavior of the materials are identified, and a closed-loop mathematical model for predicting the performance of mesh belts in process installations is formulated.

Ключевые слова: сетчатая лента, стекловолокно, полиэфир, комбинированное нагружение, деформация, математическое моделирование, разрывная нагрузка, относительное удлинение.

Key words: mesh tape, fiberglass, polyester, combined loading, deformation, mathematical modeling, breaking load, relative elongation.

Сетчатые ленты находят широкое применение в технологических установках, включая транспортные системы сельскохозяйственного назначения, например, для очистки вороха льнокуста от минеральных примесей. Механическое поведение таких лент в реальных условиях эксплуатации определяется не только физико-механическими свойствами материала, но и геометрией рабочего участка, а также характером нагружения, который часто является комбинированным (растяжение с изгибом) [5, 6].

В большинстве известных работ рассматривается либо чистое растяжение, либо упрощенные схемы нагружения. При этом установлено, что свойства полимерных композиционных материалов, в частности стеклопластиков и полиэфирных полотен, напрямую зависят от схемы плетения

[1]. Исследованиями [3, 4] показано, что однонаправленные волокна обеспечивают максимальную прочность вдоль нитей, подчиняясь закону Гука, в то время как хаотично распределенные маты обеспечивают изотропность свойств, однако с меньшими пиковыми показателями прочности.

Для целей выделения минеральных примесей из льнокустры наиболее перспективным признано использование транспортера с волнообразной сетчатой лентой, имеющей квадратное сечение ячеек, получаемое осново-вязальным методом [7, 8]. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование деформации и разрушения сетчатых лент из стекловолокна и полиэфира при комбинированном нагружении, разработка калибровочных и многофакторных математических моделей, описывающих их поведение, а также формирование замкнутой математической модели системы для прогнозирования ресурса.

Объектами исследований являлись два типа промышленно выпускаемых сетчатых материалов: стекловолоконная сетка и полиэфирная сетка. Испытания проводились на специализированной лабораторной установке, включающей неподвижный и подвижный зажимы с регулируемым расстоянием между ними ($L = 0,02 \dots 0,16$ м), нагружающий элемент (ролик) и систему измерения перемещения и силы. Дополнительные испытания на разрыв для определения предельных характеристик выполнялись на универсальном испытательном стенде Kason WDW-50S с программным обеспечением MaxTest в соответствии со стандартными методиками [9, 10].

В ходе экспериментальной части работы была установлена зависимость силы натяжения сетчатой ленты F от вертикального перемещения нагружающего элемента Δ и длины рабочего участка L . Аппроксимация экспериментальных данных с коэффициентом детерминации $R^2 > 0,99$ позволила получить следующие квадратичные зависимости:

– для стекловолокна:

$$F(\Delta, L) = (800 - 600 L) \cdot \Delta + 4000 \cdot \Delta^2; \quad (1)$$

– для полиэфира:

$$F(\Delta, L) = (500 - 400 L) \cdot \Delta + 2500 \cdot \Delta^2. \quad (2)$$

Анализ полученных зависимостей показывает, что стекловолокно является «жестким» материалом: при небольших перемещениях Δ наблюдается линейный рост силы, а при больших Δ – резкое нелинейное увеличение. Полиэфир, напротив, демонстрирует пластичное поведение с плавным ростом силы и меньшей чувствительностью к изменению Δ . Характер разрушения также различается: стекловолоконная сетка разрушается мгновенно по всей ширине, тогда как разрушение полиэфирной сетки носит постепенный, вязкий характер, начинаясь с края, что позволяет прогнозировать его наступление.

Для описания относительного удлинения ε_c образца под действием растягивающей силы F с учетом длины рабочего участка L была построена

многофакторная регрессионная модель. В результате получены адекватные зависимости ($R^2 \geq 0,99$), описывающие рабочую область деформации:

– для стекловолокна:

$$\varepsilon_c = 0,52 \cdot L + 0,0018 \cdot F + 0,0025 L \cdot F + 1,12; \quad (3)$$

– для полиэфира:

$$\varepsilon_c = 0,38 \cdot L + 0,0022 \cdot F + 0,0016 \cdot L \cdot F + 1,05. \quad (4)$$

Проведенный дисперсионный анализ подтвердил статистическую значимость всех факторов, при этом для стекловолокна наибольший вклад в отклик вносит взаимодействие факторов, а для полиэфира – непосредственно нагрузка.

Результаты испытаний на разрыв (табл. 1) показали, что стекловолоконная лента значительно прочнее полиэфирной. Ее усилие при разрыве варьируется от 168,7 Н при длине 0,1 м до 214,7 Н при длине 0,4 м, тогда как для полиэфира эти значения составляют от 82 до 100 Н соответственно. При этом полиэфирная лента менее податлива: при длине 0,4 м ее удлинение при разрыве составляет 0,075 м против 0,105 м у стекловолокна. На основании этих данных были построены линейные модели предельной деформации ($R^2 > 0,95$):

– для стекловолокна:

$$\varepsilon_{кр} = 0,33 - 0,17 \cdot L, F_{кр} = 120 + 280 \cdot L; \quad (5)$$

– для полиэфира:

$$\varepsilon_{кр} = 0,24 - 0,13 \cdot L, F_{кр} = 80 + 200 \cdot L. \quad (6)$$

Таблица 1 – Предельные характеристики сетчатых лент по результатам испытаний на разрыв

Материал	Длина фрагмента (начальная), м	Усилие при разрыве, Н	Удлинение фрагмента при разрыве, м
стекловолокно	0,1	168,67	0,03
	0,2	189,0	0,0613
	0,3	194,0	0,0833
	0,4	214,67	0,1053
полиэфир	0,1	82,0	0,0223
	0,2	88,0	0,0377
	0,3	94,0	0,0537
	0,4	100,0	0,0747

На основании проведенных исследований была сформулирована замкнутая поведенческая модель работоспособности сетчатой ленты:

$$\Phi = L^2 - k \cdot F, \quad (7)$$

где k – эмпирический коэффициент, определяемый типом материала. При этом условие $\Phi < 0$ соответствует рабочей области, $\Phi = 0$ – границе разрушения, а $\Phi > 0$ – области разрушения ленты. Полученные модели могут быть использованы при проектировании ленточных транспортеров и друго-

го оборудования, работающего в условиях комбинированного нагружения, а также для прогнозирования ресурса сельскохозяйственных машин [11, 12].

Заключение. Деформация сетчатой ленты определяется не только величиной нагрузки, но и длиной рабочего участка, при этом взаимодействие факторов является ключевым и отражает перераспределение напряжений в материале.

Стекловолоконная сетка демонстрирует более жесткое и нелинейное поведение, разрушаясь мгновенно при достижении критической нагрузки, тогда как полиэфирная сетка характеризуется большей пластичностью и стабильностью, что делает ее более предпочтительной для систем, где требуется прогнозируемое поведение.

Разработанные калибровочные и многофакторные математические модели с высокими коэффициентами детерминации ($R^2 \geq 0,95$) адекватно описывают поведение материалов в широком диапазоне нагрузок и могут быть использованы в инженерных расчетах.

Сформированная замкнутая математическая модель позволяет прогнозировать как рабочую область деформации, так и условия разрушения материала, что подтверждено корреляционным анализом экспериментальных данных и может быть применено при проектировании ленточных систем для очистки льнокустры и другого технологического оборудования.

Список использованной литературы

1. Симонов-Емельянов, И. Д. Построение структур полимерных композиционных материалов и их свойства / И. Д. Симонов-Емельянов. – М. : МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2005. – 64 с.
2. Татлыева, Г. З. Исследование физико-механических свойств стеклопластиков на основе полиэфирных смол марки Norpol / Г. З. Татлыева, Э. Ш. Теляков // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 1. – С. 138–142.
3. Aramide, F. O. Evaluation of the Mechanical Properties of Glass Fibre Reinforced Polyester Composites / F. O. Aramide, I. O. Oladele, D. O. Folorunso // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. – 2014. – Vol. 2, No. 2. – P. 112–118. – DOI: 10.4236/jmmce.2014.22015.
4. Jayabal, S. Effect of Glass Fiber Orientation on Mechanical Properties of Glass-Polyester Composites / S. Jayabal, S. Sathiyamurthy, K. T. Loganathan // International Journal of Applied Engineering Research. – 2012. – Vol. 7, No. 11. – P. 1245–1252.
5. Патент 2752475 С1 Российская Федерация. Устройство для очистки льнокустры / М. В. Симонов, В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц ; заявитель Вятский государственный университет. – № 2021100782 ; заявл. 15.01.2021 ; опубл. 28.07.2021.
6. Поисковые эксперименты процесса выделения минеральных примесей из вороха льнокустры транспортером с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой / В. А. Шаршунов [и др.] // Агропанорама. – 2023. – № 3 (157). – С. 8–13. – DOI: 10.56619/2078-7138-2023-157-3-8-13.
7. Шаршунов, В. А. Обоснование размера ячеек для выделения минеральных примесей из льнокустры / В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров // Инновационная деятельность в модернизации АПК : материалы Международной научно-

практической конференции. В 3 ч. Ч. 1. – Курск : Курская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. – С. 356–359.

8. Григорьев, Ю. Н. Геосинтетические материалы в дорожном строительстве / Ю. Н. Григорьев, А. П. Лупанов. – М. : МАДИ, 2011. – 112 с.

9. Аналитические исследования рабочей зоны эксцентрика в устройстве очистки льнокостры с колеблющейся сетчатой лентой / В. А. Шаршунов [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2026. – № 1. – С. 127–132.

10. Теоретическое обоснование кинематики эксцентрикового воздействия на сетчатую ленту транспортера для очистки вороха льнокостры / В. А. Шаршунов [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2026. – № 1. – С. 100–105.

11. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. – Л. : Колос, 1972. – 168 с.

12. Митков, А. Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А. Л. Митков. – М. : Машиностроение, 1978. – 360 с.

Summary. Deformation and Strength Characteristics of Polymer Mesh Belts under Combined Loading: Experimental and Mathematical Modeling.

This paper presents the results of a study on the mechanical behavior of glass fiber and polyester mesh belts under combined tensile and bending loading. Calibration relationships of force versus displacement and multifactor models of relative elongation were developed, and the ultimate material characteristics were determined. The analysis reveals that glass fiber mesh exhibits rigid, nonlinear behavior and fails instantaneously, whereas polyester mesh demonstrates greater ductility and stability. The obtained linear and multifactor regression models ($R^2 \geq 0.95$) adequately describe the material behavior under various loading conditions. A closed mathematical model is proposed to predict both the elastic deformation region and failure conditions. The results can be applied in the design of belt conveying systems, including those for flax shive cleaning processes.

УДК 621.9

Леонов С.Л., доктор технических наук, профессор;

Иконников А.М., доктор технических наук, доцент;

Ковальчук А.Е., магистрант; **Иконников Н.А.**, студент
*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация*

МАГНИТО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА В СОВРЕМЕННОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы и эффективность применения магнитно-абразивной обработки в производстве деталей сельскохозяйственного машиностроения. Описываются технологические

особенности метода, позволяющие достигать высокого качества поверхностей сложной формы и повышать качество изделий. Реализация данной технологии способствует значительному увеличению износостойкости и долговечности узлов современной агротехники.

Abstract. The article examines the prospects and efficiency of using magnetic-abrasive processing in the production of agricultural engineering parts. The technological features of the method are described, allowing to achieve high-quality surfaces of complex shapes and improve the quality of products. The implementation of this technology contributes to a significant increase in the wear resistance and durability of modern agricultural machinery components.

Ключевые слова. Магнитно-абразивная обработка, индуктор, магнитная индукция, магнитное поле, Ansys Maxwell.

Keywords. Magnetic abrasive finishing, inductor, magnetic induction, magnetic field, Ansys Maxwell.

Современное сельскохозяйственное машиностроение характеризуется высокими требованиями к надежности, ресурсу и точностным характеристикам рабочих органов машин. Детали почвообрабатывающих, посевных и уборочных агрегатов (лезвия ножей, диски, лапы культиваторов, высевающие аппараты) работают в условиях интенсивного износа, ударных и циклических нагрузок. Традиционные методы финишной обработки, такие как шлифование, полирование, электрохимические способы, не всегда обеспечивают требуемые физико-механические свойства поверхности, таких как высокая микротвёрдость, отсутствие прижогов и остаточных растягивающих напряжений.

Одним из перспективных методов повышения эксплуатационной стойкости деталей является магнитно-абразивная обработка (МАО), совмещающая механическое микрорезание с действием магнитного поля. В промышленности этот метод доказал свою эффективность для чистовой обработки сложнопрофильных деталей, однако его применение в сельскохозяйственном машиностроении получило малое развитие. [1]

Следуя из этого целью данной работы является обоснование технологических параметров магнитно-абразивной обработки для обработки деталей сельскохозяйственного назначения.

Магнитно-абразивная обработка (МАО) представляет собой способ абразивного резания, в которых для управления режущим инструментом используется магнитное поле, создаваемое в зоне обработки детали. В отличие от традиционных методов шлифования, где абразив жестко закреплен на связке, при МАО роль инструмента выполняет ферромагнитный абразивный порошок, частицы которого под действием магнитного поля ориентируются в рабочем зазоре.

Процесс съема металла сочетает два механизма: механическое микрорезание абразивными зернами и пластическое деформирование микронеровностей поверхности под действием движущейся магнитной

щетки. Абразивные частицы, удерживаемые в порошке магнитными силами, совершают сложное движение относительно обрабатываемой поверхности, что обеспечивает равномерную обработку даже на труднодоступных участках.

Электромагнитные индукторы позволяют плавно регулировать магнитную индукцию в рабочем зазоре путем изменения тока в катушках. Однако они имеют существенные недостатки: большие габариты, необходимость в источнике питания, сложность герметизации при работе с СОЖ и значительные потоки рассеивания.

У индукторов на постоянных магнитах нет этих недостатков: они автономны, компактны, надежны и не требуют электропитания. Конструктивно такой индуктор собирается из элементарных магнитных ячеек, где одинаковые полюса соседних магнитов обращены друг к другу, а стальные магнитопроводы направляют магнитный поток в рабочую зону. [3]

Ключевые преимущества МАО перед традиционными методами:

1. Отсутствие жесткого закрепления абразива - инструмент адаптируется к геометрии детали, что исключает риск «завала» кромок и обеспечивает обработку фасонных поверхностей.

2. Низкая температура в зоне резания - отсутствие прижогов и микроструктурных изменений. Этот пункт важен для деталей, работающих под циклическими нагрузками.

3. Возможность обработки широкого спектра материалов - от конструкционных сталей до твердых сплавов и немагнитных материалов.

Современное сельскохозяйственное машиностроение предъявляет специфические требования к обрабатываемым деталям, которые могут быть эффективно реализованы с помощью МАО. Наиболее перспективные направления для внедрения МАО представлены ниже.

Почвообрабатывающая техника - рабочие органы почвообрабатывающих машин работают в условиях интенсивного абразивного износа, вызываемого трением рабочих частей о почву с содержанием кварцевых частиц. Традиционные методы упрочнения, такие как наплавка, термическая обработка, не всегда обеспечивают требуемый ресурс из-за неравномерности упрочненного слоя или снижения вязкости материала.

Почвообрабатывающая техника включает широкий спектр рабочих органов, имеющих прямой контакт с почвой:

Лапы культиваторов (стрельчатые, долотообразные, рыхлительные) - работают на глубине 5-25 см при скоростях до 12-15 км/ч. Диски борон (сферические, вырезные) - испытывают знакопеременные нагрузки при вращении и удары о камни. Ножи дисковых лушильников - чисто режущий инструмент с высокой концентрацией напряжений на кромке. Долога и рыхлители глубокорыхлителей - работают на глубинах до 50-60 см. Сошники посевных комплексов - испытывают совместное воздействие абразивного износа и коррозии от минеральных удобрений.

Для обработки дисковых рабочих органов наиболее эффективны роторные установки с кольцевыми индукторами, обрабатывающие обе стороны диска одновременно. Обработка стрельчатых лап требует использования индукторов с использованием многоосевых систем, обеспечивающих доступ к внутренним углам и радиусным переходам.

Режущие аппараты уборочной техники испытывают воздействия абразивного износа, ударных нагрузок и коррозионного воздействия растительных соков.

Уборочная техника (зерноуборочные, кормоуборочные комбайны, косилки, силосоуборочные комплексы) включает быстроизнашивающиеся режущие элементы:

Сегменты ножей режущих аппаратов – треугольные или трапециевидные пластины с заточенными кромками, совершающие возвратно-поступательное движение. Пальцы режущих аппаратов – неподвижные противорежущие детали, по которым скользят сегменты. Дисковые ножи ротационных косилок – вращаются с окружной скоростью до 70-100 м/с. Бильные молотки дробилок – испытывают абразивно-ударное воздействие частиц зерна, соломы, минеральных примесей. Ножи измельчителей силоса – работают в зелёной массе с высоким содержанием кремнезёма.

Посевная техника работает в контакте с семенным материалом и абразивными частицами почвы. Повышенные требования предъявляются также к коррозионной стойкости в условиях контакта с минеральными удобрениями.

Посевные комплексы (сеялки точного высева, рядовые сеялки, стерневые сеялки прямого посева) содержат ответственные детали:

Высевающие диски (аппараты) - стальные или полимерные диски с ячейками для захвата семян. Абразивный износ приводит к изменению размера ячеек, повышению травмируемости семян и неравномерности высева. Высевающие катушки (желобчатые, рифлёные) - работают в потоке семян с кусочками почвы и камнями. Сошники (анкерные, дисковые, двухдисковые) - при движении в почве испытывают трение о грунт и коррозионное воздействие удобрений. Направители семян (семяпроводы, сошниковые вкладыши) - должны иметь гладкую поверхность с низким коэффициентом трения. [2]

Исходя из анализа конструкций индукторов и особенностей обрабатываемых деталей, можно выделить три основные технологические схемы, наиболее перспективные для внедрения в сельскохозяйственное машиностроение:

Схема 1. Роторная обработка плоских деталей. Используется для дисков борон, ножей косилок. Деталь закрепляется на столе, а индуктор располагается над обрабатываемой поверхностью. Возможно применение двухсторонней схемы с двумя оппозитными индукторами.

Схема 2. Проходная обработка длинномерных деталей. Применяется для сегментов ножей режущих аппаратов. Деталь протягивается через рабочую зону кольцевого индуктора. Преимущество – возможность включения в поточную линию.

Схема 3. Обработка фасонных поверхностей на многоосевых установках. Для штампованных деталей сложной геометрии (стрельчатые лапы, корпуса высевающих аппаратов) используются установки с индукторами на постоянных магнитах, закрепленными на подвижных головках с ЧПУ. Возможность перемещения по трем координатам и поворота на 360° обеспечивает доступ к любой точке детали.

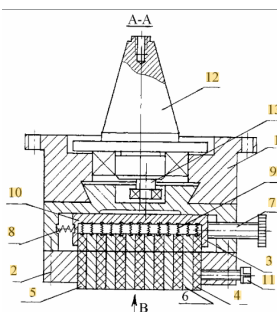


Рисунок 1 – Пример схемы устройства для МАО, реализуемой по технологической схеме 1 [5]

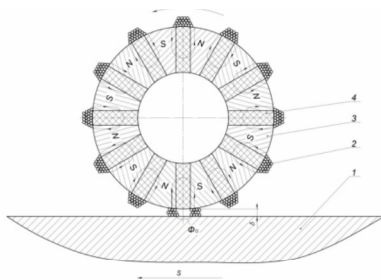


Рисунок 2 – Пример схемы устройства для МАО реализуемой по технологической схеме 2 [4]

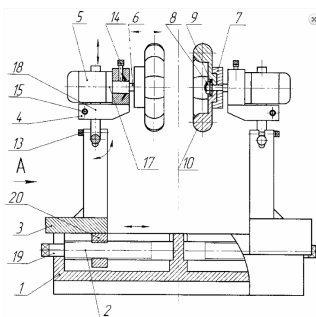


Рисунок 3 – Пример схемы устройства для МАО, реализуемой по технологической схеме 3 [6]

Предварительная оценка показывает, что применение МАО для чистовой и упрочняющей обработки рабочих органов сельскохозяйственной техники позволяет повысить ресурс деталей за счет комплексного улучшения микрорельефа, поверхностной микротвердости

и напряженного состояния, снизить коэффициент трения о почву и растительные материалы, обеспечить стабильность геометрических параметров при серийном производстве.

МАО позволяет достичь высокого качества шероховатости поверхности. При этом температура в зоне обработки не превышает 60-80 °С, тогда как при традиционном шлифовании она достигает 200-300 °С. Это исключает появление прижогов, отпуск мартенсита и другие структурные изменения в поверхностном слое деталей из термоупрочняемых сталей (65Г, 30ХГСА, 40Х), широко применяемых в сельхозмашиностроении.

Список использованной литературы

1. Акулович, Л. М. Упрочняющая и финишная абразивная обработка в магнитном поле деталей сельскохозяйственных машин : монография / Л. М. Акулович, А. В. Миранович, Л. Е. Сергеев, О. Н. Ворошуха ; под ред. Л. М. Акуловича. - Минск : БГАТУ, 2022. – 360 с.
2. Акулович, Л. М. Магнитно-абразивная обработка сложногопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин : монография / Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев. – Минск : БГАТУ, 2019. – 270 с.
3. Фёдоров, В. А. Классификация и разработка устройств с индукторами на постоянных магнитах для магнитно-абразивной обработки фасонных поверхностей / В. А. Фёдоров, А. М. Иконников, В. А. Столбов // Обработка металлов. - 2019. - № 4. - С. 100-107.
4. Иконников А.М., Теоретические основы обеспечения качества и повышения производительности магнитно-абразивной обработки сложногопрофильных поверхностей: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: 05.02.07 311 с.
5. Патент РФ №2220836. Устройство для магнитно-абразивной обработки / В. А. Фёдоров, А. А. Ситников, Е. Ю. Татаркин и др. ; заявл. 22.04.2002 ; опубл. 10.01.2004.
6. Фёдоров, В. А. Устройство для магнитно-абразивной обработки : пат. 2220836 Рос. Федерация / В. А. Фёдоров, А. А. Ситников, Е. Ю. Татаркин, А. М. Иконников, А. В. Балашов, И. Ф. Коневский ; и. – № 2002110761/02 ; заявл. 22.04.2002 ; опубл. 10.01.2004, Бюл. № 1. - 5 с. : ил..

Summary. The article examines the use of magnetic-abrasive finishing (MAF) for agricultural machinery parts. Unlike traditional grinding, MAF uses a magnetic field to control abrasive particles, ensuring low processing temperatures (60–80 °C) and no thermal damage. Three main processing schemes are described: rotary for flat parts (disc harrows, mower blades), feed-through for long parts (segment knives), and multi-axis for shaped parts (cultivator shares, seeding discs). The method is especially effective for tillage, harvesting, and seeding equipment.

Muhammad Bello Garba, Ph.D.

Department of Technical Education

Shehu Shagari University of Education, Sokoto, Nigeria

**INFLUENCE OF CENTRIFUGAL FORCES ON STRENGTH
OF BELT DRIVE PULLEY RIM
ВЛИЯНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ НА ПРОЧНОСТЬ КОЛЕСА
ШКИВА РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ**

Abstract: The paper considers the essence of calculating the strength of a belt drive pulley under the action of centrifugal forces, and conditions are obtained that ensure the strength of the pulley rim.

Keywords: belt drive, strength, pulley rim, centrifugal force, tension

Аннотация: В статье рассматривается сущность расчета прочности шкива ременной передачи под действием центробежных сил, и получены условия, обеспечивающие прочность обода шкива.

Ключевые слова: ременная передача, прочность, обод шкива, центробежная сила, натяжение.

Introduction

High-speed belt drive pulleys are essential drive components for various mechanisms in tractors, automobiles, agricultural machinery, metalworking machines, turbines, fans, and more. Pulley strength depends on the intended use, operating parameters, and characteristics of the machines, their operating conditions, and their service life. At high rotational speeds, plastic deformation or failure may occur in the pulley rim material, which can lead to serious machine failures. The main loads on the belt drive pulley rim are centrifugal forces, which stretch it.

Belt drive systems remain a fundamental means of power transmission in mechanical engineering applications due to their simplicity, flexibility, and cost-effectiveness. However, the performance and durability of such systems are strongly influenced by the stresses developed within the belt and pulley, particularly under high-speed operating conditions. One of the most critical factors affecting these stresses is centrifugal force, which significantly alters belt tension and consequently impacts pulley rim strength.

According to Shigley's Mechanical Engineering Design, the total tension in a moving belt consists of both the effective driving tension and the centrifugal tension, the latter arising due to the mass of the belt moving at high velocity. The centrifugal tension is expressed as a function of belt mass and velocity, and it increases quadratically with speed. This additional tension raises the overall stress within the belt, thereby increasing the load transmitted to the pulley structure [1].

Similarly, classical analyses presented in Theory of Machines show that centrifugal tension reduces the effective frictional grip between the belt and pulley by acting outward from the centre of rotation. This reduction in normal reaction between the belt and pulley necessitates higher initial tension to maintain power transmission, which in turn increases the net force acting on the pulley rim [2]. This condition is particularly critical when operating near the maximum power transmission point, where centrifugal effects become dominant.

Further insights into pulley force mechanics are provided by Theory of Machines, where it is emphasized that the equilibrium of forces on a pulley must account for both tight-side and slack-side tensions, along with centrifugal contributions. The combined effect of these forces leads to increased radial and tangential stresses on the pulley rim, which may induce deformation or fatigue failure if not properly accounted for in design [3].

From a design perspective, Design of Machine Elements highlights that pulley rims are subjected to tensile (hoop) stress due to belt tension, in addition to bending stresses caused by uneven load distribution. The presence of centrifugal tension amplifies these stresses, necessitating increased rim thickness and careful material selection to ensure structural integrity under dynamic conditions [4].

Analytical and theoretical studies also support these observations. For instance, [5] demonstrated that centrifugal force reduces the effective contact pressure between the belt and pulley, thereby altering load distribution and increasing the likelihood of slip. This change in force transmission dynamics indirectly contributes to higher stress concentrations in the pulley rim. Likewise, [6,7] provided a rigorous treatment of force and torque transmission in pulley systems, showing how tension variations along the belt contribute to complex loading conditions on the pulley.

In summary, the literature consistently shows that centrifugal forces play a significant role in modifying belt tension, reducing frictional grip, and increasing the overall load transmitted to pulley rims. These effects necessitate careful consideration in pulley design, particularly in high-speed applications where centrifugal tension becomes substantial. Failure to account for these forces can lead to excessive stress, material fatigue, and eventual structural failure of the pulley system.

The objective of the paper is to ascertain which places on the belt drive rim are to be checked for strength under the action of centrifugal forces.

Materials and Methods

The pulley rotates at a constant angular velocity ω (Figure 1). The forces acting on the disk are assumed to be symmetrical relative to the axis and uniformly distributed across the width of the pulley rim.

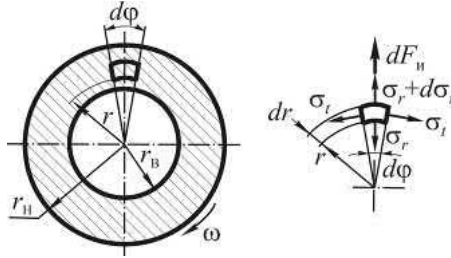


Figure 1 – Forces acting of pulley disk (rim)

The calculation is based on the following hypotheses:

1. the pulley rim material is subject to plane stress, i.e., normal stresses in planes perpendicular to the axis are zero.
2. the radial and circumferential normal stresses depend only on the current radius r .

Let us isolate the rim element from the pulley using two radial planes and two cylindrical surfaces and examine its equilibrium (figure). The element is subject to forces due to normal radial and circumferential stresses, as well as the inertial force dF , which, as is known, is equal to the product of the element's mass and the normal acceleration.

$$dF_i = \frac{\gamma}{g} r h d\varphi \omega^2 r dr \quad (1)$$

Where,

γ is the specific gravity of the material.

g is the acceleration due to gravity.

r is the current radius, the distance from the point under consideration to the pulley's axis of rotation.

h is the pulley rim width.

The force dF_i is directed radially away from the axis of rotation.

To formulate the equilibrium equation for the selected element, we project all forces onto a radius coinciding with the bisector of angle $d\varphi$:

$$(\sigma_r + d\sigma_r)(r + dr)h d\varphi - \sigma_r r h d\varphi - 2\sigma_t h dr \sin\left(\frac{d\varphi}{2}\right) + \frac{\gamma}{g} r h d\varphi \omega^2 r dr = 0 \quad (2)$$

Where σ_r, σ_t – normal (radial and circumferential) stresses respectively.

After transformations, equation (2) takes the following form:

$$\frac{d}{dr}(\sigma_r r) - \sigma_t = -\frac{\gamma}{g} \varphi^2 \omega^2 = 0 \quad (3)$$

Relative linear deformations in the radial and circumferential directions through the radial displacement u and the generalized Hooke's law can be represented as

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr} = \frac{1}{E} (\sigma_r - \mu \sigma_t) \quad (4)$$

$$\varepsilon_t = \frac{u}{r} = \frac{1}{E} (\sigma_t - \mu \sigma_r) \quad (5)$$

Where E and μ are the elastic modulus and Poisson's ratio of the pulley material, which are physical constants.

From equations (4) and (5), we express the normal radial and circumferential stresses

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{du}{dr} + \mu \frac{u}{r} \right) \quad (6)$$

$$\sigma_t = \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{u}{r} + \mu \frac{du}{dr} \right) \quad (7)$$

Substituting (6) and (7) into the equilibrium equation, we obtain a differential equation for the radial displacements of the points of the rotating pulley rim.

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} + \frac{1-\mu^2}{E} \frac{\gamma}{g} \omega^2 r^2 \quad (8)$$

The solution to equation (8) is represented as:

$$u = Cr + \frac{D}{r} - \frac{1-\mu^2}{8E} \cdot \frac{\gamma}{g} \omega^2 r^3 \quad (9)$$

Where C and D are constants of integration.

Substituting (9) into equations (6) and (7), we obtain formulas for radial and circumferential stresses.

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} \left(C(1-\mu) - D(1-\mu) \frac{1}{r^2} \right) - \frac{\gamma}{8g} \omega^2 (3+\mu) r^2 \quad (10)$$

$$\sigma_t = \frac{E}{1-\mu^2} \left(C(1-\mu) + D(1-\mu) \frac{1}{r^2} \right) - \frac{\gamma}{8g} \omega^2 (1+3\mu) r^2 \quad (11)$$

The integration constants are found by solving a system of two equations obtained by substituting into expression (10) the initial conditions for σ_r on the outer and inner surfaces of the pulley rim when: $r = r_H, \sigma_r = 0, r = r_B, \sigma_r = 0$,

$$C = \frac{\gamma \omega^2 (1-\mu)(3+\mu)(r_H^2 + r_B^2)}{8gE} \quad (12)$$

$$D = \frac{\gamma \omega^2 (1+\mu)(3+\mu)(r_H^2 r_B^2)}{8gE} \quad (13)$$

By substituting the constants of integration into expressions (10) and (11), we obtain the formulas for determining radial and circumferential stresses as

$$\sigma_r = \left(r_H^2 + r_B^2 - \frac{r_H^2 r_B^2}{r^2} - r^2 \right) \cdot \frac{\gamma}{8g} \omega^2 (3+\mu) \quad (14)$$

$$\sigma_t = \left(r_H^2 + r_B^2 - \frac{r_H^2 r_B^2}{r^2} - \frac{1+3\mu}{3+\mu} r^2 \right) \cdot \frac{\gamma}{8g} \omega^2 (3+\mu) \quad (15)$$

From expression (15) above, it is evident that σ_t takes the greatest values on the inner surface of the pulley rim, where σ_r is equal to zero. Then the strength

of the pulley rim at points on its inner surface will be ensured when the following condition is fulfilled

$$\sigma_{max} = \sigma_t = \left(2r_H^2 + r_B^2 \left(1 - \frac{1+3\mu}{3+\mu} r^2 \right) \right) \cdot \frac{\gamma}{g} \omega^2 (3 + \mu) \leq [\sigma] \quad (16)$$

Where $[\sigma]$ is the permissible stress.

It is also necessary to check the strength at the points in the rim cross-section where the greatest σ_r occurs. The position of these points, determined by the radius r_m , is determined by equating the expression for the first derivative to zero: $\frac{d\sigma_r}{dr} = 0$.

As a result, we obtain $r_m = \sqrt{r_H r_B}$

Then the stresses at the points of the rim cross-section located at a distance r_m from the axis will be equal to

$$\sigma_{rmax} = (r_H^2 + r_B^2) \cdot \frac{\gamma}{g} \omega^2 (3 + \mu) = \sigma_1 \quad (17)$$

$$\sigma_t = \left(r_H^2 + r_B^2 - \frac{1+3\mu}{3+\mu} r_H r_B \right) \cdot \frac{\gamma}{g} \omega^2 (3 + \mu) = \sigma_2 \quad (18)$$

Where σ_1, σ_2 - are the principal (main) stresses

The points on the rim under consideration are subject to plane stress, since the principal stress is $\sigma_3 = 0$. To assess the strength Energy Theory is used:

$$\sigma_{eq,IV} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \leq [\sigma] \quad (19)$$

Conclusion

Thus, the strength of a belt drive pulley rim under the action of centrifugal forces must be checked at the cross-section points located on the inner surface according to condition (16), and at the cross-section points at a distance of $r_m = \sqrt{r_H r_B}$ by fulfilling condition (19).

References

1. Budynas, R.G., & Nisbett, J. K. (2020). *Shigley's Mechanical Engineering Design (11th Ed.)*. McGraw-Hill Education.
2. Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2019). *Theory of Machines (14th Ed)*. S. Chand Publishing.
3. Rattan, S. S. (2014). *Theory of Machines (4th Ed.)*. McGraw-Hill Education.
4. Bhandari, V. B. (2010). *Design of Machine Elements (3rd ed)*. Tata McGraw Hill.
5. Firbank, T. C. (1970). Mechanics of Belt Drives. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 12(3), 220-230.
6. De Oliveira P. M.C. & Lemons, N.A. (2017). *Forces and Torque of a String on a Pulley*. arXiv.<https://arxiv.org/abs/1706.10139>.
7. Podskrebko, M. D. (2009). *Strength of Materials. Fundamentals of the Theory of Elasticity, Plasticity, Creep and Fracture Mechanics*: Minsk, Higher School, p 670.

Базанова И.А. доктор технических наук, профессор;
Қаржаубай М.Ш. магистр
*«Казахский национальный аграрный исследовательский университет»,
г. Алматы, Республика Казахстан*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫХ СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЗЕМЛЕРОЙНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы проектирования противооползневых сооружений для защиты транспортной инфраструктуры на оползнеопасных склонах Восточного Казахстана. Выполнен анализ основных типов противооползневых конструкций с учетом воздействия землеройной техники. Предложена методика расчета устойчивости склонов, учитывающая статические и динамические нагрузки, а также сформулированы рекомендации по повышению надежности инженерной защиты.

Abstract. The article considers modern methods for designing landslide protection structures for transport infrastructure on landslide-prone slopes in Eastern Kazakhstan. An analysis of the main types of landslide protection structures is carried out, taking into account the impact of earthmoving machinery. A method for calculating slope stability is proposed, considering static and dynamic loads, and recommendations are formulated for improving the reliability of engineering protection systems.

Ключевые слова. Противооползневые сооружения, транспортная инфраструктура, землеройная техника, экскаваторы, бульдозеры, устойчивость склонов, инженерная защита, коэффициент устойчивости, Восточный Казахстан.

Keywords: Landslide protection structures, transport infrastructure, earthmoving machinery, excavators, bulldozers, slope stability, engineering protection, stability coefficient, Eastern Kazakhstan.

Транспортная инфраструктура горных и предгорных районов Казахстана подвержена воздействию оползневых процессов, представляющих угрозу для дорог, мостов и инженерных сооружений [1]. В Восточном Казахстане развитие оползней усиливается из-за сложных природных условий и сезонных изменений [2].

Для защиты транспортной инфраструктуры применяются инженерные методы, включающие армирование грунта, дренажные системы и противооползневые сооружения различных типов [1, 2, 3].

Однако при проектировании недостаточно учитывается влияние эксплуатационных нагрузок от землеройной техники, используемой при расчистке склонов и строительстве защитных конструкций [6, 7].

Основные типы сооружений включают рамные, стержневые, свайно-анкерные, холмообразные и крестообразные конструкции. Каждый тип имеет свои преимущества и ограничения, а выбор зависит от геологических условий, степени опасности и назначения объекта [2][3].

Современные методы проектирования позволяют учитывать динамику оползневых процессов и обеспечивать долговечность сооружений, снижая затраты на ремонт и поддержание инфраструктуры. Интеграция инженерных и природных методов закрепления склонов (например, посадка деревьев и кустарников в треугольных ячейках рамных сооружений) повышает устойчивость защитных объектов [1][4] [8].

Конструкции противооползневых сооружений. Рамные сооружения

Рамные сооружения собираются с помощью кольцевых шайб и монолитных железобетонных стоек, заделанных в фундаменты. В середине треугольных ячеек высаживаются деревья и кустарники, что дополнительно закрепляет верхний слой грунта. Такие конструкции эффективно защищают локальные дороги, мелкие складские помещения и поля от оползней [1][3].

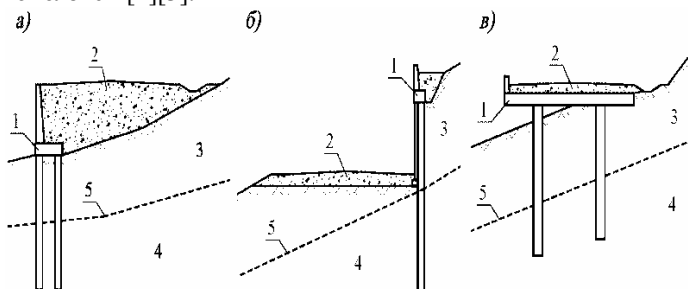


Рисунок 1 – Схема взаимодействия транспортной инфраструктуры, противооползневых сооружений и землеройной техники [8]

Давление техники на склон учитывается при проектировании фундамента, что повышает устойчивость сооружения [6][7].

Подземные и свайно-анкерные сооружения применяются на протяжённых участках автомобильных и железных дорог, где устройство сплошных противооползневых конструкций является экономически и экологически нецелесообразным. Такие системы обеспечивают устойчивость склонов при длительных статических и динамических нагрузках [1][4].

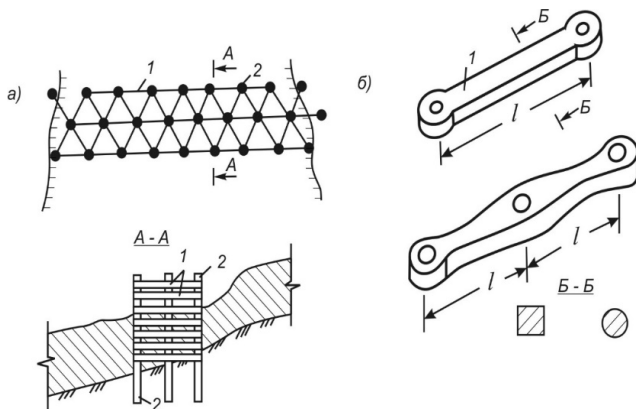


Рисунок 2 – Рамная противооползневая конструкция
а – вид сверху; б – варианты балок (1 – однопролетная, 2 – двухпролетная)
Свайно-анкерные и подземные сооружения

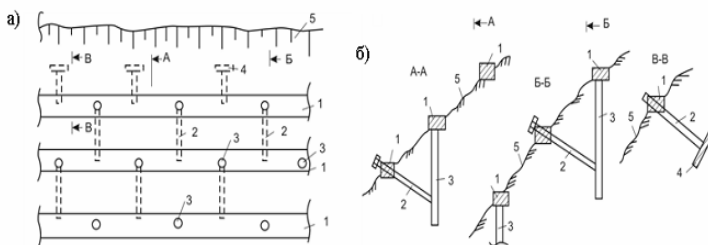


Рисунок 3 – Свайно-анкерная система укрепления оползнеопасного склона
с расчетными разрезами
а – трёхрядовое расположение свай; б, в – разрезы по линиям А-А, Б-Б, В-В

Свайно-анкерные и крестообразные конструкции обладают высокой несущей способностью и пространственной жесткостью, что повышает устойчивость грунтового массива. При их проектировании учитываются нагрузки от землеройной техники, что повышает надежность сооружений [6][7].

Влияние землеройной техники выражается в увеличении давления на грунт и изменении напряженного состояния откосов, особенно в слабых и водонасыщенных грунтах. Это приводит к снижению устойчивости склонов и требует обязательного учета техногенных нагрузок при проектировании.

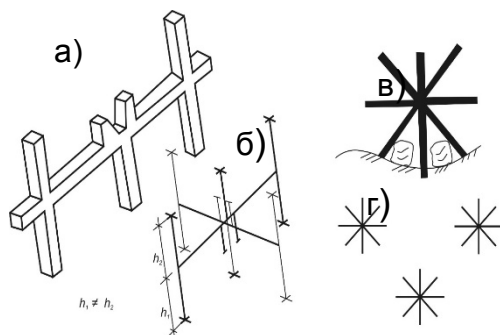


Рисунок 4 – Схема взаимодействия землеройной техники и противооползневых сооружений на устойчивость откоса
а – элемент устройства; б – схема сборки; в – форма металлического блока;
г – шахматное расположение блоков

Крестообразные железобетонные рамные конструкции способны эффективно воспринимать динамические воздействия оползневых масс с различных направлений, а также обеспечивают устойчивость к локальным деформациям грунтового массива [2][5].

При установке блоков техника работает вдоль горизонталей склона для минимизации сдвигающих сил на грунт. Учет нагрузки землеройной техники позволяет планировать последовательность монтажа и предотвращает локальные обрушения [6][7].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика противооползневых сооружений

Тип сооружения	Преимущества	Недостатки
Рамные	Простота монтажа, биологическое укрепление	Необходимость обслуживания
Свайно-анкерные	Высокая устойчивость и долговечность	Высокая стоимость
Крестообразные	Пространственная жесткость	Повышенные требования к материалам

Методика расчета устойчивости склонов с учетом нагрузки техники

Для повышения точности проектных решений коэффициент устойчивости склона определяется с учетом статических и динамических нагрузок от землеройной техники:

$$K_{уст} = \frac{(c \cdot l + (N - U) \cdot \tan \varphi)}{T + T_{тех}}$$

c – сцепление грунта; l – длина расчетной (активной) поверхности скольжения; N – нормальная составляющая давления грунта; U – поровое

давление; T – сдвигающие силы от собственного веса грунта; $T_{тех}$ – дополнительные сдвигающие нагрузки, возникающие при воздействии строительной техники.

Например, экскаватор массой 18 т создаёт давление на грунт порядка 60 кПа. Учет данной нагрузки позволяет уточнить расчёт устойчивости склона, оптимизировать проектные решения и снизить риск активизации оползневых процессов при строительстве. Расчет показал снижение коэффициента устойчивости склона с 1,63 до 1,40 при учете нагрузки от землеройной техники.

Выводы.

1. Рамные и свайно-анкерные противооползневые конструкции обеспечивают эффективную защиту транспортной инфраструктуры на оползнеопасных склонах.

2. Крестообразные железобетонные конструкции обладают высокой пространственной жесткостью и устойчивостью к деформациям грунта.

3. Учет нагрузок от землеройной техники повышает точность расчета устойчивости склонов.

4. Наибольшая надежность противооползневой защиты достигается при комплексном применении инженерных и биологических методов.

5. Современные методы расчета и моделирования позволяют повысить точность проектных решений.

6. Рационально комбинировать различные типы конструкций в зависимости от инженерно-геологических условий.

Список использованной литературы

1. Базанова И. А. Теория и практика защиты дорог от лавино-оползневых воздействий: дисс. д.т.н. – Алматы, 2010. – 297 с.

2. Жданов В., Кузагельдина Н., Гуляева Т. «Мониторинг и методы прогнозирования лавинной опасности в Казахстане». География и водные ресурсы, № 3(2025).

3. «Рекомендации: Зимнее содержание автомобильных дорог общего пользования». Р РК 218-138-2017.

4. Сидоров А., Иванова М. «Современные методы укрепления склонов в горных районах». Инженерная геология, 2022, № 5.

5. Петров Д., Ким Е. «Эффективность крестообразных рамных сооружений при защите сельскохозяйственных объектов». Строительство и технологии, 2023, № 2.

6. Zhang, L., Li, X. Slope stability analysis under heavy machinery loads. Engineering Geology, 2019, Vol. 258, pp. 105–115.

7. Smith, J., Brown, K. Earthmoving equipment influence on soil stability. Journal of Construction Engineering, 2021, Vol. 147, No. 5.

8. ОДМ 218.2.050-2015. Методические рекомендации по проектированию противооползневых сооружений. – М.: Росавтодор, 2015. – 124 с.

Яновский Д.А., старший преподаватель;

Зенов А.А., старший преподаватель

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

КЛАССИФИКАЦИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Аннотация. В статье представлена классификация беспилотных летательных аппаратов по техническим характеристикам, типу конструкции и способу управления. Рассматриваются преимущества и ограничения дронов вертолётного, самолётного и гибридного типов, а также особенности FPV и GPS-управления. Отмечается, что, несмотря на широкое практическое применение мультироторных БПЛА в сельском хозяйстве, теоретическое обоснование их конструктивных параметров для конкретных условий эксплуатации пока развито недостаточно.

Abstract. This article presents a classification of unmanned aerial vehicles based on their technical characteristics, design type, and control method. It examines the advantages and limitations of helicopter, fixed-wing, and hybrid drones, as well as the specifics of FPV and GPS control. It notes that, despite the widespread practical use of multi-rotor UAVs in agriculture, the theoretical justification for their design parameters for specific operating conditions remains insufficiently developed.

Ключевые слова. Сельскохозяйственный дрон, классификация, самолетный тип, вертолетный тип.

Keywords. Agricultural drone, classification, aircraft type, helicopter type.

Дроны классифицируют по разным критериям: количеству и расположению винтов или крыльев, цели использования, дальности полёта, массе полезной нагрузки, базовому механизму и прочее [1, 2].

По техническим характеристиками выделяют дроны трёх видов:

- вертолётного/коптерного (мультироторные – мультикоптерные и соосные);
- самолётного (с неподвижным крылом);
- гибридного (с винтами и крыльями).

В свою очередь вертолётный тип делится на 2 вида:

- мультироторные или мультикоптерные дроны – привычные многовинтовые модели;
- однороторные дроны, они оснащены большим ведущим винтом и в дополнение к нему имеют маленький хвостовой винт для контроля курса.

В основе самолётных моделей – несущие плоскости-крылья, которые обеспечивают дрону высокий, продолжительный полёт большого радиуса.

Беспилотники вертолётного (или коптерного) типа оснащены винтами. В зависимости от количества винтов коптеры делят на:

- трикоптер оснащен 3 винтами;
- квадрокоптер с 4 винтами;
- гексакоптер с 6 винтами;
- октокоптер с 8 винтами.

Однако в случае с попарно соосными винтами таких устоявшихся названий, сообщающих количество двигатель-винтовых элементов, нет, а потому они все называются соосными коптерами, а количество винтов уже шифруется по форм-фактору (рисунок 1).

Дроны коптерного типа отличаются плавностью и стабильностью полёта. Аппараты подходят для мониторинга территории и её детального анализа.

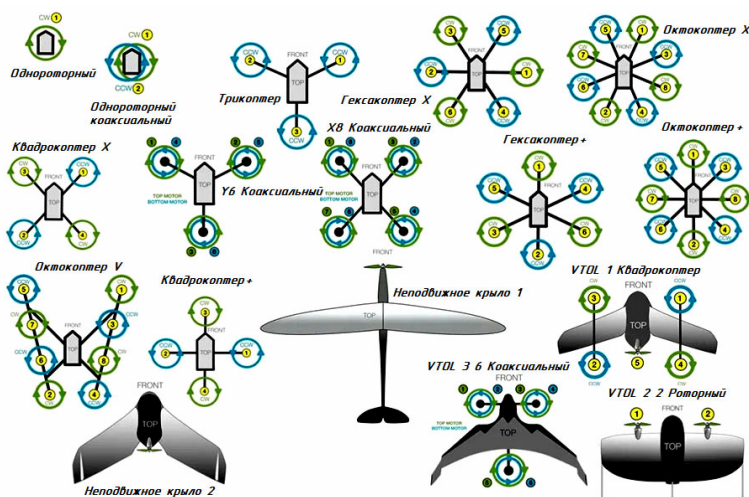


Рисунок 1 – Классификация сельскохозяйственных дронов

Гибридные версии сочетают в себе преимущества моделей с неподвижным крылом, такие как - более высокое время полета, с преимуществами моделей на основе винтов – возможность парения.

По типу управления беспилотники разделяются на GPS и FPV дроны. GPS дроны зачастую используются для реализации стабилизированной аэросъёмки. Благодаря автоматическим функциям эксплуатация GPS дронов максимально проста и не требует от пользователя особых навыков пилотирования. Потенциал GPS дронов всегда ограничен электроникой, как в мощности, так и в управлении, что в целом предопределяет их узкое

предназначение. FPV (First Person View) дроны используются для реализации свободного динамичного полёта в режиме от первого лица.

Принципиально известны два варианта конструкции беспилотных летательных аппаратов (БПЛА): с фиксированным и вращающимся крылом (рисунок 2).



Рисунок 2 – Общий вид БПЛА
а) с фиксированным крылом; б) с вращающимся крылом

БПЛА с фиксированным крылом (самолетного типа) состоят из жесткого крыла, которое имеет заданный аэродинамический профиль. Полет обеспечивается с помощью пропеллера, который приводится в движение двигателем внутреннего сгорания или электродвигателем. БПЛА такого типа могут переносить большую полезную нагрузку на большие расстояния при меньшей мощности. Недостатком является необходимость взлетно-посадочной полосы или пусковой установки для взлета и посадки. Такие БПЛА требуют движения воздуха по своим крыльям для создания подъема, они не подходят для проведения стационарных работ. При полете теряется визуальный контакт с БПЛА, что усложняет процесс работы и законодательно запрещен в некоторых странах.

БПЛА с вращающимся крылом состоят из одного и более лопастей (чаще всего четыре), которые вращаются вокруг неподвижной оси, при этом постоянного движения вперед аппарата не требуется для создания воздушного потока над лопастями, вместо этого сами лопасти находятся в постоянном движении, которые создают необходимый воздушный поток для поднимающей силы. Управление вращающимися БПЛА происходит от изменения тяги и крутящего момента двигателя. Например, нисходящее движение создается задними двигателями, создающими большую тягу, чем передние, что позволяет задней части БПЛА подниматься выше, создавая, таким образом, угол наклона. При повороте аппарата используется сила крутящего момента диагональных двигателей, что создает дисбаланс, заставляя БПЛА вращаться по вертикальной оси. Наибольшее преимущество таких БПЛА – возможность взлета и посадки по вертикали.

Таким образом, благодаря простоте конструкции и легкости управления широкое распространение в сельском хозяйстве получили БПЛА с вращающимся крылом. Благодаря этому на сегодняшний момент нако-

пился большой опыт практического применения, однако практически отсутствует теоретическое обоснование конструктивных параметров дрона в зависимости от условий эксплуатации.

Список использованной литературы

1. Ковалевич, И. П. Беспилотники в сельском хозяйстве / И. П. Ковалевич, П. Д. Колонтай ; науч. рук. Д. Н. Бондаренко, Н. Ю. Мельникова // Перспективная техника и технологии в АПК : материалы Международной научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов, Минск, 10–20 апреля 2022 г. – С. 184–187.

2. Перспективы использования беспилотных летательных опрыскивателей в сельском хозяйстве = Prospects for the use of unmanned aerial sprayers in agriculture / В. Н. Еднач [и др.] // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях : сборник трудов X Международной научно-практической конференции. - Саратов : ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2023. - С. 533–537.

Summary. Rotary-wing UAVs have become widely used in agriculture due to their simple design and ease of operation. While this has resulted in extensive practical experience, there is virtually no theoretical justification for drone design parameters depending on operating conditions.

УДК 631.312.021.4

Яновский Д.А., старший преподаватель;

Зенов А.А., старший преподаватель

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ДРОНЫ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются функциональные возможности сельскохозяйственных дронов: от мониторинга, посева и точного внесения удобрений до полива и генерации тумана. Ключевыми преимуществами агродронов являются высокая скорость обработки, способность работать на сложном рельефе и в ночное время при существенной экономии ресурсов, однако их широкое внедрение пока сдерживается ограниченной автономностью, зависимостью от погоды и высокой первоначальной стоимостью.

Abstract. This article examines the capabilities of agricultural drones, from monitoring, seeding, and precision fertilization to irrigation and fog generation. Key advantages of agricultural drones include high processing speed, the ability to operate in difficult terrain and at night, while significantly saving resources. However, their widespread adoption is currently hampered by limited autonomy, dependence on weather, and high initial cost.

Ключевые слова. Сельскохозяйственный дрон, мониторинг, точное земледелие, сельскохозяйственная культура

Keywords. Agricultural drone, monitoring, precision farming, agricultural crops

Сельскохозяйственные дроны – это универсальный вариант для выполнения разнообразных сельскохозяйственных операций [1, 2]:

1. Мониторинг. Использование беспилотников позволяет оценить состояние полей и урожая без привлечения специального транспорта. Дрон облетает большие участки за короткие сроки и передает оператору данные в режиме реального времени. Информация помогает подобрать оптимальные методы ухода за сельскохозяйственными культурами, наблюдать за их ростом и вносить коррективы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Процесс мониторинга при помощи дрона

2. Посев семян. Дроны оборудованы специальной конструкцией для переноски и сброса грузов (рисунок 2). Существуют модели, способные поднимать за раз несколько десятков килограмм. Выполнение аналогичных работ вручную занимает значительно больше времени. Однако данная технология только зарождается и пока используется для посева мелкосеменных культур.



Рисунок 2 – Концепция посева сельскохозяйственных культур с использованием агродронов

3. Опрыскивание растений. Опрыскивание урожая стандартными методами даже с помощью спецтехники занимает довольно много времени (рисунок 3). Агродроны справляются с этой задачей более эффективно как в случае с большими полями, так и при работе на маленьких участках. Беспилотники позволяют с высокой точностью дозировать препараты и наносить их на растения с минимальным риском попадания химических средств на соседние участки.



Рисунок 3 – Процесс опрыскивания сельскохозяйственных культур с использованием агродронов

4. Предварительная аэрофотосъемка и построение 3D-модели обрабатываемого участка. Опция помогает наглядно визуализировать объем работ с указанием областей обработки.

5. Внесение трихограммы. Трихограмма – это мелкое насекомое, которое паразитирует на вредителях, что предотвращает их размножение и защищает растения. Размер насекомых не превышает 1 мм, благодаря чему трихограмму удобно вносить с беспилотника. С помощью дрона насекомые равномерно распределяются по полю, что увеличивает эффективность их использования.

6. Распыление удобрений. Сельскохозяйственные дроны используют для внесения как обычных удобрений, так и микроудобрений. Рабочие органы равномерно распыляют их на поле вне зависимости от размеров площади и вида используемых удобрений.

7. Полив растений на участке. Большая емкость баков позволяет сельскохозяйственным дронам не только вносить химические составы, но и проводить дистанционный полив.

8. Генерация тумана. Комплекс для генерации тумана повышает качество обработки посевов и устанавливается непосредственно на дрон. Однако такое оборудование снижает скорость работы из-за веса конструкции (рисунок 4).



Рисунок 4 – Процесс генерации тумана сельскохозяйственным дроном

Таким образом, к основным преимуществам применения дронов в сельском хозяйстве можно отнести:

- быстрая обработка участков. Модели агродронов отличаются разной длиной логистического цикла и скоростью работы. У одних беспилотников цикл занимает около 10...12 минут. За это время дрон обрабатывает до 2...3 га земли. У других время полета доходит до 20 минут, а площадь обработки составляет 4...6 га;

- работа на сложной местности. Благодаря высокой маневренности и встроенным датчикам контроля рельефа беспилотники оперативно реагируют на препятствия и легко их огибают. Они способны проводить обработку не только на ровной поверхности, но и на трудных участках: на склонах, в низинах и пр. Беспилотники способны работать на влажной почве, когда в поле не может заехать самоходный опрыскиватель или трактор с прицепным агрегатом;

- точность внесения химических составов. Внесение и распыление удобрений, средств защиты растений происходит равномерно, так как агродроны автоматически соблюдают объем заданной дозировки. Система выявляет зоны, которые могли быть пропущены во время первого пролета, и дрон обрабатывает их повторно, чтобы на участке не оставалось пропусков;

- работа в ночное время. Ночью температура и влажность максимально шадящие для большинства сельскохозяйственных культур, поэтому работа в это время становится более эффективной. Для удобства многие модели оснащены LED-фонариками или прожекторами, подсвечивающими участок;

- экономичность. Один сельскохозяйственный беспилотник может значительно сократить расходы на наземную технику, горюче-смазочные материалы и химические составы;

- многофункциональность. У каждой модели дрона предусмотрены свои базовые возможности и дополнительные опции. Так, например, к числу дополнительных функций можно отнести сохранение точки остановки, возможность одновременной работы с несколькими компонентами, отметка путевых точек на карте, командное управление заданиями и прочее.

Однако следует отметить что у сельскохозяйственных дронов есть и некоторые недостатки, накладывающие ограничения при их использовании:

- непродолжительное время полета и необходимость постоянной зарядки батарей;

- ограничения по мощности и объему бака;

- зависимость от погодных условий. Сельскохозяйственные беспилотники могут противостоять ветру, дождю и умеренному снегопаду. Однако при сильных осадках и резких порывах ветра прибор не будет правильно работать;

- частое обновление программное обеспечение (ПО) для получения актуальных версий системы.

Также к недостаткам можно отнести первоначальную затратность приобретения, покупку соответствующего ПО, обучение оператора.

Таким образом сельскохозяйственные дроны являются высокоэффективным многофункциональным инструментом, способным выполнять широкий спектр агроопераций – от мониторинга и посева до точного внесения удобрений и средств защиты растений. Их ключевые преимущества заключаются в скорости обработки, маневренности на сложном рельефе, равномерности дозирования химических составов и возможности работы в ночное время, что в совокупности обеспечивает существенную экономию ресурсов. Вместе с тем, ограниченная автономность, зависимость от погодных условий, малая грузоподъемность и высокие первоначальные затраты на оборудование и обучение персонала сдерживают массовое внедрение агродронов, однако данные ограничения не снижают их стратегической перспективности для цифровизации отрасли.

Список использованной литературы

1. Ковалевич, И. П. Беспилотники в сельском хозяйстве / И. П. Ковалевич, П. Д. Колонтай ; науч. рук. Д. Н. Бондаренко, Н. Ю. Мельникова // Перспективная техника и технологии в АПК : материалы Международной научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов, Минск, 10–20 апреля 2022 г. – С. 184–187.

2. Перспективы использования беспилотных летательных опрыскивателей в сельском хозяйстве = Prospects for the use of unmanned aerial sprayers in agriculture / В. Н. Еднач [и др.] // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях : сборник трудов X Международной научно-практической конференции. - Саратов : ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2023. – С. 533–537.

Summary. Agricultural drones are a highly effective, multifunctional tool capable of performing a wide range of agricultural operations, from monitoring and seeding to precision application of fertilizers and crop protection products. Their key advantages include speed of operation, maneuverability on difficult terrain, uniform chemical application, and the ability to operate at night, which together provide significant resource savings. However, limited autonomy, dependence on weather conditions, low payload capacity, and high initial costs for equipment and personnel training hinder the widespread adoption of agricultural drones. However, these limitations do not diminish their strategic potential for digitalization in the industry.

УДК 631.33

Яковлев Д.А., кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Университет биотехнологий»,

г. Новосибирск, Российская Федерация

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ АДАПТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ПОСЕВА К УСЛОВИЯМ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Аннотация. В данной статье описывается важность адаптации технологий посева к условиям влажности почвы Сибири. На основании аналитики данных

Росстата установлено, что развитие современных цифровых технологий значительно упрощает процесс совершенствования технологий возделывания культур. Наиболее важными критериями адаптации технологий является качество посева и расход топлива при работе посевных агрегатов в условиях различной влажности почвы.

Abstract. This article describes the importance of adapting seeding technologies to Siberian soil moisture conditions. Based on Rosstat data analysis, it has been established that the development of modern digital technologies significantly simplifies the process of improving crop cultivation technologies. The most important criteria for adapting technologies are seeding quality and fuel consumption when operating seeding units under varying soil moisture conditions.

Ключевые слова. Качество посева, влажность почвы, расход топлива, точное земледелие.

Keywords. Seeding quality, soil moisture, fuel consumption, precision farming.

Вопрос обоснования технологий и технических средств в сельскохозяйственном производстве закономерно является актуальным по причине изменяющихся в силу различных обстоятельств условий ведения производства. Технологии возделывания культур по-прежнему остаются одним из важнейших направлений ведения хозяйства. В различных регионах России преобладают различные культуры, но по-прежнему фокус более направлен на зерновые и зернобобовые культуры, включая кукурузу. В Сибири также преобладают зерновые культуры. По данным Росстата на 2025 год при общей посевной площади около 14 млн га, под посевами зерновых и зернобобовых занято 7,7 млн га.

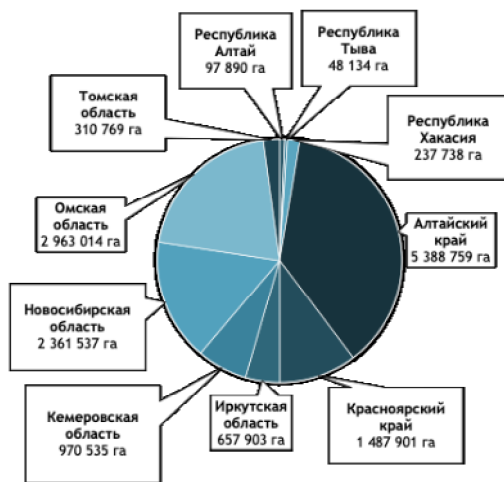


Рисунок 1 – Посевные площади Сибири [1]

При оценке распределения посевных площадей Сибири по данным 2024 года (Рис. 1) мы видим, что регионами с наибольшим количеством земель, введённых в оборот, являются Алтайский край с площадью около 6 млн га, Омская, Новосибирская области и догоняющий их Красноярский край. В сравнении с передовыми аграрными регионами страны, сосредоточенными в южном федеральном округе занимающими площадь также около 14 млн га, можно сказать, что Сибирь имеет огромный потенциал. Но в данном случае необходимо отметить природно-климатический потенциал местности, где аграрии успевают получать несколько урожаев, когда сибиряки только один.

В связи с остро стоящим на повестке дня вопросом изменения климата необходимо давать отчет в том, что тренд глобального потепления дает о себе знать и в Сибири, что конечно же отражается в некоторой мере и на количестве посевных площадей. Технологии возделывания культур в течение прошедшего времени постоянно изменялись и подстраивались под данные изменения, но сейчас данному вопросу, к сожалению, уделяется не так много внимания. Зато достаточно внимания уделяется вопросам цифровизации процессов сельского хозяйства. Многим известный термин точное земледелие используется все чаще и чаще. Цифровые технологии в свою очередь являются драйвером развития технологий точного земледелия. По своей сути концепции точного земледелия заключаются во вне системном воздействии элементов технологий возделывания в рамках сельскохозяйственных площадей. Поскольку как объект воздействия почва является достаточно гетерогенной, а рациональное использование определенных участков полей позволяет повысить эффективность производства и снижение погектарных затрат на возделывание.

На сегодняшний день развитие технологий точного земледелия может быть использовано для лучшей адаптации технологий и технических средств под изменяющиеся условия климата [2].

При анализе работ центра прогнозирования и мониторинга АПК Кубанского ГАУ (Рис. 2) видно, что больше всего элементы точного земледелия по состоянию на 2018 год используются на территории 921 тыс га в Омской области, а также в Новосибирском и Алтайском крае. Безусловно на 2025 год эти данные будут отличаться и скорее всего должны увеличиваться в соответствии со стратегию развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2022 года № 2567-р.

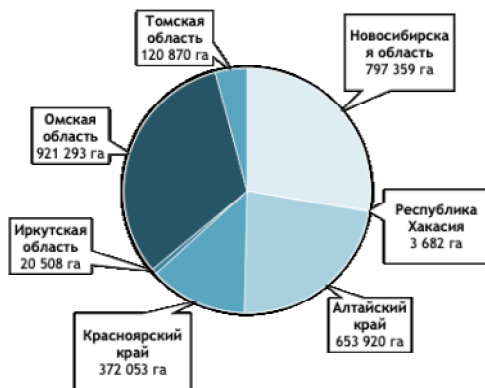


Рисунок 2 – Площади точного земледелия в Сибири [3]

Данные технологии базирующиеся на системах навигации техники и получившим свое развитие в этой связи геоинформационных технологиях позволяют несколько иначе взглянуть на процесс адаптации технологий в сельском хозяйстве. Когда мы в привычном виде говорим об обосновании параметров и режимов работы орудий в ходе полевых работ, то подразумеваем подбор орудий к тракторам для эксплуатации машинно-тракторных агрегатов в условиях решаемых задач и оперируем такими входными параметрами агрегата как ширина захвата орудия, глубина обработки, рабочая скорость движения и др.

Безусловно в условиях данной концепции внимание уделялось и свойствам обрабатываемой среды – почвы. Но на сегодняшний день перечисленные выше технологии позволяют делать это с более высокой точностью, а соответственно и большей эффективностью для экономической составляющей технологий.

Одним из наиболее влияющих на технологии посева фактором является влажность почвы. В целом, в условиях Сибири, если не брать в расчет степные регионы, за счет снега зимой выпадает достаточно много осадков. Останутся ли они в почве зависит от характера погодных условий в весенний период. Либо снег медленно тая остается в почве в виде влаги, либо при интенсивных положительных температурах происходит таяние снега и испарение в окружающую среду. Также в условиях равномерного таяния снега, высокие последующие температуры оказывают влияние на испарение влаги. Большая часть посевных площадей все-таки обладает достаточной влагообеспеченностью в весенний период.

В таких условиях часто возникают трудности при проведении весенне-полевых работ. Как известно осуществлять посев в Сибири необходимо как можно раньше, ровным счетом сразу по достижению физической спелости почвы. Поскольку вегетационный период часто может

сокращаться по причине ранней дождливой осени. Или же низкие температуры в ходе вегетационного периода могут не позволять культурам полностью реализовать свой потенциал.

Помимо этого, влажность почвы оказывает влияния на технологический процесс посева, в первую очередь на качество. В условиях повышенной влажности почвы рабочие органы посевных орудий испытывают большее сопротивление почвы и подвержены налипанию и сгуживанию почвы как на рабочие, так и заделывающие органы. Также важным аспектом является энергетическая составляющая процесса посева. В данных условиях происходит значительное повышение тягового сопротивления рабочих органов в почве и как следствие повышенный расход топлива посевных агрегатов. Аналогичная ситуация и при низкой влажности почвы, когда рабочим органам трудно прорезать поверхность и мы видим практически такие же следствия, в виде снижения качества посева и повышения расхода энергии. Как и для всех процессов для процесса посева существуют наиболее рациональные диапазоны влажности почвы, в среднем наилучшее значение влажности почвы как по энергетике, так и по агротехнике является 22-23%.

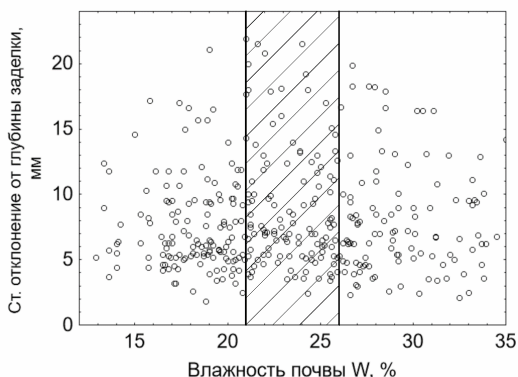


Рисунок 3 – Стандартные отклонения от глубины заделки семян при различной влажности почвы

На рисунке 3 приведена диаграмма рассеяния, где каждая точка несет в себе значение стандартного отклонения от глубины заделки при посеве на отдельном поле, где осуществлялся посев яровой пшеницы и информация о влажности почвы на момент посева. Также выделен наиболее рациональный диапазон влажности почвы с учетом 10-15% вариабельности влажности почвы на полях, отложенный от 23,5% влажности, при которой наблюдается наименьший расход топлива. При анализе данной диаграммы можно сделать выводы, что из 127 случаев,

указанных на гистограмме, только 38% посевов от выборки осуществлялось в рациональных по агротехнике и энергетике условиях.

Выводы. В результате вышеизложенного становится понятным, что необходимо стремиться к адаптации технологий и технических средств посева к условиям влажности почвы, для достижения наибольшей эффективности технологий посева. В свою очередь современные цифровые технологии являются отличным для этого подспорьем.

Список использованной литературы

1. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). (2024). Вестник «Обрабатываемые площади Российской Федерации в 2023 году», Росстат, Москва, Россия.
2. Iakovlev D., Pchelnikov A., Digital technologies in agrarian science and education // “AGROSYM 2024”: materials of XV International Scientific Agriculture Symposium. Jahorina, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina: University of East Sarajevo. 2024. pp. 286-291.
3. Труфляк Е. В. Рейтинг регионов по использованию элементов точного сельского хозяйства / Е. В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2020. – 37 с.

Summary. Soil moisture during the sowing period has a significant impact on the seeding process. This affects seeding quality and tractor energy consumption. Sowing technologies must be adapted to soil moisture conditions according to the previously discussed criteria. This is confirmed by an analysis of Siberian cropland. It is also noted that modern digital technologies form the basis for the implementation of precision farming technologies and facilitate the adaptation of these technologies and equipment.

СЕКЦИЯ 3

«Охрана труда, защита населения и окружающей среды»

УДК 331.45

Андруш В.Г., кандидат технических наук, доцент;

Шелегова Е.В., аспирант

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ПОСТРОЕНИЕ СХЕМЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ» С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы построения структуры учебного курса и системного подхода к тестированию знаний по дисциплине «Электробезопасность» специальности 6-05-1021-01 «Охрана труда на производстве» на основе графовой экспертной системы.

Abstract. The article discusses the issues of building the structure of the training course and a systematic approach to testing knowledge in the discipline "Electrical Safety" specialty 6-05-1021-01 "Occupational safety at work" based on a graph expert system.

Ключевые слова. Схема образовательного процесса, структура учебной дисциплины, логико-графовая модель данных, граф дисциплины.

Keywords. The scheme of the educational process, the structure of the academic discipline, the logical graph data model, the graph of the discipline.

Отличительной особенностью электрического тока от других опасных и вредных производственных факторов (кроме радиации) является то, что человек не в состоянии дистанционно обнаружить электрическое напряжение своими органами чувств.

По Республике Беларусь поражения электрическим током составляют 6–8% от всего производственного травматизма со смертельным исходом. Согласно статистике 75–80% поражений электрическим током происходит в установках до 1кВ [1].

Знать основы и общие требования электробезопасности обязательно не только персоналу, обслуживающего электроустановки и электрооборудование, но и всем, кто соприкасается по своему роду деятельности с электричеством на производстве, дома, в быту.

В настоящее время в проектировании образовательной среды получило распространение представление знаний в виде иерархической структуры. Графы знаний, которые представляют логическую структуру понятий предметной области учебного курса, позволяют проанализировать последовательность изучения учебного материала.

Для оптимизации преподавания учебной дисциплины «Электробезопасность», организации контроля знаний и повышения качества обучения по данному курсу одним из направлений является построение структуры учебных курсов [2], которое включает следующие этапы:

1) определение «базовых» учебных дисциплин (разделов) на основе анализа проектируемого учебного курса, изучаемых студентами на предыдущих этапах обучения высшей и средней школы и «выходного содержания курса» [2];

2) формирование состава учебной дисциплины – выделение из материала учебного курса в пределах заданного объема и вида часов учебной нагрузки логически законченных разделов и подразделов, изучаемый материал которых характеризуется высоким уровнем связей [3];

3) присвоение разделам и подразделам количественной оценки, которая определяет долю раздела (вес) в изучаемой дисциплине и долю подраздела (вес) в текущем разделе;

4) выявление смысловых функционально-информационных связей между отдельными разделами и подразделами учебной дисциплины, в том числе с «базовыми» разделами и «выходным содержанием курса» [2]. Данные связи должны быть отображены количественно с указанием содержания доли базовой дисциплины (веса) в изучаемой. Состав учебного курса совместно с заданными связями задают структуру учебной дисциплины. Данная структура будет представлена в виде графа учебной дисциплины, где разделы, подразделы являются вершинами (изучаемые подразделы и базовые темы обозначаются кругами большими и меньшими соответственно); связи между разделами и подразделами указываются ориентированными ребрами – дугами.

5) формирование систем контрольных точек, обеспечивающих эффективный контроль уровня подготовки обучающихся и управление образовательным процессом. На графе дисциплины контрольные точки будут представлены в виде разрезов таким образом, чтобы контролируемый материал оказался между двумя соседними разрезами.

Дисциплина «Электробезопасность» [4] является компонентом учреждения образования при подготовке обучающихся 1-й ступени высшего образования по специальности 6-05-1021-01 «Охрана труда на производстве».

Анализ дисциплины показывает, что при изучении ее используются знания по следующим дисциплинам и разделам в них:

1) «Физика» – электрический ток, напряжение, электрическое поле, закон Ома, удельное сопротивление (Б1);

2) «Физиологические и медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности» – стресс, травма, действие тока на организм (Б2);

- 3) «Математика» – расчёт параметров цепей, обработка данных (Б3);
- 4) «Основы электротехники и электроники» – контакты, электрические цепи, замыкания, изоляция (Б4);
- 5) «Электропривод и электрооборудование» – заземление, зануление, выравнивание потенциалов (Б5);
- 6) «Пожарная безопасность» – возгорание, электрическая дуга, тушение (Б6);
- 7) «Химия» – электролиз, коррозия заземлителей (Б7);
- 8) «Безопасность жизнедеятельности человека» (первая помощь) – освобождение от тока, реанимация (Б8).

Всю дисциплину «Электробезопасность» предлагается разбить на два основных раздела, по которым дополнительно указаны используемые в них ранее изученные разделы.

Раздел 1. «Способы и средства защиты от поражения электрическим током» – 52% содержания курса.

Подраздел 1.1 (У1) «Действие электрического тока на организм человека и сельскохозяйственных животных. Анализ опасности поражения электрическим током». Включает знания по базовым дисциплинам Б1 – 20% (электрическое поле, закон Ома, удельное сопротивление), Б2 – 25% (действие тока на организм человека, пороговые значения), Б3 – 10% (расчет сопротивления цепей, обработка экспериментальных данных), Б4 – 20% (электрические цепи, замыкание на землю, шаговое напряжение) и собственный новый материал 25% по темам: классификация электроустановок и помещений по степени опасности поражения электрическим током; экспериментальное исследование электрического сопротивления тела человека; измерение удельного электрического сопротивления грунта; исследование поражения электрическим током при работе с электроинструментом; исследование величины «шагового напряжения» при различных расстояниях от места замыкания фазы ЛЭП на землю и различных сопротивлениях грунта. Данный подраздел является фундаментальной частью и требует больше времени на изучение, составляет 55% раздела 1 ($\approx 28,6\%$ курса).

Подраздел 1.2 (У2) «Меры защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме от прямого и косвенного прикосновения». Вопросы базовых дисциплин – Б4 – 30% (дифференциальные токи, устройство УЗО, Б5 – 15% (введение: заземление, зануление), Б6 – пожарная безопасность (электрическая дуга, нагрев контактов). Изучаемые темы нового материала подраздела: устройства защитного отключения дифференциального типа; изучение устройства и правил пользования электрозащитными средствами в электроустановках потребителей.

Подраздел частично опирается на подраздел 1.1 и составляет 45% раздела 1 ($\approx 23,4\%$ курса).

Раздел 2. «Обеспечение безопасности при эксплуатации электрооборудования сельхозпредприятий» – 48% содержания курса.

Подраздел 2.1 (УЗ) «Исследование тока, проходящего через тело человека при различных вариантах соприкосновения с токоведущими проводниками и заземленным оборудованием». Темы базовых дисциплин – Б1 (электрические цепи, измерение тока и напряжения) – 20%, Б4 (изоляция, токи утечки, заземление) – 25%, Б3 (расчет токов в разветвленных цепях) – 10%, Б7 (коррозия заземлителей, химические процессы в грунте) – 5%. Новый материал 40% по темам: исследование тока, проходящего через тело человека при соприкосновении с корпусом заземленного оборудования, находящегося под напряжением; исследование средств и методов контроля и испытания изоляции электроустановок; исследование тока замыкания заземленного оборудования, при замыкании фазы на его корпус. Подраздел составляет 50% раздела 2 ($\approx 24\%$ курса).

Подраздел 2.2 (У4) «Принцип электрозащитного действия зануления и заземления в электроустановках». Знания тем базовых дисциплин – Б5 (зануление, заземление в электроустановках) – 25%, Б4 (расчет сопротивления заземлителя) – 20%, Б8 (освобождение от действия тока, первая помощь) – 10%, Б6 (меры защиты при замыканиях, тушение электроустановок) – 5%. Новый материал подраздела 40% по темам: расчетная проверка эффективности зануления на отключающую способность; основные требования по электробезопасности к специалистам по охране труда, электротехническому, электротехнологическому и неэлектротехническому персоналу; расчет сопротивления заземляющего устройства; организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения; экспериментальная проверка эффективности зануления. Подраздел равнозначен по объему подразделу 2.1 и составляет 50% раздела 2 ($\approx 24\%$ курса).

Выходное содержание курса (обобщение и контроль) – входит в часы разделов 1, 2.

На основе анализа курса построен граф дисциплины «Электробезопасность» (рисунок 1).

Контрольные точки (разрезы) можно установить после раздела 1 (К1) (проверка знаний физических основ опасности тока, мер защиты и УЗО) и после раздела 2 (К2) (контроль практических навыков и итоговый контроль).

Вес дуги между изучаемыми подразделами (У1, У2, У3, У4) – это экспертная независимая оценка доли знаний из предыдущего раздела, необходимых для освоения последующего.

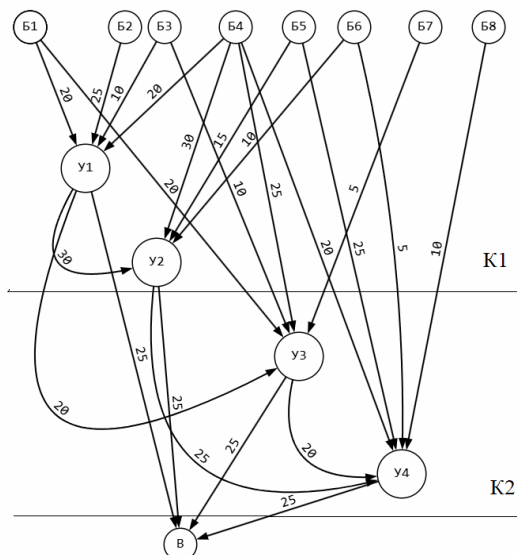


Рисунок 1 – Граф дисциплины «Электробезопасность»

Построенный граф задает систему связей изучаемых разделов (подразделов) с ранее изученными. В соответствии с данной системой строится учебный процесс и работа экспертно-обучающей системы.

Предполагается разработать и апробировать методы автоматизированной оценки текущего уровня знаний обучающихся и выработать рекомендации по корректировке учебного процесса на факультете «Технический сервис в АПК» Белорусского государственного аграрного технического университета при изучении дисциплины «Электробезопасность».

Список использованной литературы

1. Андруш В.Г. Охрана труда. Учебное пособие / В.Г. Андруш, Л.Т. Ткачева, Т.П. Кот; под ред. В.Г. Андруша – Минск: РИВШ, 2021. – 620 с.
2. Рысин, М.Л. Построение общей схемы образовательного процесса для дисциплин ИТ-профиля на основе экспертной системы / М.Л. Рысин // Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс». – URL: <https://interactive-plus.ru/e-articles/195/Action195-12921.pdf> (дата обращения 05.04.2026).
3. Гданский Н.И. Комплекс научных исследований по оптимизации учебного плана в технических вузах / Н.И. Гданский, А.Л. Иванов, М.Л. Рысин // Московское научное обозрение. – 2012. – №2. – С.61–64.

4. Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Электробезопасность» для специальности 6-05-1021-01 «Охрана труда на производстве» / сост. В.Г. Андруш, С.А. Корчик // утв. 26.06.2025. – пер. №УД-1676.

Summary. To optimize the teaching of academic disciplines, organize knowledge control and improve the quality of learning, one of the directions is to build a structure of training courses that sets a system of links between the studied sections and with previously studied topics of academic disciplines, which allows you to assess the current level of knowledge of students and develop recommendations for its adjustment.

УДК 631.3.004.67

Мисун А.Л., кандидат технических наук, доцент;

Горячко К.А., студент

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ПРИЧИН ТРАВМАТИЗМА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. Выполнен анализ травматизма при ремонте и техническом обслуживании транспортных средств сельскохозяйственного назначения. Предложены технические решения по повышению безопасности и снижению травматизма при выполнении технического обслуживания и ремонта транспортных средств сельскохозяйственного назначения.

Abstract. An analysis of injuries during agricultural machinery repair and maintenance agricultural transport vehicle. Technical solutions for improving safety and reducing injuries during agricultural machinery maintenance and repair agricultural vehicles.

Ключевые слова: безопасность, травматизм, транспортное средство сельскохозяйственного назначения, агропромышленный комплекс, техническое решение.

Keywords: safety, injuries, agricultural transport vehicle, agro-industrial complex, technical solution.

Обеспечение безопасных условий труда является приоритетной задачей в сельскохозяйственном производстве. Однако, несмотря на принимаемые меры, уровень травматизма в агропромышленном комплексе Республики Беларусь остается достаточно высоким, но благодаря усилиям органов госуправления, нанимателей и профсоюзов, число травмируемых на производстве снижается.

Во всем мире производственный травматизм трудящихся, к сожалению, является неотъемлемой составляющей трудовой деятельности. По данным Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь на 2025 год, сельскохозяйственный сектор остается одним из наиболее самых травмоопасных, и около 20 % от

общего числа несчастных случаев на производстве происходит именно в агропромышленном комплексе (АПК).

В общей структуре причин несчастных случаев на производстве более 70 % составляют причины организационного характера (неудовлетворительная организация производства работ, недостатки в обучении работников по охране труда, нарушения трудовой дисциплины) [1]. Высокий уровень травматизма наблюдается не только при технологическом процессе, но и при техническом обслуживании и ремонте транспортных средств сельскохозяйственного назначения (ТССН).

Немаловажное значение для организации безопасной эксплуатации ТССН имеет технологически правильная организация ремонтных работ на транспорте, механизация и модернизация этого процесса. Для поддержания ТССН в исправном техническом состоянии организуется обслуживание и ремонт в соответствии с требованиями Правил по охране труда при ремонте, техническом обслуживании и постановке на хранение сельскохозяйственных машин, агрегатов и оборудования, утвержденных постановлением Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 05.05.2022 № 29/44 [2].

Согласно данным Департамента государственной инспекции труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, только за 8 месяцев в Республике Беларусь 445 работников получили тяжелую производственную травму, 135 – погибли, из них в Минской области 89 работников получили тяжелую травму, что составляет 20% от числа травмированных в республике, 37 или 27,4% – погибли. В ходе анализа производственного травматизма в разрезе районов установлено, что значительный рост числа лиц, получивших тяжелые производственные травмы, отмечается в Логойском (с 0 до 3), Пуховичском (с 3 до 6), Молодечненском (с 4 до 8), Солигорском (с 14 до 16), Дзержинском (с 3 до 8), Несвижском (с 0 до 3) районах, рост числа смертельных травм наблюдается в Червенском (с 0 до 2), Березинском, Дзержинском (с 0 до 4), Вилейском (с 0 до 2), Солигорском (с 3 до 5) районах. Причины производственного травматизма при техническом обслуживании и ремонте сельскохозяйственной техники из года в год остаются прежними: нарушения потерпевшими трудовой и производственной дисциплины, локальных нормативных правовых актов по охране труда; невыполнение руководителями и специалистами обязанностей по охране труда; нарушение требований безопасности при эксплуатации транспортных средств, машин, механизмов, оборудования, допуск потерпевших к работе без обучения, стажировки; нахождение потерпевших в состоянии алкогольного опьянения. Опасные действия самих пострадавших послужили причиной травмирования работников, а также использование неисправного и несоответствующего инструмента, приспособлений и механизмов [1].

Анализ случаев с тяжелыми последствиями свидетельствует, что практически каждый третий травмированный на производстве работник пострадал в результате падения с высоты, не имеющие достаточного и надежного ограждения всей опасной зоны, а каждый четвертый – в результате воздействия движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов, деталей машин.

Для повышения безопасности труда при техническом обслуживании и ремонте ТССН, предлагается техническое решение в виде усовершенствованной конструкция лестницы (рисунок 1), рассматривается вариант ее конструкции с учетом высокого клиренса ходовой части [3], содержащая две боковины, соединенные между собой ступеньками, выполненными в виде горизонтальных площадок [4].

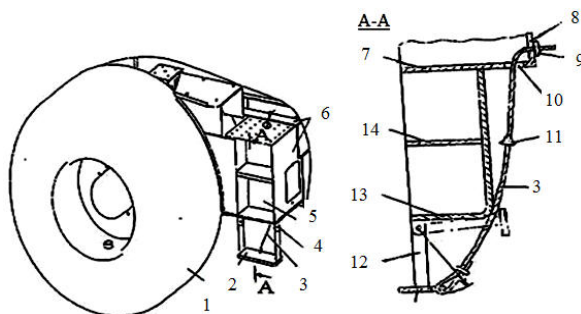


Рисунок 1 – Ступенька лестницы ТССН [3]:

1 – колесо; 2 – ступенька складывающаяся; 3 – канат; 4 – кронштейн; 5 – ниша; 6 – рама; 7, 13, 14 – ступеньки верхняя, средняя и нижняя; 8 – паз; 9, 11 – шайбы стопорные; 10 – отверстия сквозные; 12 – рамка П-образная

Часто оператор ТССН подвержен травмированию при спуске с такой лестницы или подъеме в кабину ТССН. Объяснением этому служит поведенческий фактор, который, в свою очередь, связан с нервным напряжением при выполнении ремонтно-обслуживающих работ, спешкой в условиях скоротечности уборочных работ, опасности принятия оператором ошибочной или запоздалой оценки технического состояния ТССН, факторов внешней среды. При выходе из кабины оператор обычно смотрит только на первые ступеньки лестницы и не обращает внимания на остальные.

Нижняя ступенька имеет площадку прямоугольной формы, а верхние выполнены со скосами со стороны подъема на техническое средство. На одной из верхних ступенек имеется скос с левой стороны, на следующей ступеньке – скос с правой стороны. При подъеме по вертикальной лестнице выполненные по параболе скошенные края ступеней не препятствуют быстрому и удобному подъему и спуску и позволяют располагать ноги в наиболее удобном месте с учетом размера

обуви. Имеющиеся в ступеньках отверстия предназначены для удаления с их верхней поверхности грязевых отложений и для повышения безопасности труда оператора ТССН при перемещении по ступенькам лестницы (спуске и подъяти).

Для снижения тяжести травмирования большое значение имеет форма подошвы обуви оператора ТССН, ее сцепные свойства. Предлагается запатентованная съемная универсальная нескользящая подошва обуви (рисунок 2), выполненная из износостойкого материала. Такая подошва легко надевается на обувь разных размеров и крепится на ней прочными эластичными петлями или ремнями с замками (липучками). Абразивный слой рабочей поверхности подошвы обеспечивает возможность многократного ее использования и безопасность оператора, например, на скользких ступеньках ТССН [5].

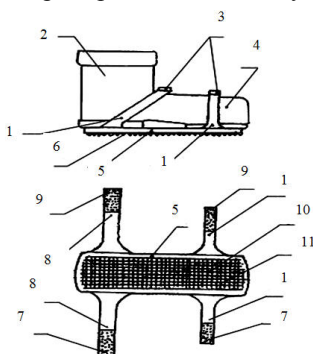


Рисунок 2 – Устройство съемной универсальной нескользящей подошвы обуви оператора ТССН [4]: 1, 8, 14 – ремни эластичные; 2 – обувь; 3, 7, 9, 12 – липучки; 4 – лента с водостойкой основой; 5 – пластина эластомера; 6 – гранулы абразива; 10 – сетка абразивная; 11 – лента абразивная; 13 – носок обувной

Безопасность труда при ремонте и техническом обслуживании сельскохозяйственной техники, должна стать таким же важным элементом в деятельности всех организаций АПК, как производительность труда, себестоимость и качество оказываемых услуг, а проблемы обеспечения работающих здоровыми и безопасными условиями труда на производстве важнейшим направлением в деятельности Профсоюзов АПК Республики Беларусь.

Список использованной литературы

1. Информационное письмо о причинах и условиях травмирования граждан на производстве <https://vileyka.gov.by/images/3kvartal2020/docs2020/5-10-20-025.pdf> (дата обращения 04.05.2026).
2. Правил по охране труда при ремонте, техническом обслуживании и постановке на хранение сельскохозяйственных машин, агрегатов

и оборудования, утвержденных постановлением Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 05.05.2022 № 29/44

3. Полезная модель ВУ 11743, МПК В 60R 3/00, Е 06С 5/00 (2006.01). Лестница для технического средства: №и20180012: заявлено 14.01.2018: опубл. 18.06.2018 / Мисун Л. В., Мисун Ал-й Л., Османова И. Р., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л.; заявители: Мисун Л. В., Мисун Ал-й Л., Османова И. Р., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л. – 5 с.

4. Патент ВУ 21154, МПК В 60Д 2/14 (2006.01). Дополнительная ступенька транспортного средства: №а20131366: заявлено 20.11.2013: опубл. 30.06.2017 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А., Агейчик Ю. В., Гурина А. Н.; заявители: Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А., Агейчик Ю. В., Гурина А. Н. – 6 с.

5. Полезная модель ВУ 12586, МПК А 43С 15/00 (2006.01). Безопасная съемная нескользящая подошва для обуви с каблуком оператора мобильной сельскохозяйственной техники: №и20200218: заявлено 09.09.2020: опубл. 01.03.2021 / Мисун Ал-р Л., Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В.; заявители: Мисун Ал-р Л., Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В. – 5 с.

Summary. An analysis of injuries during agricultural machinery repair and maintenance was conducted. Technical solutions for improving safety and reducing injuries during agricultural machinery maintenance and repair agricultural vehicles.

УДК 642.8.02.67

Мисун А.Л., кандидат технических наук, доцент;

Мисун Л.В., доктор технических наук, профессор;

Горячко К.А., студент

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ И ОСМЫСЛЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ЧЕЛОВЕКОМ-ОПЕРАТОРОМ

Аннотация. Выполнен анализ процесса получения и осмысления визуальной информации человеком-оператором при выполнении им трудовых обязанностей. Предложены направления совершенствования рабочего места оператора конкретного технического средства по вопросу получения необходимого объема визуальной информации при минимальных энергетических затратах организма

Abstract. An analysis of the process of obtaining and comprehending visual information by a human operator while performing their work duties was conducted. Directions for improving the operator's workstation for a specific technical device to obtain the required volume of visual information with minimal energy expenditure were proposed.

Ключевые слова: производственная среда, травматизм, человек-оператор, энергоемкость, транспортное средство сельскохозяйственного назначения.

Keywords: production environment, injuries, human operator, energy consumption, agricultural vehicle.

Производственная деятельность человека, протекающая на фоне определенного нервно-психического напряжения и воздействия на организм неблагоприятных факторов внешней и производственной среды, предъявляет высокие требования к его физическим и психическим функциям, качествам и возможностям [1].

Современные средства отображения информации (СОИ) могут быть одноканальными и многоканальными. По способу визуализации передаваемых сигналов – механические и световые. В первых – сигнал обратной связи преобразуется в перемещение механического индекса или стрелки (манометры, счётчики расхода топлива, скорость передвижения машины), а во-вторых – светового, который может быть модулирован по интенсивности и цветовому спектру (зелёный, красный и др.).

Процесс использования человеком-оператором любого средства визуальной информации можно представить в виде двух последовательно выполняемых этапов:

- этапа подготовки в течение времени $t_{\text{под}}$ визуального входа человека и соответствующих участков мозга к приёму информации, включающего перенос взгляда в область расположения средств визуальной информации, отыскивание этих средств и фокусировка на нем зрения;

- этапа собственного приёма и переработки информации, выполняемого в течение времени $t_{\text{пи}}$ и состоящего из операций считывания информации, её осмысливания и переработку в сигнал воздействия.

В целом энергозатраты, связанные с подготовкой визуального входа, приёмом и переработкой информации могут быть определены выражением [2]:

$$\Delta a_K = \Delta a_{K(\text{ПОД})} + \Delta a_{K(\text{ПИ})} = \Delta a_{K(\text{ПВ})} + \Delta a_{K(\text{ОТ})} + \Delta a_{K(\text{Ф})} + \Delta a_{K(\text{СЧ})} + c \Delta a_{K(\text{ПВ})} + \Delta a_{K(\text{ОСП})}.$$

Выражение характеризуют энергозатраты организма человека-оператора в течение времени $t_{\text{под}} + t_{\text{пи}}$ на получение от СВИ и переработку некоторой порции информации $\Delta i_{K(O)}$ и (или) $\Delta i_{C(O)}$.

Налагаемые энергозатрат оказывают влияние следующие параметры: количество средств отображения информации на лицевой части панели управления, расположение их в вертикальной и горизонтальной плоскостях и ориентация относительно человека-оператора; внешняя форма, окраска, маркировка, форма кодирования сигналов; светоизлучение, угловые размеры; а также параметры средств визуальной информации, рассчитанных на непосредственный обзор: геометрическая форма, линейные и угловые размеры, удалённость от наблюдателя, контрастность на фоне, цвет, расположение относительно человека-оператора.

На этапе подготовки канала зрительного анализатора к действию энергозатраты зависят от параметров расположения средств визуальной информации в зоне обзора (удалённость объектов, ориентация относительно оператора), количество СВИ и их оформления.

На этапе приема и переработки информации энергозатраты определяются возможностью оптимального считывания информации, то есть наиболее удобного расположения относительно человека-оператора. При отклонении направления взгляда от главного направления луча зрения в вертикальной и (или) горизонтальной плоскостях на углы ε_Z , ε_Y , соответственно, энергозатраты $\Delta a_{K(CЧ)}$ увеличиваются, что условно учитывается коэффициентом $1 / \cos \varepsilon_Z \cos \varepsilon_Y$ [2]. На энергозатраты, связанные с удерживанием взгляда на объекте, несущим информацию, также оказывают влияние расположение объекта относительно оператора, то есть чем меньше угол отклонения от главной оси взгляда, тем менее энергоёмким будет процесс наблюдения за СВИ. Вышесказанное со всей очевидностью демонстрирует широкий круг проблем, которые следует решать с целью формулирования рекомендаций по совершенствованию рабочего места оператора конкретного технического средства по вопросу получения необходимого объёма визуальной информации при минимальных энергетических затратах организма.

Оптимальное направление взгляда, соответствующее минимуму энергозатрат на наблюдение, в первом приближении определяется экспериментально с представлением человеку возможности выбора по своему усмотрению наиболее удобного положения для наблюдения за объектом или объектами. Человек в подобных ситуациях сам создаёт пространственную ситуацию, в которой его голова принимает относительно туловища свободное, выпрямленное положение, а объект наблюдения оказывается размещённым в некотором «полюсе удобства» наблюдения, находящемся впереди, в плоскости симметрии туловища. Для рабочей позы «сидя» или «стоя» при направлении взгляда под углом 20–30° от главной оси зрения отмечается незначительный наклон головы и глазных яблок. В этом положении весь физиологический аппарат управления зрения и мускулатура тела находятся в наименее нагруженном состоянии. Перенос взгляда в сторону на угол, больший оптимального, приводит к увеличению общих энергозатрат. Так, если объект наблюдения расположен в области «полюса удобства» с главной осью зрения в центре, ограниченной значениями угла $\alpha=5^\circ$ и менее, то перенос взгляда выполняется практически только за счёт отклонения глазных яблок. Этим значениям угла α соответствуют незначительные энергозатраты.

При увеличении области наблюдения до 30° – вверх и 40° – вниз, а также 60° – влево и вправо, для переноса взгляда потребуется участие глазных яблок и головы, и очевиден рост энергозатрат при прогрессирующем снижении удобства наблюдения за объектами. Дальнейшее увеличение зоны наблюдения от оси зрения до 55° – вверх, 65° – вниз и до 90° – влево и вправо заставляет включать в работу по переносу взгляда глазные яблоки, голову и шею, а объекты наблюдения, попадающие в зоны, превышающие и эти угловые значения, требуют при переносе взгляда уже поворота туловища оператора [3]. Последняя область весьма больших энергетических затрат очень неудобна для наблюдения.

Минимальная энергоёмкость процесса наблюдения за объектами, возможна при условии, когда оператор МСХТ находится в положении «сидя», и основная информация поступает в направлении, совпадающим со зрительной осью, то есть при $\varphi = 0^\circ$ и $\psi = 55^\circ$. При том же значении угла $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$, то есть в положении «стоя» энергоёмкость может увеличиться в 1,6 раза [2]. Однако, в действительности оператор МСХТ вынужден вести наблюдение за объектами, расположенными как минимум в передней полусфере, то есть в диапазоне от $+90^\circ$ (вверх) до -90° (вниз) и от $+90^\circ$ (вправо) до -90° (влево), результатом чего является необходимость слежения с помощью глазных яблок, головы, шеи и корпуса тела (туловища). При этом необходимо учитывать поле зрения, которое выражается в угловой мере пространства, в пределах которого объект рассматривается (наблюдается) при неподвижности головы и глаз, углы обзора в вертикальной плоскости колеблются в пределах $50-60^\circ$ – вверх и $65-75^\circ$ – вниз от зрительной оси, а в горизонтальной плоскости – $110-150^\circ$. Поле зрения может быть значительно расширено при поворотах глазного яблока, головы и корпуса. Установлено, что пределы поворота головы, не вызывающие чрезмерных напряжений, составляют угол 45° в горизонтальной плоскости и 30° в вертикальной плоскости. В этом случае точного видения ($0-2^\circ$) обеспечивает самое чёткое восприятие предметов. Её размеры обусловлены величиной наиболее чувствительного участка сетчатки глаза, так называемого фовеального центра. Зона же эффективной видимости (оптимальная зрительная зона), в пределах которой обеспечивается чёткое зрительное восприятие при необходимости концентрированного внимания, составляет $30-40^\circ$ и является наиболее важной при оценке обзорности [3]. Зона мгновенного зрения определяется размерами пространства, в пределах которого возможно достаточно чёткое зрительное восприятие при ограниченном времени. Величина этой зоны (около 20°) соответствует максимальной амплитуде скачка в глазах в процессе его движения.

Список использованной литературы

1. Мисун, А.Л. Физиологические и медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности: практикум / Ал-й Л. Мисун, Л.В. Мисун, Ал-р Л. Мисун. – Минск: Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2024. – 290 с.
2. Адамович, Н.В. Управляемость машин (эргономические основы оптимизации рабочего места человека-оператора) / Н.В. Адамович. – М.: Машиностроение, 1997. – 280 с.
3. Голдобина, Л.А. К вопросу об устойчивости в системе «человек–машина–среда» / Л.А. Голдобина // Актуальные проблемы инженерной науки: сб. науч. тр., Ярославль. – 2016. – С. 99–106.

Summary. An analysis of the process of obtaining and comprehending visual information by a human operator while performing their work duties was conducted. Directions for improving the operator's workstation for a specific technical device to obtain the required volume of visual information with minimal energy expenditure were proposed.

УДК 004.5

Ткачева Л.Т., кандидат технических наук, доцент,
Сермяжко М.А., магистрант

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ЦИФРОВАЯ ЭРГОНОМИКА КАК ФАКТОР УДЕРЖАНИЯ МОЛОДЫХ КАДРОВ В АПК

Аннотация. Сельскохозяйственная отрасль Республики Беларусь, равно как и многих других стран, сталкивается с острой проблемой оттока молодых кадров. Молодое поколение, выросшее на смартфонах, компьютерах и цифровых сервисах, ожидает от рабочей среды современного уровня комфорта, информационной насыщенности и удобства взаимодействия с техникой. Внедрение цифровой эргономики в сельскохозяйственную технику является действенным фактором удержания молодых кадров в АПК.

Abstract. The agricultural sector in the Republic of Belarus, like many other countries, is facing a serious problem of young workers losing their talent. Young people, raised on smartphones, computers, and digital services, expect a modern work environment with a wealth of information, and ease of use. The introduction of digital ergonomics into agricultural machinery is an effective way to retain young workers in the agricultural sector.

Ключевые слова. Цифровая эргономика, безопасность, оператор, кабина трактора, условия труда, информация, цифровые технологии.

Keywords. Digital ergonomics, safety, operator, tractor cabin, working conditions, information, digital technologies.

По данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь доля молодых специалистов (в возрасте до 31 года), увольняющихся из сельхозорганизаций в течение первых трёх лет работы, составляет в среднем 35–40% ежегодно. Наиболее критичная ситуация наблюдается среди механизаторов и операторов машинного доения, где текучесть достигает 50%. В масштабах страны это означает, что из 10 выпускников аграрных колледжей и вузов, пришедших на село, четверо-пятеро покидают отрасль, не проработав и трёх лет. Сопоставимые показатели фиксируются в России, Украине и других постсоветских странах, а также в странах Восточной Европы (Польша, Венгрия), где молодёжь мигрирует в города или за рубеж.

Основные причины ухода молодёжи традиционно связывают с низкой заработной платой, однако опросы, проведённые среди уволившихся механизаторов, показывают, что денежный фактор не является единственным и даже не всегда главным:

- высокая физическая нагрузка (длительное нахождение в вибрирующей кабине, необходимость ручного управления рычагами и педалями, тряска) приводит к быстрой утомляемости и хроническим болям в спине, шее, руках;

- условия труда: отсутствие нормального климат-контроля в кабинах многих моделей техники старого образца, повышенный шум, запылённость.

- отсутствие цифровой среды (что особенно важно для поколения, выросшего с гаджетами).

Молодые операторы, т.е. поколение, родившиеся после 1997 года и выросшее на гаджетах и интуитивных интерфейсах, предъявляют особые требования к рабочему месту. Они ожидают, что техника будет интуитивно понятной – как смартфон. Исследования потребительского поведения показывают, что представители молодого поколения оценивают рабочую среду по тем же критериям, что и цифровые сервисы: скорость отклика, персонализация, минимальное количество шагов для выполнения задачи. Они хотят иметь возможность настраивать расположение виджетов на панели, выбирать цветовую схему, сохранять личные профили с настройками сиденья, руля и интерфейса. Важна интеграция с личными устройствами: подключение смартфона по Bluetooth для звонков и музыки, зеркалирование экрана, доступ к телеметрии через мобильное приложение. Наконец, они ценят обратную связь от техники – не просто индикаторы, а понятные анимации, голосовые подсказки, вибрационные сигналы. Вместо этого они получают механические приборные панели с непонятными индикаторами, неуклюжие рычаги. Техника, требующая изучения многостраничных инструкций для базовых функций,

автоматически попадает в категорию «устаревшей» в их восприятии и это существенно снижает удовлетворённость работой. Соответственно игнорирование ожиданий и делает профессию механизатора архаичной в глазах молодёжи, тогда как цифровая эргономика может стать мощным мотиватором остаться в АПК.

Следовательно, проблема удержания кадров имеет не только экономическую, но и эргономическую, психологическую природу, требующую системных изменений в конструкции техники.

Классическая эргономика изучает оптимизацию взаимодействия человека с физическими объектами: формой рукояток, усилиями на рычагах, высотой сиденья, обзорностью. Цифровая эргономика расширяет это понятие, фокусируясь на когнитивных аспектах и интерфейсах между человеком и электронными системами. Она учитывает, как оператор воспринимает и обрабатывает информацию с экранов, как быстро находит нужную функцию в меню, насколько удобно ему вводить данные или переключать режимы с помощью сенсорных панелей, голоса или жестов. Если классическая эргономика отвечает на вопрос «не болит ли спина после восьми часов работы», то цифровая – «не устаёт ли мозг от постоянного переключения между двенадцатью непонятными иконками».

Ключевые элементы цифровой эргономики в контексте кабины сельхозтехники включают три компонента:

1 – человеко-машинный интерфейс (HMI): сенсорные экраны с адаптируемой графикой, многофункциональные джойстики, проекционные дисплеи на лобовом стекле, системы голосового управления.

2 – автоматизация рутинных операций: автоматическая настройка рабочих параметров (обороты двигателя, включение ВОМ), система автовождения по полю, автоматическое документирование выполненных работ. Это снижает количество действий, которые оператор должен совершать вручную.

3 – управление когнитивной нагрузкой: информационная система не должна перегружать пользователя данными в критический момент. Принцип «нужная информация в нужное время» – например, при развороте на краю поля система автоматически выводит на экран схему движения с препятствиями, а не меню настройки радиоприёмника.

В тоже время цифровая эргономика не ограничивается интерфейсами ввода-вывода. Встраиваемые системы мониторинга (камеры в кабине, датчики в кресле, носимые браслеты) фиксируют частоту моргания, наклон головы, вариабельность сердечного ритма. Признаки усталости или рассеянности автоматически запускают алгоритмы поддержки: снижение громкости вспомогательных звуков, подсветка наиболее важных элементов интерфейса, рекомендация сделать перерыв или предложение

активировать режим полуавтоматического управления. Такие системы не только повышают безопасность, но и сигнализируют молодому оператору, что техника «заботится» о нём, что психологически важно для удержания в профессии. А для молодёжи, в свою очередь, критична возможность синхронизировать технику со смартфоном. Через приложение оператор может заранее прогреть кабину, диагностировать системы, скачать маршрут поля на смену, а после работы – экспортировать отчет о выполненной работе (расход топлива, обработанная площадь, ошибки) в мессенджеры или облачные сервисы. Поддержка беспроводных протоколов (Apple CarPlay, Android Auto) для зеркалирования экрана позволяет пользоваться навигатором, стримингом музыки и подкастами прямо с приборной панели. Такая интеграция стирает грань между личным гаджетом и рабочим местом, укрепляя ощущение современной, технологичной среды.

Современные кабины премиальных тракторов и комбайнов (John Deere 8R, Fendt 1000 Vario, CLAAS Xerion) оснащаются полностью цифровыми приборными панелями вместо стрелочных индикаторов. На смену десяткам кнопок и тумблеров приходят один-два сенсорных экрана диагональю 12–15 дюймов с разрешением, сопоставимым с планшетами. Голосовое управление, интегрированное через системы типа Amazon Alexa для ферм, позволяет отдавать команды «включить пониженную передачу», «поднять жалюзи», «установить климат на +21» без отрыва рук от руля. Всё это снижает когнитивную нагрузку и делает управление техникой более естественным для тех, кто привык к голосовым помощникам в быту

Лидирующие мировые производители сельхозтехники уже перешли от концепций к серийной реализации элементов цифровой эргономики. John Deere в рамках проекта Command Cab внедряет голосовое распознавание, акустическую обратную связь и систему предупреждений с помощью фоновой подсветки стоек кабины, что позволяет водителю получать критическую информацию без отвлечения взгляда. Шведско-немецкий концерн CLAAS развивает концепции кабин будущего «Cab 4.0» и «Cab10Future», где центральное место занимает стресс-адаптивный интерфейс, анализирующий с помощью трекеров взгляда уровень загрузки оператора. В периоды низкой нагрузки система предлагает выполнение офисных задач (планирование, документооборот), а при признаках утомления инициирует режим релаксации и физические упражнения. Немецкий производитель Fendt в рамках концепции «Workstation Future» интегрировал сенсорные экраны по бокам от сиденья оператора, обеспечив доступ ко всем функциям без отвлечения от управления. Все это свидетельствует о формировании устойчивого глобального тренда на цифровизацию рабочего места оператора.

Эффективность внедрения цифровой эргономики подтверждается не только качественными, но и количественными показателями. Исследование Технологического института Карлсруэ (KIT) в рамках проекта «Driver's Cab 4.0» показало, что адаптивные HMI-интерфейсы, учитывающие текущий уровень стресса оператора (измеряемый по пульсу и движению глаз), способны снижать количество критических ошибок и субъективную утомляемость. Совместное исследование Технического университета Кельна и CLAAS на кормоуборочных комбайнах JAGUAR зафиксировало, что при использовании электронных помощников в 10 из 12 тестовых заездов частота пульса оператора снизилась, а количество воздействий на основной рычаг управления сократилось на 15,2%, а при использовании GPS PILOT – на 29,3%. В свою очередь, снижение когнитивной нагрузки напрямую коррелирует с удовлетворённостью рабочих местом: по данным опросов, проведённых в европейских хозяйствах, операторы, работающие на технике с развитой цифровой эргономикой, в 1,7 раза реже выражают намерение сменить место работы по сравнению с теми, кто использует технику старого поколения. На фоне того, что закрепляемость молодых специалистов в сельском хозяйстве Беларуси составляет лишь 55–60%, а 48% специалистов с высшим образованием увольняются после отработки обязательного срока, внедрение цифровой эргономики может стать действенным инструментом удержания кадров.

Белорусские производители уже предпринимают конкретные шаги в сторону цифровой эргономики. Минский тракторный завод анонсировал появление в кабинах энергонасыщенных тракторов (мощностью свыше 350 л.с.) «умного» подлокотника с интегрированной системой управления. По словам генерального конструктора МТЗ Игоря Земцова, главная цель модернизации – «радикально снизить утомляемость механизатора во время длительных смен... Важным нововведением станет размещение ключевых индикаторов и сигнализаторов. Они будут находиться в зоне постоянного визуального контроля оператора. При этом удобная компоновка сохранится даже при различных регулировках сиденья и его развороте в положение реверса. Новая система будет применяться на самых востребованных моделях тракторов».

Современная консоль позволяет разместить основные органы управления в зоне комфорта, применять оптимальные траектории движения и снижать необходимые физические усилия. Кроме того, на предприятии ведётся разработка многофункционального подлокотника с электронным блоком управления для тракторов BELARUS 3322, 3522 и перспективного 500-сильного трактора. «Гомсельмаш» также не остаётся в стороне: флагманские модели комбайнов оснащаются системами

точного земледелия и высокоточного беспилотного управления на основе машинного зрения. Эргономика кабин новейших комбайнов оценивается экспертами как «уровень автомобиля класса «люкс» с бортовым компьютером, системой навигации, климат-контролем и аудиосистемой. В партнёрстве с резидентами Парка высоких технологий создан виртуальный тренажёр управления комбайном, использующий дополненную реальность для обучения первичным навыкам.

Таким образом, научно-технический задел для внедрения цифровой эргономики в отечественном машиностроении уже сформирован. Дальнейшее развитие этого направления требует продолжения инвестиций в НИОКР и активного привлечения IT-специалистов.

Для Республики Беларусь, где текучесть молодых специалистов в АПК достигает 40%, данное направление является критически важным.

Для успешного внедрения цифровой эргономики необходимо действовать последовательно. В первую очередь следует начинать с пилотных проектов, оснащая наиболее востребованные модели техники современными цифровыми интерфейсами – multifunctional подлокотниками (как разрабатываемые сегодня МТЗ) и сенсорными экранами. Необходимо также разработать и внедрить систему сбора и анализа биометрических данных оператора, для чего МТЗ и «Гомсельмаш» следует углублять сотрудничество с резидентами ПВТ при поддержке Министерства промышленности. Важно синхронизировать усилия с государственной кадровой политикой, в рамках которой действует 17 нормативно-правовых актов, направленных на закрепление молодых специалистов, и развиваются проекты «деревни будущего»: цифровизация рабочего места должна стать естественным продолжением этих программ.

Таким образом, цифровая эргономика должна рассматриваться не как опция «люкс», а как обязательный элемент современного рабочего места в сельском хозяйстве, способный вернуть престиж профессии и остановить отток молодёжи.

Список использованной литературы

1. UNDP Belarus. A Computer in the Tractor Cab: A New Generation of Belarusian Farmers Embraces Digital Technologies. February 4, 2026. *Ссылка:* <https://www.undp.org/belarus/stories/computer-tractor-cab>

2. Macchine Trattori. Claas, Highly Digitalized Solutions and Suites. June 28, 2024. *Ссылка:* <https://www.macchinetrattori.info/en/claas-highly-digitalized-solutions-and-suites/>

3. RealAgriculture. A Look at the Future of the Tractor Cab with John Deere's Command Cab. November 11, 2019. *Ссылка:* <https://www.realagriculture.com/2019/11/a-look-at-the-future-of-the-tractor-cab-with-john-deeres-command-cab/>

4. СБ. Беларусь сегодня. В кабинах тракторов BELARUS появится умный подлокотник с системой управления. 14 апреля 2026. Ссылка: <https://www.sb.by/articles/v-kabinakh-traktorov-belarus-poyavitsya-umnyy-podlokotnik-s-sistemoy-upravleniya.html>

Summary. The problem of young people leaving the agricultural industry has not only economic but also clear ergonomic and technological causes. The lack of a modern digital workplace environment makes the profession of machine operator unattractive to a generation raised on gadgets and intuitive interfaces. Operators who operate equipment with advanced digital ergonomics are several times less likely to express an intention to change jobs.

УДК 631.354

Молош Т.В., кандидат технических наук, доцент;

Королева Л.Н., магистрант

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» г. Минск, Республика Беларусь

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЗАГОТОВКИ КОРМОВ

Аннотация. Приведен анализ причин производственного травматизма при эксплуатации технических средств для заготовки кормов в сельском хозяйстве. Современные технологии заготовки кормов связаны с вовлечением в процесс их производства сложной и энергонасыщенной сельскохозяйственной техники, управлять которой должны квалифицированные и имеющие специальную подготовку работники. Обеспечение безопасных условий труда является приоритетной задачей в сельскохозяйственном производстве

Abstract. This article analyzes the causes of occupational injuries associated with the use of feed preparation equipment in agriculture. Modern feed preparation technologies involve complex, energy-intensive agricultural machinery, which must be operated by qualified and specially trained workers. Ensuring safe working conditions is a priority in agricultural production.

Ключевые слова. производственный травматизм, заготовка кормов, сельскохозяйственные машины, мероприятия, охрана труда.

Keywords. industrial injuries, feed procurement, agricultural machinery, events, labor safety.

В агропромышленной отрасли производства на смену массовых механизированных полевых работ по посеву и посадке сельскохозяйственных культур приходит пора заготовки кормов. Несмотря на принимаемые меры по профилактике производственного травматизма, при этом ежегодно происходят несчастные случаи на производстве с тяжелыми последствиями за этот период.

В процессе заготовки грубых и сочных кормов причиной возникновения опасных и вредных ситуаций являются: движущиеся машины и механизмы; незащищенные вращающиеся части сельскохозяйственных машин; острые кромки ручных инструментов и машин; физические и нервно-психические перегрузки обслуживающего персонала от шума, вибрации при работе машин и механизмов; метеорологические факторы (ветер, осадки, гроза и пыль); токсичность и раздражающие действия химических веществ, применяемых для их консервации.

Работы по заготовке кормов требуют от должностных лиц строгой организации труда, а от работников, их выполняющих – точного соблюдения требований безопасности, трудовой и производственной дисциплины. Несоблюдение указанных норм влечет за собой производственные травмы, а иногда и смерть работников. В организациях не выполняются обязательства по охране труда, предусмотренные трудовым договором (контрактом и правилами внутреннего трудового распорядка). Поэтому обстоятельства и причины многих из происшедших несчастных случаев повторяются из года в год. Например, допускаются к работе на тракторе работники, лишенные права управления всеми видами транспортных средств.

Ежегодно в сельскохозяйственных организациях республики происходят несчастные случаи при трамбовке сенажной и силосной массы в результате опрокидывания трактора и получения травмы трактористом - машинистом, не совместимой с жизнью. Во многих случаях персонал, допущенный к работе, проверку знаний по вопросам охраны труда не проходил. Кроме того, в случае использования колесных тракторов на складировании сенажной или силосной массы на бурте и кургане необходимо разрабатывать технологические карты с указанием требований безопасности к организации производства работ (с учетом принятых мер по решению проблем безопасности труда). Для обеспечения безопасности труда следует допускать к выполнению работ по трамбованию в траншеях, буртах и курганах трактористов-машинистов I и II классов.

Причинами несчастных случаев и аварий нередко служат технические факторы – конструктивные недостатки или неисправность машин и механизмов, несовершенство технологических процессов, отсутствие или выход из строя защитных средств и др. Например, допуск к эксплуатации кормоуборочного комплекса в технически неисправном состоянии, заключающемся в нарушении электрической связи между органами управления в кабине энергосредства и исполнительного механизма управления коробки передач жатки комбайна. Для устранения неисправностей механизатор, покинув кабину, спускается к жатке и

производит очистку валцов питающего аппарата от скошенной травы, не заглушив при этом двигатель, что приводит к его травме. Несчастный случай произошел из-за грубого нарушения требований инструкции по охране труда, выразившегося в очистке вручную валцов питающего аппарата комбайна от растительной массы при работающем двигателе.

Следует отметить, что в организациях, в которых произошли несчастные случаи с тяжелыми последствиями при выполнении работ по заготовке кормов, разработаны и внедрены системы управления охраной труда на основе государственного стандарта СТБ ISO 45001-2020. «Системы менеджмента здоровья и безопасности при профессиональной деятельности». Вместе с тем, наличие организационных и личностных причин несчастных случаев свидетельствует об их недостаточной эффективности и требует внесения в них корректирующих действий, разработки дополнительных мероприятий по управлению существующими рисками, позволяющих обеспечить системный подход к решению проблем безопасности труда.

Несмотря на то, что в последнее время проектируется и внедряется большое количество машин для механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства, роль человека в транспортно-технологических процессах не снижается. Человеку-оператору приходится управлять достаточно сложной мобильной техникой, контролируя при этом множество входных и выходных параметров, например, для оператора кормоуборочного комбайна к выходным параметрам можно отнести качество работы машины при соблюдении высокого уровня безопасности.

Проводимыми различными исследованиями установлено, что безопасность и эффективность производственных процессов напрямую зависят от личностных характеристик оператора (его квалификации, стажа работы, возраста, антропометрических характеристик, физического и психологического состояния и др.). В частности, опыт и возраст операторов может влиять на процесс развития их утомления в процессе управления сельскохозяйственной техникой.

Развитию утомления операторов мобильных машин способствуют многие факторы, среди которых можно выделить: неудовлетворительные тягово-сцепные свойства колесных движителей и состояние несущей поверхности, по которой движется машина; неблагоприятные условия видимости; плохая обзорность и организация рабочего места; повышенная (пониженная) температура воздуха, высокая влажность воздуха; шум и вибрация на рабочем месте, попадание в кабину пыли, паров горючесмазочных материалов, отработавших газов и др. Некоторые психофизиологические и личностные особенности оператора, а также

большие нервные и физические перегрузки при выполнении технологического процесса также способствуют развитию утомления.

Характеристики мобильных колесных машин сельскохозяйственного назначения оказывают значительное влияние, как на безопасность, так и на эффективность протекания выполняемых ими технологических процессов. Выпускаемые кормоуборочные комбайны обладают значительными технологическими возможностями. Однако повышенная травмоопасность комбайновой уборки и неудовлетворительные условия труда операторов приводят к тому, что фактические показатели как производительности, так и качества работы довольно часто не соответствуют заложенным в комбайнах возможностям. Для определения производственных факторов, влияющих на здоровье работающих, необходимо проводить анализ системы Человек-Машина-Среда. Она устанавливает: уровень и длительность воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов; наличие и эффективность систем коллективной и индивидуальной защиты работников от их воздействия; психоэмоциональное состояние работников и др.

Анализ технических регламентов состояния сельскохозяйственной машин установил обязательность учета: эргономических требований (дискомфорт, усталость, психологическое напряжение); надежности конструкции (возможность недопустимого риска при эксплуатации, устойчивости); эргономичности при проектировании и изготовлении машин для повышения качества труда и сохранения здоровья оператора. Современная методология системного подхода при оценке безопасности и эргономичности машин базируется на достоверном определении характеристик машин и факторов рабочего места оператора при определенных и изменяющихся условиях функционирования, а также анализе оптимальности распределения функций в системе человек-машина.

В связи с этим основными инновационными решениями в развитии кормоуборочных комбайнов являются повышение производительности путем увеличения мощности двигателя, улучшение конструкции отдельных узлов с целью повышения их надежности, безопасности и обеспечения высокого качества заготавливаемых кормов.

Перспективным направлением в развитии кормозаготовительной техники является внедрение электронных систем управления, а также оснащение кормоуборочных машин системами спутниковой навигации для работы по технологиям точного земледелия. Электронное оборудование, устанавливаемое на самоходных кормоуборочных комбайнах, применяется не только для контроля работы их систем и механизмов, но и качества выполнения технологического процесса, регулирования мощности двигателя и скорости движения машины в

зависимости от урожайности убираемых культур, защиты рабочих органов от попадания инородных предметов, автоматического регулирования загрузки комбайна, высоты среза растений, заточки ножей измельчающего аппарата, угла поворота силосопровода и ряда других параметров. Электронные системы позволяют пошагово подводить механизатора к оптимальным настройкам кормоуборочного комбайна с учетом параметров мощности, качества, безопасности и эффективности технологического процесса.

В современном кормоуборочном комбайне много различных управляющих органов, пользоваться которыми оператору одновременно нелегко. Электронные системы могут быть использованы для распознавания голосовых команд оператора для облегчения доступа к целому ряду вторичных функций комбайна: переключения режимов отображения информации на экране бортовой системы; управления рабочими органами комбайна; управления мультимедиа.

Проблема обеспечения безопасности и улучшения условий труда операторов кормоуборочных комбайнов при проведении уборочных работ стоит достаточно остро. Решение этой проблемы лежит в дальнейшем усовершенствовании конструкций мобильной сельскохозяйственной техники и повышения трудовой и производственной дисциплины.

При этом своевременное и качественное проведение работ по заготовке кормов зависит от реализации работодателями организационно - технических мероприятий по обеспечению охраны труда.

Список использованной литературы

1. Об утверждении Правил по охране труда в сельском и рыбном хозяйствах [Электронный ресурс]: постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, 05 мая 2022 г., № 29/44.
2. Производственный травматизм операторов сельскохозяйственных машин в Республике Беларусь и пути его профилактики и минимизации / А. С. Алексеев [и др.] // Вестник БГСХА. – 2016. – № 1. – С. 90–93.
3. Травматизм на производстве: состояние и мероприятия по снижению / А. Н. Кудрявцев, В. Н. Босак, А. Е. Кондраль, И. Е. Жабровский // Основные направления кардинального роста эффективности АПК в условиях цифровизации. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2019. – С. 344–348.
4. Мероприятия по улучшению состояния охраны труда в организациях АПК: рекомендации / А. С. Алексеев, В. Н. Босак, М.В. Цайц, В. В. Талашов. – Горки: БГСХА, 2019. – 40 с.
5. Смирнов, Б.А. Эргономическая оценка систем «человек-машина». Инженерно-психологические аспекты: учебное пособие / Б.А. Смирнов, Ю.И. Гулый, А.А. Харченко. Харьков : Гуманитарный Центр, 2014. - 403 с.

Summary. The problem of ensuring safety and improving working conditions of operators of forage harvesters when carrying out harvesting operations is quite acute. The solution to this problem lies in further improvement of mobile agricultural machinery and improvement of labor and production discipline. At the same time, timely and quality of work on forage depends on the implementation by employers organizational and technical measures to ensure occupational safety.

УДК 628. 5: 637. 6

Жаркова Н.Н., старший преподаватель

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ЭКСИЛАМПЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ СПОНТАННОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО (УФ) И ВАКУУМНО-УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО (ВУФ) ИЗЛУЧЕНИЯ

Аннотация: в статье отражена суть бактерицидного действия ультрафиолетового излучения эксиламп

Abstract: The article reflects the essence of the bactericidal effect of ultraviolet radiation from excilamps.

Ключевые слова: бактерицидное ультрафиолетовое излучение, эксимеры, эксилампа,

Keywords: bactericidal ultraviolet radiation, excimer lasers, excilamp.

Решение задачи энергосбережения при одновременном соблюдении санитарно-гигиенических и зооветеринарных требований к газовому составу воздуха в технологических помещениях предприятий АПК возможно путём обоснованного выбора комплекта оборудования для рециркуляции и очистки воздушной среды.

Согласно многочисленным исследованиям, одним из наиболее эффективных методов обеззараживания воздуха и поверхностей является бактерицидное ультрафиолетовое (УФ) излучение. Его действие базируется на фотохимических реакциях, вызывающих необратимые повреждения ДНК, а также РНК, клеточных мембран и других структур. Наибольшей инактивирующей способностью обладает коротковолновое УФ-излучение в диапазоне 200–295 нм (бактерицидная область спектра). Данное излучение эффективно поглощается азотистыми основаниями ДНК, которая признана основной мишенью при летальном и мутагенном воздействии УФ на биосистемы. При этом чувствительность вирусов и клеток в этом диапазоне может существенно варьироваться [1].

На сегодняшний день наиболее распространённым источником бактерицидного УФ-излучения являются трубчатые ртутные лампы низкого давления. Их высокая эффективность обусловлена резонансной

линией 253,7 нм, совпадающей с максимумом бактерицидного действия, что обеспечивает бактерицидную отдачу на уровне 30–40%. По конструктивным особенностям такие лампы делятся на два типа: с колбой из увиолевого стекла и с колбой из кварцевого стекла, легированного оксидом титана. Оба типа исключают выход озonoобразующей линии 200 нм, поэтому их называют безозонными. В увиолевых лампах используется жидкая ртуть, в кварцевых – амальгама (твёрдое соединение ртути с металлами), что определяет их название – амальгамные. Давление паров ртути над амальгамой существенно ниже, чем над жидкой ртутью, поэтому при разрушении колбы концентрация паров ртути не превышает ПДК, и демеркуризация помещения не требуется. Амальгамные лампы более механически прочны, имеют единичную мощность 100–1000 Вт, тогда как увиолевые – 8–75 Вт. Электрические характеристики увиолевых ламп аналогичны характеристикам люминесцентных ламп той же мощности, что позволяет использовать стандартные схемы включения. Полезный срок службы (до снижения бактерицидного потока на 20 %) для амальгамных ламп составляет 12 000 ч, для увиолевых – 8 000–9 000 ч.

Конструктивно лампы размещаются в облучателях, которые подразделяются на открытые и закрытые (рециркуляторы). Открытые облучатели допускается использовать только в отсутствие людей, что усложняет процесс обеззараживания. Рециркуляторы, напротив, предназначены для непрерывной обработки воздуха в присутствии людей. В них УФ-излучение локализовано внутри кожуха, а обеззараживание происходит при прокачке воздуха через внутренний объём за счёт принудительной или естественной конвекции. К этому типу также относят модули с бактерицидными лампами, устанавливаемые после фильтров в выходных каналах приточно-вытяжной вентиляции [2].

В настоящее время ртутные лампы всё чаще признаются не соответствующими современным экологическим стандартам из-за сложности и дороговизны их утилизации. В связи с этим ведётся поиск альтернативных, не содержащих ртути, источников УФ-излучения. Исследования [3] показывают, что таковыми могут служить эксилампы – обобщённое название устройств, генерирующих спонтанное УФ- или вакуумное УФ-излучение эксимерных и эксиплексных молекул, спектры которых частично перекрывают бактерицидный диапазон [4].

Принцип работы эксимерной лампы основан на образовании возбуждённых димеров (эксимеров), спонтанно переходящих в основное состояние с испусканием УФ-фотонов. Эксимеры – это двухатомные (гомоядерные) или многоатомные молекулы, имеющие стабильные возбуждённые и несвязанное (или слабосвязанное) основное состояние. Термин «эксиплекс» (возбуждённый комплекс) также относится к

эксимерным молекулам. Наиболее изучены димеры редких газов и димеры редких газов с галогенами. Другие типы (эксимеры металлов, галогенидов металлов, оксидов и др.) применяются реже [5]. Эксиплексные и эксимерные молекулы неустойчивы и существуют только в возбуждённом состоянии; время жизни составляет 10^{-9} – 10^{-7} с. Их спонтанный распад на атомы сопровождается излучением кванта света, характерного для данного комплекса. Излучение эксиламп узкополосно, максимумы полос лежат в диапазоне 126–354 нм в зависимости от используемой молекулы [6].

С практической точки зрения достоинствами эксиламп являются: высокая энергия фотона (3,5–10 эВ), узкая полоса излучения, значительная удельная мощность, возможность масштабирования и выбора геометрии излучающей поверхности, а также отсутствие ртути. Это обеспечивает экологическое преимущество перед ртутными лампами. Эксимерные лампы относятся к «холодным» источникам: их излучающая поверхность нагревается незначительно, а максимальная мощность достигается практически мгновенно после включения [7–9].

Фотоны с энергией 3,5–10 эВ способны разрывать большинство химических связей и инактивировать микроорганизмы за счёт разрушения нуклеиновых кислот и ДНК. Экспериментально подтверждено, что излучение эксиламп оказывает выраженный бактерицидный эффект на широкий спектр микроорганизмов, причём действие не является избирательным – все протестированные культуры погибли [10].

Области применения эксимерных ламп включают очистку и дезинфекцию воды (питьевой, бассейнов, сточных вод), обеззараживание воздуха и промышленных отходов, фотохимический синтез, разложение органических соединений в дымовых газах и воде, фотополимеризацию покрытий, фотохимическое осаждение из газовой фазы. Во всех случаях УФ-фотоны возбуждают частицы или разрывают связи, инициируя необходимые реакции. Избирательность действия эксиламп (возможность подобрать длину волны для генерации нужных радикалов) является их важной особенностью. Лампы на основе редких газов абсолютно безопасны, а галогенсодержащие – экологичнее ртутных.

Среди некогерентных узкополосных источников УФ- и ВУФ-диапазона эксилампы выделяются удачным сочетанием физических характеристик и удобством эксплуатации. Их стоимость как минимум на порядок ниже стоимости УФ- или ВУФ-лазера [6]. Эти свойства позволяют использовать эксилампы для облучения протяжённых объектов – от кювет с жидкостями и газами до животноводческих помещений. В настоящее время эксимерные лампы находят применение в экологии, фотохимии, фотобиологии, медицине, криминалистике, нефтехимии, физике,

микроэлектронике, в широком спектре технологий, а также в различных отраслях промышленности и АПК.

Список использованной литературы

1 Вассерман, А.Л. Применение ультрафиолетового излучения для обеззараживания воздуха / А.Л. Вассерман, // Светотехника, – 2004. – № 1. – С. 46–47.

2 Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях: Руководство. – М. : Федеральный центр госсан эпиднадзора Минздрава России, 2005. – 46 с.

3 Авдеев, С.М. Бактерицидное действие ультрафиолетового излучения эксимерных и эксиплексных лам на чистые культуры микроорганизмов / С.М. Авдеев, Э.А. Величевская, Л.В. Лаврентьева, К.Ю. Соснин // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2008. – № 2. – С. 18-27.

4 Соснин, Э.А. Эксилампы – перспективный инструмент фотоники. / Э.А. Соснин, В.Ф. Тарасенко // Фотоника, 2015, – № 1, С. 60–69

5 Автаева, С.В. Новые направления в научных исследованиях и применении эксиламп / С.В. Автаева, О.С. Жданова, А.А. Пикулев, Э.А. Соснин, В.Ф. Тарасенко. – Томск : STT, 2013. – 246 с.

6 Соснин, Э.А. Закономерности развития газоразрядных источников спонтанного излучения: Руководство для разработчика. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. – 106 с.

7 Соснин, Э.А. Действие ультрафиолетового излучения и ультразвуковых колебаний на сточные воды / Э.А. Соснин., Е.И. Липатов, В.С. Скакун, В.А. Панарин, В.Ф. Тарасенко, О.С. Жданова, П.А. Гольцова // Современные научные исследования и инновации. – 2016. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/03/65016> (дата обращения: 30.04.2026).

8 Соснин, Э.А. Эксилампы и новое семейство газоразрядных ультрафиолетовых облучателей на их основе / Э.А. Соснин // Светотехника. – 2006. – № 6. – С. 25–31

9 Ломаев, М.И. Эксилампы – эффективные источники спонтанного УФ и ВУФ излучения / М.И. Ломаев, В.С. Скакун, Э.А. Соснин и др. // Успехи физических наук. – 2003. – Т. 173, № 2. – С. 201–217.

10 Современные научные исследования и инновации. 2016 № 3 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/03/65016> (дата обращения: 13.04.2026).

Summary. A well-founded choice of air recirculation equipment using excilamps (mercury-free sources of narrow-band UV radiation) makes it possible to solve the problem of energy saving at agricultural enterprises without violating sanitary, hygiene, and veterinary requirements for the gas composition of the air, due to their high bactericidal efficiency, environmental safety, instant start-up, and the ability to operate continuously in the presence of people.

Андрюш В.Г., кандидат технических наук, доцент;

Шелегова Е.В., аспирант

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

АНАЛИЗ И ПРОФИЛАКТИКА ТРАВМАТИЗМА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РЕМОНТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. В статье анализируются данные производственного травматизма в Республике Беларусь, рассматриваются опасные и вредные факторы при выполнении ремонта сельскохозяйственной техники, причины травмирования при производстве шиномонтажных работ.

Abstract. The article analyzes the data on occupational injuries in the Republic of Belarus, examines dangerous and harmful factors when repairing agricultural machinery, and the causes of injury during tire work.

Ключевые слова. Производственный травматизм, опасные и вредные факторы, нарушение технологического процесса, охрана труда.

Keywords. Occupational injuries, dangerous and harmful factors, disruption of the technological process, labor protection.

В организациях Республики Беларусь наблюдается снижение общего уровня производственного травматизма – 2023 год травмировано 1850 человек, 2024 год – 1849, 2025 год – 1835, количество погибших на производстве также уменьшилось – 117, 105 и 103 человека соответственно [1].

Ремонт автомобилей является травмоопасным видом экономической деятельности (согласно данным [2] объем трудовых затрат на весь срок службы автомобиля распределяется следующим образом: на изготовление – 1,4 %, на техническое обслуживание – 45,4 %, на ремонт – 53,2 %).

В 2024 году в отрасли торговля и ремонт авто травмировано 116 человек (6,2% от общего количества), из них 6 человек со смертельным исходом (5,7% от общего количества) [3].

В 2025 году, как и в предыдущих годах, среди потерпевших в результате несчастных случаев на производстве наиболее часто травмировались работники таких профессий, как, водители автомобилей, слесари, животноводы, трактористы и подсобные рабочие. При этом водители автомобилей и трактористы чаще всего были травмированы не при управлении транспортными средствами, а при выполнении ремонтных или иных работ [1].

Одной из основных причин несчастных случаев со стороны потерпевших, произошедших в 2024 году, явилось нарушение требований

безопасности при эксплуатации транспортных средств, машин, механизмов, оборудования, оснастки, инструмента, что составило 1,8% от всех основных причин несчастных случаев и 2,7% от всех основных причин несчастных случаев со смертельным исходом [3].

Основными причинами несчастных случаев со стороны должностных лиц нанимателя явились [3]:

- невыполнение руководителями и специалистами обязанностей по охране труда – 8,7% (13,6%);
- неудовлетворительное содержание и недостатки в организации рабочих мест, эксплуатация неисправных машин, механизмов, оборудования, оснастки, инструмента, транспортных средств – 4,9% (7,4%);
- допуск потерпевших к работе без обучения, проверки знаний, стажировки по вопросам охраны труда, инструктажа по охране труда, привлечение потерпевшего к работе не по специальности (профессии) – 8,7% (19,7%);
- необеспечение потерпевшего СИЗ – 1,2% (3,4%).

В сельскохозяйственной отрасли ремонт и техническое обслуживание техники по количеству пострадавших с тяжелыми и смертельными последствиями находится на третьем месте после животноводства и растениеводства (по данным Минсельхозпрода за 2015-2024 год) (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Распределение несчастных случаев по отраслям АПК

Основными факторами травмирования работников на производстве в 2025 году явились воздействие движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов и деталей (удельный вес от общего количества травмированных в 2024 году – 26,8%, в 2023 – 27,6 %; удельный вес от общего числа погибших 21,9% и 16,2% соответственно), а также падение потерпевшего с высоты (удельный вес от общего количества травмированных в 2024 году – 9,4%, в 2023 – 9,5 %; удельный вес от общего числа погибших 19,0% и 17,9%

соответственно) и во время передвижения (удельный вес от общего количества травмированных в 2024 году – 18,0%, в 2023 – 18,8 %; удельный вес от общего числа погибших 1,0% и 2,6% соответственно). Каждый четвертый из погибших – результат падения работника с высоты [1, 3].

По количеству пострадавших с тяжелыми последствиями (по данным Минсельхозпрода за 2022-2023 год) трактористы, водители – 38%, слесари – 7% от общего количества. Динамика изменения количества тяжелых и смертельных несчастных случаев в АПК по профессиям тракторист, водитель, слесарь представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Количество несчастных случаев по профессиям АПК с 2021-2024 гг. (по данным Минсельхозпрода)

Несчастные случаи травмирования работников происходят при выполнении шиномонтажных работ, таких как снятие, установка, ремонт и подкачка колес. Причинами являются:

- несоблюдение технологических процессов (применение для монтажа и демонтажа шин, не предназначенных для данного вида работ устройств, оборудования, приспособлений и инструмента);
- несоответствие производственного оборудования и рабочих мест требованиям нормативных правовых актов и требованиям безопасности локальных правовых актов;
- допуск к выполнению шиномонтажных работ работников, не имеющих соответствующую квалификацию, не прошедших обучение, инструктаж и проверку знаний по вопросам охраны труда.

Согласно п. 36 Типового перечня работ с повышенной опасностью (приложение 7 к Инструкции №175 [4]), эксплуатация, ремонт и техническое обслуживание транспортных средств, сельскохозяйственных машин, малых сельскохозяйственных машин и самоходных лесохозяйственных машин (тракторов) относятся к работам с повышенной опасностью.

К выполнению шиномонтажных работ [4], допускаются рабочие, возраст которых соответствует установленному действующим законодательством,

имеющие соответствующую профессиональную подготовку, прошедшие медицинский осмотр, обучение, проверку теоретических знаний и практических навыков безопасных способов работы, а также стажировку в течение 2-14 смен под руководством специально назначенного лица.

Шиномонтажные работы, помимо снятия, установки колеса, накачивания шин, включают еще балансировочные и вулканизационные работы. В соответствии с выпуском 31 [5] и выпуском 2 [6] Единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих виды шиномонтажных работ предусмотрены для следующих профессий рабочих: балансировщик шин (3 разряд), вулканизаторщик (2-7 разряд), монтировщик шин и шинно-пневматических муфт (2-4 разряд), слесарь по ремонту сельскохозяйственных машин и оборудования (3-6 разряд), слесарь по ремонту автомобилей (2-7 разряд).

К работе с применением электро- и пневмоинструмента рабочий допускается после соответствующей подготовки, проверки знаний и получения допуска к выполнению работ с этим инструментом.

Лица, допускаемые к работе с электроинструментом класса I в помещениях с повышенной опасностью поражения электрическим током и вне помещений должны иметь группу по электробезопасности не ниже II, а к работе с электроинструментом II и III класса – I группу по электробезопасности.

С 2020 г. по 2024 г. при выполнении шиномонтажных работ в сельскохозяйственных организациях (согласно данным министерства сельского хозяйства и продовольствия) были смертельно травмированы 10 работников и 39 получили травмы с тяжелыми последствиями. В таблице 1 представлены типичные нарушения и возможный риск при проведении операций шиномонтажа.

Таблица 1 – Типичные нарушения и возможный риск при проведении технологических операций шиномонтажа

Наименование технологической операции	Типичные нарушения	Возможный риск
1	2	3
Применение грузоподъемных машин и механизмов	Использование неисправных домкратов и подъемников. Применение в качестве упоров непредназначенных для этого устройств.	Самопроизвольное опускание машины. Падение машины или ее узла на работника.
Снятие (установка) колеса	Проведение работ вне специально оборудованных мест. Применение ненадлежащих инструментов. Снятие колес с разборным ободом, находящихся под давлением. Установка внутренних задних колес без гибкого удлинителя вентили.	Срыв стопорного кольца. Самопроизвольное разбортывание колеса.

Окончание таблицы 1

1	2	3
Демонтаж (монтаж) шин	Демонтаж (монтаж) шин на обод непосредственно на машине. Монтаж (демонтаж) шины без полного снятия давления в камере шины. Выбивание кувалдой обода колеса. Разрыв шляпок крепежных болтов. Неплотно посаженное в канавку обода замочное кольцо.	Срыв стопорного кольца. Самопроизвольное разбортирование колеса. Разрыв обода колеса. Разрыв камеры. Разгерметизация колеса
Осмотр и очистка колес (шин, обода, бортового и замочного кольца) от загрязнений	Монтаж (демонтаж) накачаных колес, которые имеют неисправное состояние обода диска, бортового и замочного кольца по причине наличия коррозии и сквозного повреждения в ободу диска колеса.	Срыв стопорного кольца.
Проверка комплектности шины и обода	Сборка обода с шиной разных размеров от разных моделей.	Срыв стопорного кольца. Самопроизвольное разбортирование колеса
Перемещение колес	Падение колеса, шины. Повреждение колеса, шины.	Падение колеса на работника. срыв стопорного кольца
Накачивание шин	Накачивание шины вне защитного ограждения. Накачивание шины в один этап до рабочего давления. Накачивание при неправильном положении замочного кольца. Накачивание с применением ударного действия. Накачивание шин без гибких удлинителей вентиляей. Отсутствие или неисправность манометра. Накачивание шин с ослабленной прочностью материала шин и наличием местных повреждений. Накачивание шин сверх установленной нормы.	Вылет бортового кольца. Срыв стопорного кольца. Разрыв шин. Самопроизвольный демонтаж шин.

Анализ обстоятельств и причин произошедших несчастных случаев указывает на то, что в большинстве из них при производстве шиномонтажных работ со стороны нанимателей и работников не обеспечивалось либо игнорировалось соблюдение соответствия технологических процессов, производственного оборудования, рабочих мест требованиям нормативных правовых актов, требованиям безопасности, изложенным в локальных нормативных правовых актах.

Список использованной литературы

1. Всемирный день охраны труда / 2026 год // Министерство труда и социальной защиты. – URL: <https://www.mintrud.gov.by/ru/vsemirnii-den-ot-2026-ru> (дата обращения 05.05.2026).

2. Иванов В.П. Ремонт машин. Технология, оборудование, организация: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новополоцк: УО «ПГУ», 2006. – 468 с.

3. Доклад о соблюдении законодательства о труде и об охране труда в Республике Беларусь в 2024 году // Департамент государственной инспекции труда. – URL: <http://storage.git.gov.by/source/> – Дата доступа: 04.05.2026.

4. О порядке обучения, стажировки, инструктажа и проверки знаний работающих по вопросам охраны труда [Электронный ресурс]: пост. Мин. труда и соц. защиты Республики Беларусь, 28 ноября 2008 г., № 175 : в ред. пост. Минтруда и соц. защиты Респ. Беларусь 02.09.2024 № 45 // ИПС «ЭТАЛОН-ONLINE». – Режим доступа: https://etalonline.by/document/?_regnum=w208_20209_&ysclid=maqrgulzh618858041. – Дата доступа: 04.05.2025.

5. Выпуск 31 Единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих: пост. Мин. труда и соц. защиты Республики Беларусь, 29 ноября 1999 г. № 148: в ред. пост. Минтруда и соц. защиты Респ. Беларусь 30 марта 2004 г. № 35.

6. Выпуск 2 Единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих: пост. Мин. труда и соц. защиты Республики Беларусь, 28 декабря 2000 г. № 160: в ред. пост. Минтруда и соц. защиты Респ. Беларусь 13 марта 2008 г. № 47.

Summary. An analysis of accidents during tire installation shows that the main causes of injuries are violations by employers and employees of the safety requirements of the technological process, workplace organization, equipment and tools.

УДК 331.45

Ткачева Л.Т., кандидат технических наук, доцент,
Сермяжко М.А., магистрант

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ ОХРАНЕ ТРУДА РАБОТНИКОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ

Аннотация. Одним из важных направлений снижения травматизма в животноводческой отрасли сельскохозяйственного производства является повышение эффективности процесса обучения персонала вопросам охраны труда. Современные цифровые технологии предлагают новые подходы к профессиональному обучению. Геймификация – применение игровых механик в неигровом контексте – повышает мотивацию и усвоение материала. Виртуальная реальность (VR) позволяет создать полностью иммерсивную среду, в которой обучающийся может безопасно отрабатывать действия при авариях, совершать ошибки без реальных последствий и получать мгновенную обратную связь.

Abstract. One of the key areas for reducing injuries in the livestock sector of agricultural production is improving the effectiveness of personnel training in occupational safety. Modern digital technologies offer new approaches to professional training. Gamification – the application of game mechanics in a non-game context – increases motiva-

tion and learning. Virtual reality (VR) allows for the creation of a fully immersive environment in which trainees can safely practice emergency procedures, make mistakes without real-world consequences, and receive instant feedback.

Ключевые слова. Геймификация, виртуальная реальность, VR-тренажёры, обучение, аварийные ситуации, программное обеспечение

Keywords. Gamification, virtual reality, VR simulators, training, emergency situations, software

По степени травмоопасности животноводческая отрасль занимает одно из ведущих мест в агропромышленном комплексе. К особенностям производственных процессов в животноводстве относится участие в них не только людей, но и животных. Чаще всего работники животноводства травмируются при выполнении основных технологических операций: уходе за животными, приготовлении и раздаче кормов, уборке навоза, доении. Поэтому вопросам обучения охране труда, закреплению знаний работников этой отрасли необходимо уделять особое внимание.

Традиционные методы обучения охране труда (инструктажи, плакаты, видеуроки) обладают существенными недостатками: низкая вовлечённость обучаемых, невозможность многократного воспроизведения аварийной ситуации без угрозы для жизни, отсутствие практической отработки навыков в условиях, приближенных к реальным, не позволяют имитировать динамику аварии, не создают чувства стресса, не дают возможности сделать ошибку и увидеть её последствия. Они дают только теоретические знания, но не формируют навык ориентации в ситуации и принятия быстрых решений. Кроме того, провести полноценную тренировку в реальных условиях (например, учебный пожар) на действующей ферме невозможно из-за риска для животных и оборудования.

Сочетание геймификации и VR-тренажёров открывает принципиально новые возможности для подготовки персонала животноводческих ферм. VR-тренажёры, способные моделировать любые аварийные сценарии с высоким уровнем реализма, становятся оптимальным инструментом для отработки алгоритмов действий.

Геймификация в профессиональном образовании представляет собой использование игровых элементов (очков, уровней, бейджей, рейтингов, временных ограничений, сценариев с выбором) в неигровом контексте для повышения вовлечённости и мотивации обучающихся. В отличие от простого развлечения, геймификация опирается на психологические механизмы: стремление к достижению, соревнование, немедленную обратную связь и накопление прогресса. Исследования показывают, что геймифицированные курсы повышают усвоение материала на 30–40% по сравнению с традиционными лекциями и инструктажами. В сфере охраны труда это особенно важно, поскольку от запоминания алгоритмов действий в аварийной ситуации может зависеть жизнь.

Виртуальная реальность дополняет геймификацию эффектом полного погружения. VR-шлем и контроллеры создают у пользователя ощущение физического присутствия в смоделированной среде. Обучающийся видит ферму, животных, оборудование, может перемещаться, брать предметы, взаимодействовать с панелями управления. Ключевое преимущество VR – безопасная практика: человек может многократно отрабатывать действия при пожаре, утечке аммиака или нападении животного, не подвергая себя и других реальной опасности. Ошибки не имеют материальных последствий, но фиксируются системой, которая затем даёт детальную обратную связь.

Сочетание геймификации и VR превращает обучение из формальной обязанности в интерактивный процесс, который воспринимается как игра, но при этом формирует прочные профессиональные компетенции в области охраны труда. Дополнительным эффектом является эмоциональная вовлечённость: стресс, возникающий в виртуальной опасной ситуации, близок к реальному, но без угрозы для жизни, а тренировки способствуют лучшему запоминанию алгоритмов благодаря эффекту присутствия и возможности повторять сценарии до полного автоматизма. Все это позволяет формировать устойчивые поведенческие навыки, которые в критической ситуации срабатывают автоматически – аналогично мышечной памяти у спортсменов.

Проектирование VR-тренажера для отработки действий в аварийной ситуации

Разработка эффективного VR-тренажера начинается с создания детализированных сценариев аварийных ситуаций. Каждый сценарий должен быть основан на реальных алгоритмах, зафиксированных в инструкциях по охране труда для конкретного типа фермы. Сценарий включает: исходную обстановку (тип помещения, размещение животных, оборудования, путей эвакуации), пусковое событие (возгорание, утечка газа, агрессия животного, разлив химиката), набор допустимых действий пользователя, систему оценки правильности и времени выполнения каждого шага.

При проектировании сценариев критически важно учитывать региональную специфику: типы ферм, используемые химикаты, породный состав животных. Универсальные шаблоны могут снизить реалистичность и, как следствие, перенос навыков в реальную среду. Рекомендуется привлекать к разработке практиков – ветеринаров, главных инженеров хозяйств, специалистов по охране труда.

Целесообразно предусмотреть несколько уровней сложности. На начальном уровне система даёт подсказки, подсвечивает правильные предметы (огнетушитель, противогаз, аптечку), останавливает время для принятия решения. На среднем уровне подсказки отсутствуют, но

сохраняется возможность повторить сценарий после ошибки. На сложном уровне добавляются отвлекающие факторы (шум, задымление, паника животных, ограничение времени), а также случайные вариации (место возгорания, тип химиката). Многоуровневая структура позволяет адаптировать обучение под разные категории персонала: от новых работников до опытных бригадиров.

Для поддержания мотивации и повышения эффективности обучения в тренажёр встраиваются игровые механики. Система очков начисляется за правильные действия (например, +10 за надевание противогаза до начала локализации утечки, +20 за быстрое обнаружение пожара) и штрафует за критические ошибки (например, -50 за попытку тушить электропроводку водой). Рейтинг и таблица лидеров позволяют сравнивать результаты работников одной смены или разных ферм, стимулируя соревновательный интерес. Уровни и значки достижений открываются после успешного прохождения определённого количества сценариев. Временные ограничения создают эффект срочности, приближенный к реальной аварии. Мгновенная обратная связь после каждого шага (звуковой сигнал, всплывающее сообщение) помогает запоминать правильную последовательность. Сочетание геймификации с высокой степенью реализма превращает обучение охране труда в увлекательный и запоминающийся процесс.

Аппаратная часть VR-тренажера включает шлем виртуальной реальности (например, HTC Vive, Meta Quest 3 или PICO 4), два контроллера для рук, а при необходимости – трекары для ног или тактильные жилеты для имитации ударов или вибрации. Для ферм с ограниченным бюджетом возможны автономные шлемы без привязки к мощному компьютеру, однако для высокореалистичных сценариев (сложная физика, большое количество объектов) требуется ПК с производительной видеокартой. Программная реализация ведётся на платформах Unity или Unreal Engine с использованием специализированных SDK для отслеживания движений и взаимодействия с объектами. Для создания реалистичных моделей животных, оборудования и помещений необходима работа 3D-дизайнеров и консультация с ветеринарами и инженерами.

За рубежом VR-тренажеры для отработки действий при авариях на фермах уже активно применяются. В США программа AgriAbility включает обучение безопасной работе с техникой и животными с использованием иммерсивных технологий. В Нидерландах разработан тренажёр SafeDairy, моделирующий аварии в коровниках: утечку аммиака, возгорание подстилки, нападение быка. Система фиксирует каждое действие обучающегося, а после завершения сценария выдаёт детализированный отчёт с указанием ошибок и рекомендаций. В Австралии проект FarmSafe

VR позволяет животноводам отрабатывать эвакуацию животных из горящего сарая: обучение проходит как на настольных VR-устройствах, так и в мобильной капсуле, выезжающей в отдалённые регионы. В Германии компания BayWa AG внедрила VR-тренировки по технике безопасности на своих фермах, что позволило снизить количество мелких травм на 18% за один год. Эффективность VR-тренажёров оценивается по нескольким показателям:

- Первый – степень усвоения алгоритмов действий. Исследования показывают, что после VR-тренировки правильная последовательность действий запоминается на 40–50% лучше, чем после традиционного инструктажа.

- Второй – скорость реакции в стрессовой ситуации: у прошедших VR-обучение время принятия решений сокращается в 1,5–2 раза.

- Третий – частота ошибок при отработке: в виртуальной среде обучающиеся допускают в среднем в 3 раза меньше критических ошибок (например, попытка тушить электропроводку водой или вход в зону разлива без защиты) по сравнению с контрольной группой, прошедшей только плакатное обучение.

- Четвёртый – перенос навыков в реальность: наблюдения на фермах, внедривших VR-тренажёры, фиксируют снижение реального травматизма при авариях (пожарах, разливах) на 20–30%.

Экономический эффект складывается из сокращения страховых выплат, уменьшения простоев из-за несчастных случаев и повышения производительности персонала, уверенно действующего в нештатных ситуациях.

В Беларуси имеется ряд предпосылок для внедрения VR-тренажёров в обучение охране труда на фермах. Развит ИТ-сектор (Парк высоких технологий), способный разрабатывать качественное программное обеспечение. Существуют учреждения аграрного образования (БГАТУ, сельскохозяйственные колледжи), заинтересованные в современных методах подготовки кадров. Крупные агрохолдинги («Агрокомбинат «Дзержинский», «СПЦ «Западный») обладают финансовыми ресурсами для приобретения оборудования.

Однако присутствуют и серьёзные барьеры:

- экономический: стоимость полного комплекта (шлем, контроллеры, компьютер, лицензия на ПО) составляет от 5 000 до 15 000 долларов в зависимости от количества сценариев и качества графики, что для небольших ферм может быть недоступно без субсидий;

- технический: требуется обслуживание оборудования и обновление программного обеспечения, для чего нужны квалифицированные специалисты, которых на местах может не быть;

- организационный: отсутствие утверждённых государством образовательных стандартов, предписывающих использование VR-тренажёров в обязательном обучении охране труда, что снижает мотивацию работодателей;

- психологический: часть работников старшего возраста может испытывать дискомфорт при использовании VR-шлемов (так называемая киберболезнь) или скептически относиться к «игровому» формату обучения.

Опыт МИТСО и Парка высоких технологий показывает, что успешное внедрение требует не только технологической, но и методической проработки: адаптации сценариев под белорусские нормативы, подготовки инструкторов, интеграции тренажёров в действующие программы повышения квалификации. Пилотные проекты в крупных агрохолдингах могут стать полигоном для отработки таких решений перед массовым тиражированием.

Для системного внедрения VR-тренажёров в АПК Беларуси предлагается создание отраслевого VR-полигона на базе одного из аграрных учебных заведений (например, БГАТУ). Полигон должен включать аппаратную часть (10–15 VR-шлемов, компьютеры, периферию), библиотеку сценариев (пожары, разливы химикатов, нападения животных, аварии с техникой, отравление газами) и методический центр для подготовки инструкторов. Источниками финансирования могут выступать государственные программы цифровизации АПК, средства агрохолдингов и гранты международных организаций. После отработки на полигоне целесообразно тиражировать успешные решения в другие учебные заведения и крупные хозяйства. Дополнительная мера – внесение изменений в типовые программы обучения охране труда, предусматривающих обязательное использование VR-тренажёров для отработки критических аварийных сценариев. Это создаст устойчивый спрос и будет стимулировать отечественных разработчиков ПО создавать локализованные версии тренажёров с учётом белорусских нормативов и реальной обстановки на фермах.

Список использованной литературы

1. Schuelke S., Yoder A., Kreifels M. et al. Implementation of a Statewide Youth Ag Safety Immersive Virtual Reality Program. *Journal of Agromedicine*, Vol. 30, No. 3 (July 2025). *Ссылка:* <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40008563/>

2. Crundall D. (Nottingham Trent University) et al. New VR tractor hazard test developed for learner drivers. *Agriland.co.uk*, February 24, 2025. *Ссылка:* <https://www.agriland.co.uk/farming-news/new-vr-tractor-hazard-test-developed-for-learner-drivers/>

3. Поздняков В. (ректор УО ФПБ «МИТСО»). Виртуальная реальность моделирует критические ситуации. *SB.BY / «Беларусь Сегодня»*, 25 апреля 2025.

Ссылка: <https://www.sb.by/articles/bolshe-nikakikh-metodichek-i-broshyur-rektor-mitso-rasskazal-kak-belorusov-budut-obuchat-okhrane-tru.html>

4. Market Intelo. Virtual Reality Pesticide Safety Course Market Research Report 2033. 2024. *Ссылка:* <https://marketintelo.com/report/virtual-reality-pesticide-safety-course-market>

Summary. International experience confirms the high effectiveness of VR simulators for occupational safety training. The Republic of Belarus has the necessary prerequisites for implementing VR simulators: a developed IT sector, agricultural education institutions, and the interest of large agricultural holdings. However, barriers exist (equipment cost, lack of regulatory framework, technical and psychological readiness of personnel) that require a systematic approach.

УДК 631.82

Молош Т.В., кандидат технических наук, доцент,

Евсюк К.В., магистрант

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» г. Минск, Республика Беларусь

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОХРАНЫ ТРУДА ПРИ ВНЕСЕНИИ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Аннотация. Приводится анализ причин несчастных случаев при эксплуатации средств механизации для внесения твердых минеральных удобрений. Рассматриваются мероприятия по снижению рисков воздействия различных производственных факторов на состояние производственной безопасности.

Abstract. This article analyzes the causes of accidents during the operation of mechanical equipment for the application of solid mineral fertilizers. Measures to reduce the impact of various production factors on industrial safety are discussed.

Ключевые слова минеральные удобрения травматизм, охрана труда, производственная безопасность, риски, мероприятия.

Keywords. mineral fertilizers, injuries, occupational safety, industrial safety, risks, activities.

Минеральные удобрения и другие химические вещества широко вошли в практику растениеводства. Они обеспечивают получение и сохранность высоких урожаев. Однако все эти вещества в той или иной мере опасны для человека и окружающей среды. Неправильное применение или неграмотное обращение с ними наносит огромный вред не только работающим с ними, но и животному и растительному миру, почве, атмосфере.

Твердые удобрения минерального типа, могут содержать токсичные вещества, которые способны вызывать серьезные заболевания человека. Они содержат вредные соединения азота, фосфора, фтора и тяжелых

металлов (кадмий, свинец), которые накапливаются в организме. Пыль минеральных удобрений (особенно азотных и фосфорных) может вызывать раздражение слизистых оболочек, ожоги кожных покровов и удушье при попадании в организм человека.

Работники, которые обращаются с удобрениями, должны быть хорошо осведомлены о возможных рисках и соответствующих мерах предосторожности. Каждое удобрение должно сопровождаться информационным листком с указанием его состава, потенциальных опасностей, первой помощи при несчастных случаях и методов безопасного использования и утилизации.

Регулярный мониторинг и оценка условий работы, включая использование твердых минеральных удобрений, являются необходимыми для обеспечения безопасности на рабочем месте. Это позволяет выявлять возможные проблемы и вовремя принимать корректирующие меры. Периодическая оценка рисков – это ключевой процесс, который помогает идентифицировать и оценить потенциальные опасности, связанные с использованием удобрений. Это может включать в себя оценку состояния оборудования, правильности хранения и использования удобрений, а также эффективности мер безопасности.

Периодические медицинские осмотры являются важной частью мониторинга здоровья работников, работающих с твердыми минеральными удобрениями. Они помогают своевременно выявлять возможные проблемы со здоровьем, связанные с профессиональной деятельностью, и предпринимать необходимые меры. Работники, непосредственно участвующие в организации и выполнении работ по применению, перевозке и хранению минеральных удобрений (постоянно или временно) должны проходить гигиеническое обучение и обязательные периодические медицинские осмотры (1 раз в год).

Работа с удобрениями требует строгого соблюдения мер безопасности, чтобы минимизировать риски для здоровья работников и окружающей среды. Это включает в себя обучение персонала, использование соответствующего оборудования и средств защиты, правильное хранение и утилизацию продуктов.

Работы с их применением минеральных удобрений требуют соблюдения определенных мер безопасности, установленными специфическими санитарно-эпидемиологическими требованиями к содержанию и эксплуатации объектов агропромышленного комплекса и объектов промышленности, деятельность которых потенциально опасна для населения. В Республике Беларусь вопросы охраны труда при использовании машин для внесения твердых минеральных удобрений регулируются комплексом нормативных правовых актов, включающих

общие правила по охране труда, санитарные нормы, а также технические регламенты на технику.

Охрана труда при работе машинно-тракторных агрегатов (МТА) для внесения твердых минеральных удобрений – это комплексная проблема, включающая защиту от химического воздействия, механические риски, а также организационные вопросы. Работа с туками (минеральными удобрениями) требует строгого соблюдения техники безопасности из-за их токсичности, пожароопасности и коррозионной активности. Используемые для внесения минеральных удобрений тракторы и другие сельскохозяйственные машины должны иметь оборудованное рабочее место, герметичную кабину и кондиционер.

В процессе эксплуатации МТА возникают технические риски, связанные с тем, что разбрасыватели имеют открытые вращающиеся диски, шнеки и карданные валы, контакт с которыми приводит к тяжелым травмам. Неправильное подключение или отсутствие защитного кожуха на карданном валу – частая причина травматизма. Все машины, механизмы для внесения удобрений должны быть отремонтированы. Во избежание несчастных случаев все движущиеся части машины и механизмов (шкивы, шестерни, ременные и зубчатые передачи и др.) должны быть закрыты защитными ограждениями. Несвоевременная очистка и обслуживание могут приводить к поломке механизмов во время работы. Очистку, ремонт, регулировку и смазку машин разрешается проводить только после полной остановки двигателя и при обязательной установке машины на тормоз. При необходимости работы под поднятым кузовом прицепов под него обязательно ставится специальная упорная штанга, предотвращающая самопроизвольное его опускание. При возникновении сложных поломок оборудования его необходимо освободить от удобрений, проводить его промывку и ремонт на ремонтной базе организации.

При работе с минеральными удобрениями опасность возникает при выполнении погрузочно-разгрузочных работ. Основной риск связан с пылением при засыпке. Загрузка минеральных удобрений в машины и агрегаты должна производиться преимущественно механизированным способом. При ручной загрузке агрегатов, туковых сеялок и других машин затаренных удобрениями масса мешков не должна превышать установленной нормы.

Загрузка машин удобрениями производится только при их полной остановке. При работе с погрузчиками можно выходить из трактора только при опущенном на землю ковше. Во время работы опасно подходить к погрузчику со стороны рабочих органов. Смерзшиеся или слежавшиеся удобрения перед погрузкой необходимо разрыхлить. Нельзя поднимать грузы большей массы, чем предусмотрено техническими условиями

погрузчика. При погрузке и разгрузке следует находиться с наветренной стороны. После окончания работы грузоподъемных механизмов и во время перерыва груз не должен оставаться в поднятом состоянии. Опасно поднимать и перемещать грузы с людьми и над людьми. Водитель, тракторист и другие лица во время погрузки не должны находиться в кабине, кузове и на подножках, а также производить техническое обслуживание и ремонт транспортных средств и разбрасывателей.

При транспортировке незатаренных сыпучих минеральных удобрений с целью предотвращения их потерь кузова автомашин и прицепов должны быть герметизированы и укрыты брезентом.

При внесении удобрений нельзя находиться вблизи разбрасывающих рабочих органов, а при работе дисковых разбрасывателей – в плоскости вращения дисков на расстоянии менее 50 м. Организация работ должна производиться с учетом направления ветра. Увеличивает риск попадания пыли в кабину и зону дыхания оператора внесение удобрений при сильном ветре. Опасность представляет нахождение на машинах и между трактором и машиной при транспортировке и внесении удобрений.

После окончания работ необходимо тщательно очищать машины от остатков удобрений. Сошники комбинированных сеялок следует очищать специальными прилагаемыми к ним скребками и щетками. Угрозу для окружающей среды и здоровья людей могут представлять неправильно утилизированные удобрения. Поэтому все остатки удобрений и их упаковка должны быть утилизированы в соответствии с рекомендациями производителя и нормами охраны окружающей среды.

Работа с минеральными удобрениями осуществляется с использованием соответствующих средств индивидуальной защиты (СИЗ)

Персонал должен быть обеспечен исправными костюмами, респираторами, очками, перчатками. Выбор средств индивидуальной защиты должен проводиться с учетом физико-химических свойств и класса опасности препаратов, характера условий труда и в соответствии с индивидуальными размерами работающего. При работе с малоопасными и умеренно опасными пылевидными препаратами должна применяться спецодежда с маркировкой защитных свойств. Спецодежду ежедневно после работы необходимо очищать от пыли при помощи пылесоса, а также путем встряхивания и выколачивания. Освобожденную от пыли спецодежду следует вывешивать для проветривания и просушки под навесом или на открытом воздухе на 8-12 часов.

Твердые минеральные удобрения, при любом способе их внесения остаются биологически активными веществами, обладающими токсикологическими свойствами к растениям и теплокровным организмам, в том числе и человеку. При неправильном их применении,

нарушении личной и общественной гигиены возникает опасность отравления организма и загрязнения окружающей среды. Охрана труда является ключевым аспектом в работе с твердыми минеральными удобрениями. Строгое соблюдение правил и норм охраны труда, использование средств индивидуальной защиты, обучение персонала, а также регулярный мониторинг и оценка состояния условий труда являются основными элементами системы безопасности при работе с удобрениями. Все операции с твердыми минеральными удобрениями должны проводиться в соответствии с установленными процедурами безопасности. Это включает в себя правильное использование и обслуживание оборудования, использование защитной одежды и оборудования, а также соблюдение процедур в случае аварий и инцидентов.

Список использованной литературы

1. СТБ 2591-2021 «Техника сельскохозяйственная. Машины для внесения минеральных и органических удобрений. Требования к показателям назначения»
2. Об утверждении специфических санитарноэпидемиологических требований. Постановление Совета министров Республики Беларусь, 1 февраля 2020г. № 66. (Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 05.02.2020, 5/47755)
3. Об утверждении Правил по охране труда в сельском и рыбном хозяйствах [Электронный ресурс]: постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, 05 мая 2022 г., № 29/44.
4. Улахович, Н. В. Особенности мероприятий по охране труда при работе с удобрениями и агроулучшителями / Н. В. Улахович, В. Н. Босак // Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2021. – С. 99–100.
5. Швецкова, С. И. Требования охраны труда при применении удобрений и пестицидов в защищенном грунте / С. И. Швецкова, В. Н. Босак // Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства. – Горки, 2020. – С. 89–91.
6. Шеуджен А.Х. Технология применения агрохимических средств и техника безопасности при работе с ними / А.Х. Шеуджен, С.В. Кизинек, И.А. Лебедевский, Т.Н. Бондарева, М.А. Осипов. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2017. – 56 с.

Summary. Occupational safety is a key aspect when working with solid mineral fertilizers. Strict adherence to occupational safety rules and regulations, the use of personal protective equipment, personnel training, and regular monitoring and assessment of working conditions are key elements of a fertilizer safety system. All operations involving solid mineral fertilizers must be conducted in accordance with established safety procedures. This includes the proper use and maintenance of equipment, the use of protective clothing and gear, and adherence to procedures in the event of accidents and incidents.

Корчик С.А., старший преподаватель;

Рудович П.В., студент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ КАК ОДНА ИЗ ПРИЧИН ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА

Аннотация. В статье рассматривается роль психофизиологического состояния работников как одной из ключевых причин производственного травматизма. Описываются методы выявления негативных психоэмоциональных состояний у работников и подчёркивается важность комплексного подхода к оценке рисков.

Abstract. The article examines the role of workers' psychophysiological state as a key cause of occupational injuries. Methods for detecting negative psychoemotional states among workers are described, and the importance of a comprehensive risk assessment approach is emphasized.

Ключевые слова. Производственный травматизм, психофизиологическое состояние, утомление, стресс, монотония, оценка рисков, политика нулевого травматизма, СТБ ISO 45003-2023.

Keywords. Occupational injuries, psychophysiological state, fatigue, stress, monotony, risk assessment, zero-injury policy, STB ISO 45003-2023.

Охрана труда представляет собой комплекс мер, предназначенных для защиты жизни и здоровья работников во время исполнения ими трудовых обязанностей. Несмотря на высокий уровень развития технических средств защиты, производственный травматизм по-прежнему является серьезной проблемой. В условиях глобального технологического прогресса и автоматизации многих процессов роль человеческого фактора приобретает большую ценность. В Конституции Республики Беларусь провозглашено, что человек и его права являются высшей ценностью общества и государства. Основными принципами государственной политики в области охраны труда являются обеспечение приоритета жизни и здоровья работников по отношению к результатам трудовой деятельности.

Согласно последним оценкам, опубликованным Международной организацией труда (МОТ), профессиональные психосоциальные факторы риска связаны с примерно 840 088 смертями ежегодно во всем мире (783 964 от сердечно-сосудистых заболеваний – ишемическая болезнь сердца и инсульт – и 56 394 от психических расстройств).

По данным Всемирной Организации Здравоохранения в 2025 году свыше 360 000 человек получили производственные травмы, из них 1835 случаев было зафиксировано в Республике Беларусь.

Психосоциальные риски, связанные с работой, представляют собой серьёзную и растущую угрозу безопасности и здоровью работников, организационной продуктивности и более широкому экономическому развитию.

Психосоциальная рабочая среда – это совокупность факторов, связанных с организацией труда, его управлением, а также с общими правилами и процедурами, которые формируют рабочие отношения и влияют на здоровье сотрудников. Сюда входят как сами рабочие места, так и то, как люди взаимодействуют в процессе работы.

Психофизиологические факторы, ведущие к производственному травматизму, представляют собой совокупность физиологических и психологических состояний человека, которые снижают его способность выполнять профессиональные обязанности безопасно и повышают риск возникновения травмоопасных ситуаций из-за ошибок.

Среди наиболее распространённых состояний выделяют: утомление; стресс; монотония.

В рамках психологии труда состояние работника рассматривается как фундаментальный аспект его профессиональной компетентности, эффективности применяемых методов работы и качества межличностных взаимодействий. Наука анализирует, как работоспособность человека коррелирует с уровнем усталости и суточными биоритмами, и создает методики для оценки степени ее снижения. Типичные для большинства профессий факторы, вызывающие психологический дискомфорт и негативно сказывающиеся на персонале, включают чрезмерную рабочую нагрузку, конфликты в коллективе, дефицит поддержки, неопределенность задач и отсутствие контроля над рабочим процессом.

Психофизиологические аспекты представляют собой широко распространенную проблему, поскольку их диагностика требует значительных временных затрат. В отличие от очевидных дефектов оборудования, которые легко обнаружить при первичном осмотре, скрытые нарушения в состоянии организма человека зачастую остаются незамеченными.

Для выявления изменений в психоэмоциональном состоянии человека используются множество методов. Чаще всего это тесты (оценка когнитивных функций работника) по результатам которых можно выявить предрасположенность к негативным изменениям. Также используются такие методы как анкетирование, где работник сам оценивает своё состояние.

При проведении разного рода мероприятий по выявлению негативных отклонений необходимо делать уклон на ту сферу, в которой работник трудится, а также обратить внимание на условия труда. Обеспечение

конфиденциальности также является неотъемлемым звеном в определении влияния психофизиологических факторов, когда работник уверен, что данная информация не попадёт в руки коллеге и не станет объектом каких-либо разговоров, он будет откровеннее.

Рабочая среда представляет собой совокупность физических, биологических и химических факторов риска, а также параметров дизайна и состояния рабочих пространств, включающих планировочные решения, эргономические характеристики и гигиенические показатели. Ключевыми элементами являются также наличие, функциональная пригодность и техническое обслуживание инструментов, оборудования и иных ресурсов, необходимых для безопасного выполнения производственных операций. Эти компоненты находятся в тесной взаимосвязи с психосоциальными факторами, которые способны как усиливать, так и ослаблять воздействие на безопасность, здоровье персонала и эффективность работы организации.

Когда сотрудники сталкиваются с опасными заданиями, неисправным оборудованием, ограниченным пространством, недостаточным освещением или сильным шумом, они подвергаются не только прямой физической опасности, но и могут испытывать психологическое напряжение из-за угрозы вреда, что приводит к повышенному стрессу и ухудшению концентрации.

Психосоциальные риски воздействуют на здоровье работников через разные механизмы, при этом стресс является ключевым фактором, связывающим неблагоприятные психосоциальные условия труда с разнообразными физическими и психическими проблемами.

Создание безопасных и здоровых условий труда во всех их проявлениях требует включения психосоциальных факторов рабочего окружения в системы управления охраной труда (СУОТ). Интеграция психосоциальных элементов в СУОТ способствует развитию превентивной культуры безопасности и здоровья, при которой все потенциальные риски на рабочем месте рассматриваются комплексно и систематически. При этом психосоциальная среда на рабочем месте формируется также за счёт решений, принимаемых в рамках более широких систем организационного управления, таких как кадровая политика, операционное планирование, управление изменениями и проектирование рабочих процессов.

Эффективная профилактика безопасности труда достигается через интеграцию процессов управления охраной труда с общими организационными практиками, что позволяет учитывать психосоциальные риски как в сфере охраны труда, так и в повседневных управленческих решениях. Центральным элементом данного подхода

является активное участие работников, так как их опыт и понимание реальных условий труда позволяют принимать более обоснованные решения.

В 2023 году был введен документ СТБ ISO 45003-2023, который требует от нанимателя следить не только за техническими и физическими факторами опасности, влияющими на работника, но и за психосоциальным состоянием работника.

В рамках этой структуры психосоциальные риски должны быть интегрированы во все аспекты системы управления охраной труда. Это означает, что они должны быть учтены в политике, организационной структуре, при планировании и реализации мероприятий, а также при оценке и постоянном совершенствовании. Это обеспечивает рассмотрение психосоциальной рабочей среды как неотъемлемой части эффективного управления охраной труда, а не как отдельной или дополнительной задачи.

Оценка рисков занимает ключевое место в профилактике в системе управления охраной труда и безопасностью. Она предполагает выявление источников опасностей, анализ связанных рисков и определение приоритетов для принятия профилактических мер. В случае психосоциальных рисков такая оценка подразумевает рассмотрение организационных условий, в которых строится, планируется и регулируется рабочий процесс.

Анализ потенциальных угроз должен стимулировать разработку четких превентивных действий, направленных на усовершенствование этапов проектирования, управления процессами и последующего обслуживания. Это позволит минимизировать психосоциальные факторы риска непосредственно в местах их возникновения.

Сотрудничество между специалистами по охране труда, отделами кадров, руководством и работниками помогает гарантировать, что профилактические меры адаптированы к реальной рабочей деятельности и поддерживаются со временем.

Психосоциальный климат на рабочем месте играет ключевую роль в системе обеспечения безопасности труда. Создание благоприятной психосоциальной атмосферы способствует уменьшению количества несчастных случаев, улучшению производительности труда и поддержанию стабильного развития предприятий. В связи с этим включение психосоциальных аспектов в процесс управления профессиональными рисками становится важным условием повышения уровня охраны труда.

В Республике Беларусь последовательно реализуется стратегия «нулевого травматизма», что подразумевает комплексный подход к безопасности, охватывающий как физические параметры рабочей среды, так и эмоциональное благополучие каждого работника.

Список использованной литературы

1. The psychosocial working environment: Global developments and pathways for action: Global Report. – Geneva: International Labour Organization (ILO), 2026.

2. Ситько, А. Н. Психосоциальные факторы как детерминанты производственного травматизма / А. Н. Ситько // Охрана труда. Технологии безопасности. – 2026. – № 4.

3. СТБ ISO 45003-2023. Менеджмент здоровья и безопасности труда. Психологическое здоровье и безопасность на рабочем месте. Руководящие указания по управлению психосоциальными рисками.

Summary. Psychophysiological factors play a significant role in the occurrence of occupational injuries. Despite high technical reliability, injuries remain a pressing issue: in 2025, 1,835 cases were recorded in the Republic of Belarus. The main psychophysiological causes include fatigue, stress and monotony, which reduce work capacity and increase the likelihood of errors. Various methods are used to identify these conditions: cognitive function tests, questionnaires, etc. A comprehensive approach and confidentiality in diagnostics are essential. The regulatory framework (notably STB ISO 45003□2023) requires employers to consider not only technical but also psychosocial risks. Belarus' zero□injury policy aims to minimise all risk factors – from microclimate conditions to workers' emotional state. Effective injury prevention is impossible without taking psychophysiological aspects into account.

УДК 656.13.08 Р

Ткачева Л.Т., кандидат технических наук, доцент;

Бренч А.А., кандидат технических наук, доцент;

Миронов И.О., магистрант

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

СНИЖЕНИЕ РИСКА ДТП НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Республика Беларусь активно внедряет цифровые технологии в сферу обеспечения безопасности дорожного движения. По данным Министерства транспорта и коммуникаций, интеллектуальные транспортные системы (ИТС) рассматриваются как ключевой инструмент снижения аварийности, повышения эффективности управления дорожным движением и оптимизации транспортной инфраструктуры

Abstract. The Republic of Belarus is actively implementing digital technologies in road safety. According to the Ministry of Transport and Communications, intelligent transport systems (ITS) are considered a key tool for reducing accidents, improving traffic management efficiency, and optimizing transport infrastructure.

Ключевые слова. Искусственный интеллект, интеллектуальная транспортная система, безопасность, человеческий фактор, цифровые технологии

Keywords. Artificial intelligence, intelligent transport systems, safety, human factors, digital technologies.

Согласно исследованию Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно в результате дорожно-транспортных происшествий погибает около 1,3 миллиона человек. Более половины всех смертей в результате ДТП приходится на уязвимых участников дорожного движения: пешеходов, велосипедистов и мотоциклистов. Дорожно-транспортные травмы являются основной причиной смерти детей и молодых людей в возрасте от 5 до 29 лет.

В 2021 году для повышения безопасности дорожного движения во всем мире Генеральная Ассамблея ООН, провозгласила проект «Десятилетие действий по безопасности дорожного движения 2021-2030 годов». Целью этой программы было предотвращения к 2030 году не менее 50% смертей и травм в результате дорожно-транспортных происшествий. Международный союз электросвязи (МСЭ) активно выступил за использование искусственного интеллекта (ИИ) для повышения безопасности дорожного движения и стал продвигать инициативу «ИИ для безопасности дорожного движения» на основе шести основных принципов: управление безопасностью дорожного движения, более безопасные дороги и мобильность, более безопасные транспортные средства, более безопасные участники дорожного движения, реагирование после аварии и контроль скорости. МСЭ призвал все государства-члены, отрасли промышленности, отдельных лиц и заинтересованные стороны к сотрудничеству в разработке и внедрении инновационных решений для повышения безопасности дорожного движения.

В тоже время строительство новых жилых районов, увеличение числа автомобилей (4 миллиона 509 тысяч транспортных средств), а также расширение дорожной сети и систем общественного транспорта требуют скоординированного и эффективного подхода к организации дорожного движения. Одним из ключевых методов решения этой проблемы является внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС), предназначенных для автоматизированного поиска и реализации наиболее эффективных сценариев управления транспортной инфраструктурой. ИТС представляют собой комплекс взаимосвязанных технологий, направленных на повышение эффективности и безопасности транспортной системы. Они включают в себя такие элементы, как системы управления дорожным движением, информационные системы для водителей, системы мониторинга и контроля, а также технологии связи между транспортными средствами и инфраструктурой.

Технологии ИТС предлагают широкий спектр инструментов для повышения безопасности дорожной инфраструктуры, в их числе следует отметить системы адаптивного управления дорожным движением, системы мониторинга интенсивности и состава транспортного потока и технологии связи V2X.

Системы адаптивного управления дорожным движением позволяют динамически регулировать режим работы светофоров, скорость движения и доступ к определенным полосам в зависимости от текущей дорожной ситуации. Анализ данных о плотности потока, скорости движения и погодных условиях позволяет оптимизировать трафик, уменьшить заторы и снизить вероятность ДТП.

Информационные системы для водителей включают предоставление актуальной и достоверной информации о дорожной обстановке – ключевой фактор повышения безопасности. Информационные табло, навигационные системы и мобильные приложения могут предупреждать водителей о заторах, авариях, ремонтных работах и погодных условиях, позволяя им выбирать оптимальные маршруты и принимать обоснованные решения.

Системы мониторинга интенсивности и состава транспортного потока включают видеонаблюдение, детекторы транспорта и другие сенсорные системы позволяют в режиме реального времени отслеживать состояние дорожной инфраструктуры и поведение участников движения. Это дает возможность оперативно реагировать на аварии и другие инциденты, а также выявлять потенциально опасные участки дороги.

Технологии связи V2X (Vehicle-to-Everything) обеспечивают обмен информацией между транспортными средствами, инфраструктурой и другими участниками дорожного движения. Это открывает новые возможности для предупреждения водителей об опасностях, предотвращения столкновений и оптимизации движения. Например, система может предупредить водителя о приближающемся автомобиле на перекрестке с плохой видимостью или о пешеходе, находящемся в слепой зоне.

Внедрение элементов интеллектуальных транспортных систем началось в ряде стран еще в 1960–1970-х гг. На сегодняшний день лидерами в этой области считаются Южная Корея, Япония, Сингапур и США. Значительные успехи в развитии ИТС показывают также Китай, Великобритания, Франция, Финляндия и Германия.

Исследования, проведенные в Великобритании в 2000–2002 гг., показали, что в населенных пунктах с установленными камерами фиксации нарушений число погибших или серьезно пострадавших в ДТП уменьшилось на 31–67%. В других странах, таких как Швейцария и Германия, внедрение систем информации и контроля также привело к значительному снижению числа ДТП с травмами и материальным ущербом. Таким образом, ИТС не только оптимизируют управление транспортным потоком и повышают эффективность дорожного движения, но и значительно способствуют улучшению безопасности на дорогах, что делает их важным инструментом для современного городского планирования и управления транспортной инфраструктурой.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 724 в 2022 году утверждена концепция создания ИТС в Беларуси, координацию которой осуществляет Минтранс с МВД и местными распорядительными и исполнительными органами. Главными целями концепции являются создание благоприятных условий для более активного и равномерного внедрения ИТС в стране. Постановлением Правительства также введено понятие «национальная сеть ИТС» и определена такая организация, как Центр мониторинга дорожного движения (ЦМДД). Стоит подчеркнуть, что интеллектуальные транспортные системы (ИТС) в Республике Беларусь внедрялись постепенно с развитием и усложнением всей дорожно-транспортной инфраструктуры нашей страны. Еще с начала 2000-х на дорогах появлялись различные системы автоматизации, которые позволяли заменить ручной труд по сбору, обработке, анализу и распространению информации о текущей и планируемой ситуации на дорогах, автоматизировать взаимодействие дорожных и специальных служб при управлении дорожным движением, обслуживании дорожной инфраструктуры и прочее.

Внедрение ИТС соответствует общей тенденции цифровизации и цифровой трансформации экономики нашей страны. При построении интеллектуальных систем широко используется искусственный интеллект. Среди основных задач, которые выполняют интеллектуальные транспортные системы на автодорогах и улицах населенных пунктов, – мониторинг дорожного движения и его организация, информирование участников дорожного движения и других заинтересованных лиц, мониторинг транспорта общего пользования, грузового автотранспорта, организация электронной оплаты услуг в транспортной деятельности, управление работами по ликвидации чрезвычайных ситуаций и их последствий, контроль за соблюдением законодательства в области транспортной деятельности, включая фиксацию нарушений.

Это, например, система метеомониторинга, предназначенная для сбора сведений о метеоусловиях на автодорогах. Ее активно задействуют дорожные службы при формировании маршрутов движения спецтехники во время уборки снега, а также обработки дорожного покрытия противогололедными смесями. Данные системы метеомониторинга напрямую передаются на информационные табло, установленные вдоль республиканских дорог и оповещающие водителей об ухудшении погодных условий: гололеде, сильном ветре. Система видеонаблюдения государственного дорожного хозяйства предназначена для оперативного визуального мониторинга дорожной и погодной ситуации на дорогах. К ИТС относятся и система электронного сбора платы за проезд BelToll, единая система фотофиксации нарушений скоростного режима, система против заторов и другие.

В тоже время интеграция интеллектуальных транспортных систем играет ключевую роль в улучшении безопасности дорожного движения. Различные компоненты ИТС, такие как камеры фотовидеофиксации правонарушений, системы контроля скорости, умные светофоры, и системы управления транспортными потоками, способствуют повышению дисциплины участников движения и снижению аварийности на дорогах.

Основными показателями эффективности безопасности дорожного движения, используемыми при оценке влияния ИТС, являются количество дорожно-транспортных происшествий и число раненных и погибших в этих происшествиях. Исследования, проведенные в различных странах, подтверждают значительное снижение аварийности и тяжести последствий ДТП благодаря использованию ИТС.

Внедрение технологий искусственного интеллекта на дорогах Беларуси направлено на повышение безопасности, снижение смертности и автоматизацию контроля. Основные направления включают интеллектуальные системы видеонаблюдения, анализ поведения водителей и автоматизацию фиксации правонарушений.

Основными способами повышения безопасности с помощью ИИ в Республике Беларусь являются:

- *Автоматическая фиксация сложных правонарушений*: ИИ-камеры способны распознавать не только превышение скорости, но и такие нарушения, как непристегнутый ремень безопасности, разговор по телефону за рулем, отсутствие пройденного техосмотра. Такие системы уже применяются, например, на трассе Р-53, где на табло выводится информация о нарушениях в реальном времени. Умные камеры интегрированы в Республиканскую систему мониторинга общественной безопасности. Они сканируют поток машин в реальном времени, выявляя автомобили, принадлежащие лицам, лишенным водительских прав. При этом ИИ не только считывает номерной знак, но и позволяет сопоставить фото водителя за рулем с базой данных, чтобы определить, управляет ли машиной собственник или другой человек или чтобы выявить нарушителей, включая водителей, лишенных права управления.

- *Интеллектуальный контроль перекрестков*: В Минске применяются системы, которые автоматически фиксируют проезд на запрещающий сигнал светофора. Программа анализирует видео, распознает момент пересечения стоп-линии и автоматически формирует доказательную базу (фото и видео).

- *Предупреждение ДТП с животными (одна из наиболее заметных разработок белорусских специалистов)*: ИИ используется в камерах видеонаблюдения для распознавания силуэтов диких животных у дороги (лоси, кабаны, косули). Сигнал передается на электронное дорожное

табло, и система оповещает водителей о возможной опасности заранее (за 250 метров) с помощью предупреждающих баннеров.

– *Управление дорожным движением (Умный город)*: Внедряются интеллектуальные транспортные системы (ИТС) для анализа плотности потока, оптимизации работы светофоров, что уменьшает заторы и, как следствие, снижает аварийность.

– *Анализ состояния дорожного покрытия*: Используются датчики и ИИ для контроля осевой нагрузки грузовиков, предотвращая разрушение асфальта. В Беларуси также активно разрабатывается правовая база для использования ИИ (включая законопроекты о беспилотном транспорте), что способствует внедрению более продвинутых систем безопасности. [1]

Сегодня Республика Беларусь активно внедряет цифровые технологии в сферу безопасности дорожного движения, что помогает снизить количество ДТП на дорогах. За последнее двадцатилетие Беларусь демонстрирует устойчивое снижение показателей аварийности: количество ДТП сократилось более чем на 57% (с 7,7 тыс. в 2005 г. до 3,262 тыс. в 2025 г.).

Список использованных источников

1. Полежаев М.Н., Финогеев А.А. Предиктивный анализ показателей критических событий с помощью рекуррентной нейронной сети с трансформером // Современные наукоемкие технологии. – 2024. – № 4. – С. 63–68. DOI: 10.17513/snt.39974

2. Интеллектуальные транспортные системы: создание, развитие, функционирование. *Источник: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2022/october/71953/> – Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2022/october/71953/>*

3. Новикова И.И., Павлов Я.П. Мировые тенденции в развитии интеллектуальных транспортных систем // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2023. – № 9(103). – С. 152–155. DOI: 10.24412/2411-0450-2023-9-152-155

4. Даже там, где их нет: камеры на базе ИИ сводят к минимуму количество аварий :<https://science.mail.ru/news/2420-dazhe-tam-gde-ih-net-kamery-na-baze-ii-svodyat-k-minimumu-kolichestvo-avarij/>.

5. Official Report 2025: Global Trends in AI Safety for Automotive Industry // International Organization for Standardization (ISO). – URL: [iso.org](https://www.iso.org) (дата обращения: 04.05.2026).

6. СБ. Беларусь сегодня. ИИ выходит на дороги. 10 декабря 2024. *Ссылка: <https://www.sb.by/articles/ii-vykhodit-na-dorogi.html>*

Summary. Innovative approaches to road infrastructure safety based on ITS technologies are the foundation for reducing road accidents and fatalities. These approaches, complementing and reinforcing each other, open up new prospects for creating a safe and efficient transportation system.

Молош Т.В., кандидат технических наук, доцент;
Корчик С.А., старший преподаватель; **Сапего Я.Д.**, студент
*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет» г. Минск, Республика Беларусь*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА МОЛОЧНО-ТОВАРНЫХ ФЕРМАХ

Аннотация. Приводится анализ причин аварий и несчастных случаев при эксплуатации оборудования для охлаждения молока. Рассматриваются мероприятия по обеспечению безопасности труда при эксплуатации холодильного оборудования на молочно товарных фермах.

Abstract. This article analyzes the causes of accidents and incidents during the operation of milk cooling equipment. It also examines safety measures for refrigeration equipment on dairy farms.

Ключевые слова. охлаждение молока, оборудование, холодильный агент, травматизм, охрана труда, безопасность, мероприятия.

Keywords. milk cooling, equipment, refrigerant, injuries, occupational health and safety, safety measures

Холодильные системы незаменимы в промышленности и агросекторе, особенно для охлаждения молока на фермах. Они отвечают за сохранность продукции и поддержание нужного температурного режима. При этом эксплуатация таких установок сопряжена с рисками для здоровья персонала. Чтобы избежать аварий и травм, а также гарантировать стабильную работу предприятия, необходимо строго соблюдать правила охраны труда.

Холодильные системы представляют собой сложные инженерные конструкции, включающие компрессоры, конденсаторы, испарители и трубопроводы с хладагентом. Используемые вещества обладают специфическими физико-химическими свойствами. В сельскохозяйственном производстве республики эксплуатируется значительное количество молокоохладительных установок, для заправки которых используются традиционные хладагенты: хлорфторуглероды (ГХФУ) и гидрофторуглероды (ГФУ). Эти хладагенты отличаются высоким парниковым воздействием. С целью ограничения выбросов парниковых газов в последнее время появился новый тип хладагентов, называемых гидрофторолефинами (ГФО), которые могут использоваться в сельском хозяйстве.

Следует избегать прямого контакта с жидким хладагентом. Температура испарения достаточно низкая, хладагент может повредить

кожу, глаза и дыхательные пути. Опасность для человека (помимо горючести) представляет и то, что хладагенты, несмотря на малую токсичность, непригодны для дыхания и являются асфиксантами – веществами, способствующими вытеснению кислорода из воздуха и вызывающими его нехватку для дыхания. При этом они в четыре раза тяжелее воздуха, бесцветны и не имеют запаха.

Повышение уровня охраны труда при эксплуатации холодильных установок достигается путем изучения причин производственного травматизма и оценки условий труда персонала. В рамках этого анализа рассматриваются потенциальные аварии, включая:

Риск гидравлического удара в компрессоре: Связан с попаданием жидкого хладагента во всасывающую полость, что может быть вызвано переполнением емкостей и теплообменников, а также резким снижением давления на всасывании.

Опасность чрезмерного давления в системе: Возникает при подсосе воздуха на стороне низкого давления или при неисправности запорной арматуры и вентилей.

Нарушение смазки: Недостаточное или полное отсутствие смазки движущихся частей.

Сбой в системе контроля и управления: Неисправности контрольно-измерительных приборов и автоматики.

Взрывоопасные ситуации: Возможность взрыва газовой смеси при проведении огневых работ из-за утечек хладагента через неплотные соединения.

Каждая холодильная установка подлежит документированию в журнале эксплуатации. Данный журнал должен содержать записи о рабочих показателях, выполненных операциях по устранению неисправностей, а также результатах проверок контрольно-измерительного и автоматического оборудования. Допуск холодильных установок к эксплуатации осуществляется только при наличии поверенных государственным поверителем манометров и мановакуумметров.

В машинном отделении на видном месте следует вывесить схему холодильной установки.

К обслуживанию холодильных установок допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование и имеющие свидетельство об окончании специального учебного заведения или курсов по эксплуатации холодильных установок (для машинистов); по автоматизации холодильных установок (для слесарей по КИП и автоматике).

Периодическую проверку знаний персонала по обслуживанию холодильной установки, охране труда, инструкций по эксплуатации оборудования и практическим действиям по оказанию доврачебной

помощи необходимо проводить не реже одного раза в 12 месяцев комиссией, состоящей из специалистов по холодильной технике, электротехнике, приборам автоматики и технике безопасности.

Состав комиссии утверждается распоряжением по предприятию. Члены комиссии заносят результаты проверки в специальный журнал, где указывают дату проверки и оценку знаний каждого проверяемого, и подписывают.

Работающие должны использовать средства индивидуальной защиты: одежда (теплоизоляционные костюмы для работы при низких температурах); защитные очки, перчатки и обувь.

Для обеспечения защиты работающих от последствий возможных разрушений элементов оборудования и трубопроводов холодильных установок следует предусматривать приборы противоаварийной автоматической защиты; предохранительные устройства; своевременное освидетельствование аппаратов (сосудов) и трубопроводов. Для предотвращения несчастных случаев необходимо обеспечить эффективную работу вентиляции для предотвращения скопления опасных газов.

При подготовке холодильной установки к автоматизации следует учитывать требования действующих основных технических нормативных правовых актов и правил техники безопасности на холодильных установках (с учетом вида хладагента) рекомендаций по повышению безопасности эксплуатации холодильных установок, а также по их проектированию и правил устройства электроустановок.

В машинных отделениях, где функционируют холодильные установки, персонал должен иметь свободный доступ к локальным нормативным правовым актам, определяющим безопасные методы эксплуатации и алгоритмы действий при авариях. Планирование работ по эксплуатации холодильных установок должно включать в себя разработку и поддержание в готовности путей безопасной эвакуации персонала в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

Снаружи у входной двери машинного отделения должен быть установлен звонок для вызова работающих, обслуживающих холодильные установки; вывешены предупредительные надписи и знаки безопасности.

Соблюдение нормативных правовых актов является основой для безопасного обслуживания холодильных установок. Разработка производственных инструкций по охране труда, учитывающих специфику и условия эксплуатации оборудования для охлаждения молока, существенно повышает уровень безопасности на сельскохозяйственных предприятиях.

Обеспечение безопасности при работе с молочным холодильным оборудованием на молочно-товарных фермах – это комплексная задача, требующая всестороннего подхода. Правильная организация охраны труда

не только предотвращает травматизм и заботится о здоровье персонала, но и способствует повышению эффективности и надежности производственных процессов, а также созданию благоприятных условий труда.

Список использованной литературы

1. Кольга, Д. Ф. Техническое обеспечение процессов в животноводстве: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства» / Д. Ф. Кольга [и др.] – Минск: ИВЦ Минфина, 2012. – 576 с.
2. Озонобезопасные технологии в холодильной промышленности. Гидрофторолефины. [Электронный ресурс]. URL: <http://hvaccenter.ru/gidroftorolefiny> (дата обращения 23.04.2026).
3. Об утверждении Правил по охране труда в сельском и рыбном хозяйствах [Электронный ресурс]: постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, 05 мая 2022 г., № 29/44.
4. О свойствах экологически безопасных хладагентов. Ярутич, В. В., Г. В. Бабанюк, Г. В. Перспективная техника и технологии в АПК : материалы Международной научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов (Минск, 25–26 марта 2021 года) / редкол.: В. П. Чеботарев [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2021. – С. 386–388.
5. Босак, В. Н. Требования охраны труда в различных отраслях АПК / В. Н. Босак, А. Е. Кондраль, Т. В. Сачивко // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – 2021. – Вып. 6. – С. 9–12.

Summary. Compliance with regulatory acts is the foundation for the safe maintenance of refrigeration units. Developing workplace safety instructions that account for the specific operating conditions of milk cooling equipment significantly enhances safety levels at agricultural enterprises. Ensuring safety when working with dairy refrigeration systems on dairy farms is a complex task that requires a comprehensive approach. Proper occupational health and safety management not only prevents injuries and protects personnel health but also improves the efficiency and reliability of production processes while creating a favorable working environment.

УДК 614.838

Корчик С.А., старший преподаватель;

Катушёнок И.А., студент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ТЕХНОЛОГИЯ HRD КАК СТАНДАРТ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация: В статье рассматриваются принципы функционирования систем подавления взрыва с высокой скоростью разряда (High Rate Discharge – HRD).

Проанализированы особенности применения данных систем на промышленных предприятиях Республики Беларусь, а также их роль в обеспечении промышленной безопасности.

Abstract: The article discusses the purpose, design, and operating principle of the HRD explosion suppression system. The features of its application at industrial enterprises of the Republic of Belarus and its role in ensuring industrial safety are analyzed.

Ключевые слова: противовзрывная защита, HRD, промышленная безопасность, взрывоподавление, пылевоздушные смеси.

Keywords: explosion protection, HRD, industrial safety, explosion suppression, dust-air mixtures.

Современные производственные циклы характеризуются высокой концентрацией мелкодисперсных горючих материалов (мука, сахар, древесная пыль, уголь, металлические порошки). При определенных условиях (концентрация, наличие источника зажигания, замкнутый объем) эти субстанции образуют взрывоопасную среду. Скорость нарастания давления при дефлаграционном взрыве может достигать сотен бар в секунду. В таких условиях традиционные методы локализации (отсечные клапаны, вышибные панели) часто оказываются недостаточно эффективными или неприменимыми по экологическим и планировочным соображениям.

Одним из наиболее эффективных средств защиты является система подавления взрыва HRD, предназначенная для быстрого обнаружения и локализации начальной стадии взрывного процесса.

Система HRD относится к активным средствам противовзрывной защиты. Ее основная задача – предотвращение развития взрыва на начальной стадии. Система не выпускает огонь наружу, а ликвидирует его внутри оборудования, что делает ее незаменимой для помещений где невозможно организовать безопасный сброс давления. Устройство HRD в контексте систем подавления взрыва, таких как системы активной защиты и противопожарные системы, предназначено для быстрого и надежного срабатывания механизмов, которые помогают предотвратить или минимизировать последствия взрывов.

Система HRD служит для инициирования работы различных противопожарных и взрывозащитных систем, включая автоматические системы пожаротушения (например, спринклерные установки), порошковые системы и иные средства, направленные на локализацию и ликвидацию возгораний и взрывов.

Применение HRD-технологий в составе систем безопасности обеспечивает действенное купирование поражающих факторов взрыва, включая термическое воздействие, кинетическую энергию ударной волны и механическое поражение осколками. Современные контроллеры HRD, такие как серия CONEX, поддерживают интеграцию системы защиты в корпоративную сеть предприятия посредством протоколов Modbus или

Profinet. Данная интеграция предоставляет следующие функциональные возможности: непрерывный мониторинг давления в баллонах; дистанционную диагностику состояния цепей активации; мгновенную остановку смежных участков технологической линии при срабатывании системы, что способствует локализации аварии.

Высокая скорость срабатывания системы при детектировании критических условий является основополагающим элементом для предотвращения развития аварийных процессов.

Для своевременного предотвращения взрывов, система мониторинга активно отслеживает условия, предшествующие этому событию. При обнаружении критических изменений, таких как аномальное повышение давления или температуры, генерируется предупреждающий сигнал. Это обеспечивается работой специализированных датчиков, фиксирующих отклонения от нормальных рабочих параметров. В системе присутствуют как статические, так и динамические детекторы давления.

Инновационный алгоритм "двойного порога" позволяет надежно отличать временные технологические колебания давления от начальных стадий взрывного процесса. Скорость реакции детекторов составляет менее 1 миллисекунды, гарантируя максимальную оперативность.

Гидравлический привод является ключевым элементом в активации системы подавления HRD. При фиксации превышения установленных пороговых значений давления или температуры, система инициирует процесс создания гидравлического давления. Это давление затем передается на исполнительные компоненты, например, клапаны или форсунки, вызывая их открытие и последующее распыление огнетушащих составов или запуск других мероприятий по локализации взрыва. Для обеспечения оперативного контроля и верификации срабатывания, в ряде систем предусмотрена функция обратной связи.

Основные функции устройства:

- мгновенное обнаружение повышения давления;
- автоматическое срабатывание;
- распыление огнетушащего состава;
- локализация фронта взрывной волны.

Принцип работы заключается в следующем:

1. Датчики фиксируют резкий рост давления в оборудовании.
2. Система управления передает сигнал на пусковой механизм.
3. Контейнер HRD выбрасывает огнетушащий порошок.
4. Взрыв подавляется до распространения.

Время реакции системы составляет несколько миллисекунд, что обеспечивает высокую эффективность защиты

В качестве подавляющего состава чаще всего используется порошковый реагент или инертный газ.

Системы HRD получили широкое распространение на предприятиях с повышенной взрывоопасностью в Республике Беларусь в следующих отраслях:

1. Агропромышленный комплекс
 - зернохранилища;
 - элеваторы;
 - комбикормовые заводы.
2. Деревообрабатывающая промышленность
 - аспирационные системы;
 - пылеулавливающие установки;
 - сушильные комплексы.
3. Химическая промышленность
 - реакторы;
 - фильтры;
 - транспортные линии.
4. Пищевая промышленность
 - мукомольные предприятия;
 - сахарные заводы;
 - производство крахмала.
 - производство молока

HRD-системы представляют собой новый этап в обеспечении безопасности, переходя от реактивных мер к проактивному управлению рисками. Несмотря на более высокие первоначальные затраты по сравнению с разрывными мембранами, инвестиции в HRD оправдываются за счет минимизации простоев и обеспечения максимальной защиты персонала.

Основные преимущества включают: высокую скорость срабатывания, автоматизированную работу, предотвращение повреждений оборудования, снижение экономических потерь и гарантию безопасности людей.

Противовзрывные устройства HRD являются эффективным средством активной защиты промышленных объектов от взрывов. Их применение в Республике Беларусь способствует повышению уровня промышленной безопасности, снижению аварийности и защите производственного оборудования. В перспективе ожидается расширение использования данных систем, обусловленное модернизацией предприятий и ужесточением требований безопасности.

Список использованной литературы

1. ТР ТС 012/2011 - О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах;
2. ТР ТС 032/2013 - О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением.

3. Об обеспечении пожарной безопасности. Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь № 82 от 21.12.2021 г. (в ред. постановления МЧС от 12.12.2025 № 61)

4. Райхель В. Противовзрывная защита промышленных установок. – М.: Техносфера, 2018.

5. NFPA 69: Standard on Explosion Prevention Systems. 2024 Edition.

Summary: This article examines the HRD device—an active explosion suppression system used to protect industrial equipment from dust and gas explosions. The paper describes the system's purpose, design, and operating principle, based on ultra-fast detection of the initial stage of an explosion and the immediate release of a suppressant into the protected space. Particular attention is given to the specific application of HRD systems at explosive facilities, such as dryers, filters, silos, and aspiration systems. It is demonstrated that the use of these devices enables early explosion containment, prevents equipment destruction, reduces the risk of personnel injury, and ensures compliance with industrial safety requirements.

УДК 534.322.3

Гаркуша А.В., старший преподаватель;

Мисун Л.В., доктор технических наук, профессор;

Мисун Ал-й. Л., кандидат технических наук, доцент

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСЛОЙНЫХ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ КАПОТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ШУМА МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы снижения акустической нагрузки на рабочих местах операторов мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ) путем совершенствования конструкций звукоизолирующих капотов (ЗИК) двигателей внутреннего сгорания.

Abstract. The article examines the issues of reducing the acoustic load at the workplaces of mobile agricultural machinery (MAM) operators by improving the designs of sound-insulating hoods (SIH) of internal combustion engines.

Ключевые слова. шум, мобильная сельскохозяйственная техника, звукоизолирующий капот, звукоизоляция, шумозащита, двигатели внутреннего сгорания

Keywords. noise, mobile agricultural machinery, sound-insulating hood, sound insulation, noise protection, internal combustion engines

Звукоизоляция капота является критически важным аспектом снижения уровня шума в кабинах современной МСХТ), где мощные двигатели внутреннего сгорания(ДВС) являются основным источником акустических нагрузок.

Методика исследования звукоизолирующих капотов сельхозмашин включает лабораторные и полевые испытания, регламентированные стандартами [2, 3], охватывая замеры базового шума двигателя, оценку звукоизоляции конструкции (методы интенсивметрического шума) и акустический анализ вентиляционных проемов. Процесс также включает виброакустические тесты с определением резонансных частот и финальные замеры шума на рабочем месте оператора для составления акустического паспорта.

Принцип создания воздушного промежутка между источником шума и звукоизолирующим капотом широко исследуется как отечественными, так и зарубежными специалистами в области снижения шума. Вопросы влияния геометрических параметров подкапотного пространства на эффективность экранирования детально рассматривались в работах Лагуткина С. В. и Смирнова С. Н.[3, 4]. Зарубежный опыт, представленный исследованиями Р. Гардонио и М. Д. Джокер [9], подтверждает, что эффективность звукоизолирующих капотов (ЗИК) определяется не только массой преграды, но и минимизацией акустических мостиков в местах крепления. Успешное применение ЗИК ограничено не только сельскохозяйственными машинами, но и другим оборудованием, включая стационарные силовые установки, находящиеся как внутри помещений, так и в условиях открытого пространства.

Капот является универсальным и эффективным средством, поэтому целесообразно капоты применить на наиболее шумных силовых установках – ДВС. При разработке конструкций капотов на ДВС необходимо учитывать ряд противоречивых требований:

- обеспечение нормального воздуха и теплообмена;
- простоту конструкции и надежность в эксплуатации;
- обеспечение минимальной массы и требуемого шумопоглощения.

Все многообразие конструкций звукоизолирующих капотов, которые устанавливаются на сельскохозяйственных, путевых и дорожно-строительных машинах, можно свести к пяти основным типам. Исследования капотов различных конструкций с акустической облицовкой стен, а также без облицовки показали, что и необлицованных капотов, полузакрытых с глушителями, полностью закрытых и полузакрытых с экранами примерно одинаковая эффективность: 5-13 дБ в частотном диапазоне 250-8000 Гц, а у капотов открытых и полузакрытых - 3-5 дБ [1, 10]. Так, звукопоглощающая облицовка увеличивает эффективность у капотов на частотах, больших 123 Гц. Эффективность капотов полузакрытых практически такая же на частотах до 1 кГц и увеличивается на 3-7 дБ на частотах, больших 1 кГц. У капотов полузакрытых с глушителями и полузакрытых с экранами, введением облицовки

увеличивается эффективность в снижении шума на 10-15 дБ на низких частотах и 15-25 дБ на средних и высоких частотах.

Капот полностью закрыт, прост по конструктивному исполнению. В то же время, при наличии облицовки, эффективен – 6-22 дБ в частотном диапазоне 250 Гц и 25-40 дБ в диапазоне 5-8 кГц. Однако максимальная эффективность (достигаемая при проверке на стендах) на реальных машинах, как правило, не реализуется [1].

При облицовке площадью всего 15% дополнительно снижение шума составляет 5 - 10 дБ в широком диапазоне частот (до 18 кГц). Увеличение площади облицовки до 50% дает дополнительный эффект на 4-6 дБ, а до 100% обеспечивает снижение шума на 7 - 13 дБ главным образом на высоких частотах (2 - 8 кГц). Следовательно, не всегда целесообразно полностью облицовывать капот звукопоглощающим материалом. Увеличение толщины шумопоглощающей облицовки (от 10 до 30 мм) незначительно увеличивает эффективность. Из применяемых для облицовки капотов материалов наиболее эффективной является облицовка пенополиуретаном.

Наличие на стенках капотов вентиляционных окон сильно снижает эффективность шумоизоляции. Даже если площадь проема составляет 6% капот становится малоэффективным. Эффективность капота со щелью, площадь которого равна площади проема на высоких частотах на 3-6 дБ выше [10].

Наименьшее снижение эффективности обеспечивают капоты, в которых вентиляционные проемы заменены отверстиями.

Конфигурация вентиляционных окон в зависимости от требований шумопоглощения должна выбираться следующим образом: при требуемой эффективности капота до 5 дБА окна можно выполнять в виде проемов; при 5-10 дБА - в виде щелей, а при требуемой эффективности, свыше 10 дБА - в виде отверстий. Если для нормального теплообмена силовой установки нужны окна, (проемы, щели) площадью более 5%, то их надо обязательно защищать акустическими экранами. Рекомендуемая площадь облицовки капота 75% площади его внутренних ограждений, толщина стенок – 1 - 2 мм [5].

На некоторых путевых машинах на ДВС установлены капоты без звукопоглощающей облицовки. Боковые стенки их глухие, но внизу оставлен проем. Эффективность таких капотов составляет 5-10 дБ.

В работах немецких исследователей обоснована концепция многослойного капсулирования ДВС. Особенностью немецкой школы проектирования ЗИК является использование композитных сэндвич-панелей с вязкоупругими прослойками. Такой подход позволяет не только минимизировать воздушный шум, но и эффективно демпфировать

структурные вибрации тонкостенных элементов капота. При этом критическое внимание уделяется термодинамической устойчивости изоляционных материалов в условиях высокотемпературных зон подкапотного пространства (согласно стандартам DIN и FMVSS) [12,13].

Некоторые путевые машины оснащаются капотами [1], стенки которых состоят из нескольких слоев общей толщиной 40-80 мм: сталь (жесть) 1-1,5 мм, демпфирующий материал 3-4 мм, слой звукопоглощения, защищенный перфорированным листом. Капоты, устанавливаемые на силовые установки строительно-дорожных машин, многослойные. Чаще всего трехслойные: металлический лист толщиной 1,5-2,5 мм, звукопоглощающий материал 20-50 мм, перфорированный лист - 0,8-1,2 мм. Вентиляционные отверстия в капоте для прохода воздуха закрываются экранами.

Японский подход к снижению шума МСХТ [10, 11] характеризуется переходом к точечному экранированию высоконагруженных зон. Применение методов акустической визуализации позволяет оптимизировать массу ЗИК, размещая звукопоглощающие элементы только в зонах максимальной интенсивности излучения. Особый интерес представляют разработки в области микроперфорированных панелей и систем активного шумоподавления (ANC), которые позволяют компенсировать низкочастотные гармоники двигателя, трудноподающиеся пассивной изоляцией в условиях ограниченного объема моторного отсека. На основе методов акустической интенсивности японскими исследователями достигается снижение уровня звукового давления на 15–22 дБА при использовании систем полного капсулирования. Особое внимание уделяется высокочастотной составляющей (свыше 1 кГц), где эффективность конструкций достигает 25–35 дБ благодаря внедрению микроперфорированных резонансных панелей [10, 11].

Несмотря на высокую эффективность зарубежных решений, их прямое внедрение на отечественной МСХТ часто затруднено из-за специфических условий эксплуатации и высокой стоимости специализированных композитов. Это обуславливает необходимость разработки адаптивных конструкций ЗИК, сочетающих доступность материалов (таких как ППУ) с современными геометрическими методами подавления звуковой энергии, например, через внедрение лабиринтных вентиляционных трактов.

Список использованной литературы

1. Иванов, Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник/ Н.И. Иванов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Логос, 2015. – 432 с.
2. ГОСТ ISO 3744-2013. Акустика. Определение уровней звуковой мощности... – Введ. 01.03.2014. – Минск : Госстандарт : БелГИСС, 2014.ГОСТ

12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 10 с.

3. Лагуткин, С. В. Исследование и разработка методов снижения внешнего шума тракторов : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / Лагуткин Сергей Викторович. – Москва, 1986. – 215 с.

4. Смирнов, С. Н. Снижение внешнего шума двигателей внутреннего сгорания путем совершенствования средств экранирования : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / Смирнов Сергей Николаевич ; [Место защиты: Центр. науч.-исслед. автомобил. и автомотор. ин-т]. – Москва, 1993. – 20 с.

5. Шум и вибрация на железнодорожном транспорте : учебник для вузов ж.-д. транспорта / [Н. И. Иванов и др.] ; под ред. Н. И. Иванова. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2011. – 453 с.

6. Техническое решение для снижения уровня воздействия источников шума на акустические характеристики кабины трактора в послегарантийный период эксплуатации/ А.Л. Мисун, А.В. Гаркуша, А.П. Рудковская [и др.]// Обеспечение безопасной жизнедеятельности на современном этапе развития общества: материалы республ. науч.- практ. конф. г. Горки, 21-22 апр. 2022г./ Белорус. гос. с.-х. акад.; редкол.: В.Н. Босак (гл. ред.) [и др.]. – Горки, 2022.- С. 92-94.

7. Физиологические и медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности: пособие/ Ал-й Л. Мисун, Л.В. Мисун, Ал-р Л. Мисун [и др.]. – Минск: Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2024. – 312 с.

8. Crocker M. J. Handbook of Noise and Vibration Control. – John Wiley & Sons, 2007. – 1584 p.

9. Beranek, L. L. Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications / L. L. Beranek, I. L. Vér. – New York : John Wiley & Sons, 2006. – 976 p.

10. Adachi, S. (Адачи, С.) Engine Enclosure for Small-sized Diesel Engines [Капсулирование двигателей для малогабаритных дизельных двигателей] / S. Adachi // Yanmar Technical Review. – 1990. – № 4. – С. 45–52.

11. Kadowaki, H. Active Noise Control in Agricultural Machinery / H. Kadowaki // JSME International Journal. Series C, Dynamics, Control, Robotics, Design and Manufacturing. – 1999. – Vol. 42, No. 2. – P. 440–446.

12. DIN 75201. Bestimmung des Foggingverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeuginnenausstattung [Определение характеристик запотевания/испарения материалов интерьера и моторного отсека автомобилей]. – Berlin : Beuth Verlag, 2011. – 14 s.

13. FMVSS 302. Flammability of Interior Materials [Воспламеняемость материалов интерьера и моторного отсека]. – Washington : National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2021.

Summary. This article focuses on reducing noise in agricultural machinery cabins by optimizing the design of sound-insulating hoods. The use of sandwich panels and efficient cladding reduces noise by 5–10 dB, improving working conditions for the operator.

Жиголка М.В., преподаватель-стажер

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОФИЛАКТИКА ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ВЫГОРАНИЯ У СПЕЦИАЛИСТОВ АПК В СЕЗОННЫЕ ПИКИ НАГРУЗКИ

Аннотация. В статье рассматривается влияние сезонных пиков нагрузки на эмоциональное выгорание специалистов АПК и необходимость перехода от индивидуальной стрессоустойчивости к средовым барьерам утомления. Обосновывается внедрение регламентированных микропауз, ротации задач, полифазного сна и дебрифингов как ключевых инструментов профилактики. Теоретической базой выступают модели психологической безопасности Эми Эдмондсон, структура выгорания Кристины Маслач и рекомендации EU-OSHA.

Abstract. The article considers the impact of seasonal peak loads on the emotional burnout of specialists of the agro-industrial complex and the need to move from individual stress resistance to environmental fatigue barriers. The introduction of regulated micropauses, task rotations, polyphasic sleep and debriefings as key prevention tools is justified. The theoretical basis is provided by Amy Edmondson's models of psychological safety, Kristina Maslach's burn structure and EU-OSHA recommendations.

Ключевые слова. Эмоциональное выгорание, психологическая безопасность, агропромышленный комплекс, сезонные пики нагрузки, профессиональный стресс, депривация сна, психосоциальные риски, полифазный сон, дебрифинг, ротация задач, микропаузы, EU-OSHA, модель Кристины Маслач, теория усилий и вознаграждения, психогигиена труда, экстремальная психология

Keywords. Emotional burnout, psychological safety, agricultural sector, seasonal peak loads, occupational stress, sleep deprivation, psychosocial risks, polyphasic sleep, debriefing, task rotation, micropauses, EU-OSHA, Christina Maslach model, effort-reward imbalance theory, occupational psychohygiene, extreme psychology.

Агропромышленный комплекс (АПК) характеризуется выраженной циклической динамикой производственных процессов, детерминированной биологическими ритмами и климатическими факторами. Сезонные пики нагрузки, такие как посевная кампания, заготовка кормов или уборка урожая, создают экстремальные условия труда для специалистов различных профилей – агрономов, зооинженеров, ветеринарных врачей и операторов машинного доения, механизаторов, а также управленческого персонала. В эти периоды происходит резкая интенсификация труда с удлинением рабочей смены до шестнадцативосемнадцати часов, возрастанием ответственности за принятие решений в условиях дефицита времени и неопределенности внешней среды, а также значительным ограничением возможностей для полноценного

восстановления. Данные условия создают предпосылки для формирования хронического профессионального стресса, который при отсутствии адекватных организационных и психогигиенических мер трансформируется в синдром эмоционального выгорания (СЭВ). Психологическая безопасность в контексте высоконагруженных сезонов выступает не просто как гуманитарная категория, но как ключевой ресурс, опосредующий сохранение работоспособности и когнитивных функций персонала.

В рамках организационной психологии психологическая безопасность определяется как состояние, при котором сотрудник воспринимает свое рабочее окружение как позволяющее проявлять профессиональную активность без страха негативных санкций за ошибку, запрос о помощи или выражение усталости. Для АПК в пиковые периоды это понятие приобретает особое измерение. Применительно к механизатору или оператору доильной установки психологическая безопасность означает наличие санкционированной руководством возможности сделать микропаузу при достижении критического уровня утомления, не опасаясь обвинений в недисциплинированности. Для агронома она выражается в допущении вероятности корректировки сроков полевых работ в ответ на изменения погоды без последующего административного давления.

Отсутствие такой среды в сезонный пик приводит к формированию защитного поведенческого паттерна, который можно обозначить как «феномен затрудненного сигнала об истощении». Специалист, осознавая собственное снижение внимания и нарастание вегетативных признаков стресса (тахикардия, тремор, расстройство сна), предпочитает не информировать руководство, опасаясь стигматизации как некомпетентного или слабого. В результате ошибки, обусловленные утомлением, неизбежно накапливаются, а субъективное переживание стресса переходит в стадию резистенции, характерную для первой фазы выгорания.

В отличие от офисных профессий, где ключевым стрессором часто является информационная перегрузка или эмоционально насыщенное общение, в АПК сезонный пик продуцирует три специфических патогенных механизма. Первый механизм – это депривация тактико-вариативного отдыха. Цикличность полевых и животноводческих работ не позволяет соблюдать принцип чередования нагрузки и восстановления в рамках суточного цикла. Мозг оператора, работающий в режиме хронической депривации медленноволнового сна, входит в состояние метаболического «энергосбережения», при котором подавляются функции префронтальной коры, отвечающие за эмоциональную регуляцию и перспективное планирование. Клинически это проявляется аффективной лабильностью, снижением эмпатии к животным или подчиненным и феноменом «зрительной усталости» у операторов техники.

Второй механизм связан с феноменом когнитивной незавершенности. Производственный цикл в АПК часто превышает продолжительность рабочего пика: результат посева оценивается только при появлении всходов, а эффект от лечебных манипуляций в ветеринарии может быть отсрочен на недели. Отсутствие оперативной обратной связи обесценивает вложенные усилия в сознании исполнителя и способствует нарастанию симптома редукции профессиональных достижений – одного из центральных компонентов СЭВ по модели Кристины Маслач.

Третий механизм – это иерархически обусловленная сверхконтролируемая ответственность. Принятие решений в АПК жестко централизовано, особенно в сезон. Однако ответственность за выполнение этих решений часто делегируется линейному персоналу при сохранении полного контроля. Такая асимметрия порождает состояние выученной беспомощности: специалист привыкает, что его инициатива в вопросах организации отдыха или смены графика нежелательна, и пассивно принимает возрастающие нагрузки до момента функционального срыва.

Профилактика СЭВ в условиях сезонного пика требует перехода от мотивационных программ к регламентированным протоколам, построенным на принципах доказательной психогигиены. Базовым элементом является внедрение жестко структурированных микропауз с переключением модальности нагрузки, что согласуется с данными психофизиологии труда о необходимости смены доминирующей афферентации. Для оператора комбайна или доильной установки это означает десятиминутный выход из динамического стереотипа «сидячее положение – монотонный шум – визуальное отслеживание» каждые пятьдесят-шестьдесят минут работы с переходом в вертикальное положение, контрастным температурным воздействием (умывание) и сменой сенсорного входа на тишину или аритмичный звуковой фон.

На уровне среднего управленческого звена эффективным инструментом выступает техника проактивного временного блокирования, предусматривающая два интервала в сутки продолжительностью не менее сорока минут каждый, когда руководитель физически выводится из оперативного контура связи (без использования цифровых устройств) и посвящает это время либо стратегическому анализу, либо дыхательным практикам парасимпатической направленности. Такие интервалы предотвращают кумуляцию кортизола и истощение буферных ресурсов гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси.

Учитывая дефицит доступа к лицензированным психологам в сельских территориях в период пика, критически важным становится обучение неформальных лидеров рабочих групп (бригадиров, опытных наставников) базовым протоколам эмпатического присутствия без роли терапевта. Обученный лидер не анализирует и не интерпретирует

состояние коллеги, а реализует алгоритм «обозначение наблюдаемого состояния – предложение конкретной короткой замены – фасилитация восстановительного поведения». Экспериментально показано, что такой алгоритм снижает резистенцию к помощи и пролонгирует время сохранения когнитивного контроля.

Структурным методом, снижающим монотонность и кумуляцию утомления, является ротация задач по принципу смены доминирующего сенсорного канала и моторного стереотипа с периодичностью каждые двое-трое суток в пределах технически возможного. Чередование, например, погрузочных работ с инспекционной деятельностью или ведением документации позволяет перераспределить нагрузку между разными нейрональными ансамблями и предотвратить формирование стойкого очага патологического возбуждения в моторной коре.

Завершающая фаза пика нагрузки требует обязательного проведения структурированного дебрифинга, построенного по схеме «фактор уязвимости – ресурс совладания». В отличие от психотерапевтических групп, эта процедура носит производственно-рефлексивный характер: каждый участник называет один эпизод, вызвавший максимальное напряжение, и один поведенческий или средовой элемент, который помог сохранить стабильность.

Коллективный анализ этих данных превращает индивидуальный стрессовый опыт в организационное знание, что позволяет экстраполировать выявленные уязвимости на планирование следующего сезона. Документированные жалобы на обезжелезивание, недостаток вентиляции в кабинах или отсутствие затемненных мест для сна не интерпретируются как жалобы, а учитываются как объективные параметры для модификации рабочих мест.

Наконец, психопрофилактика в пиковый сезон не может игнорировать физиологический базис. Рекомендовано введение в корпоративные регламенты обязательного белково-углеводного питания в каждое рабочее окно с исключением рафинированных сахаров, вызывающих реактивную гипогликемию и вегетативные кризы. Отдельного внимания заслуживает внедрение полифазной модели сна: в условиях невозможности непрерывного ночного отдыха критически значимой становится практика двух-трех интервалов восстановительного сна по двадцать-тридцать минут (сиеста) в специально оборудованных затемненных, вентилируемых и звукоизолированных помещениях. Данная мера позволяет осуществлять частичную перезагрузку лимбической системы и снижает уровень базальной тревоги без фармакологического вмешательства.

Список использованной литературы

1. Леонов, А.А. Психология профессиональной деятельности в экстремальных ситуациях / А.А. Леонов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ПЕР СЭ, 2020. – 420 с.

2. Локли, С. Сон, эволюция и мозг: хронобиология стресса и восстановления / С. Локли, Р. Фостер ; пер. с англ. М.А. Хомутовой. – Санкт-Петербург : Питер, 2022. – 356 с.

3. Маслач, К. Профессиональное выгорание: феномен, исследования, перспективы / К. Маслач, М. Лейтер ; пер. с англ. Т.О. Новиковой. – Москва : Когито-Центр, 2019. – 342 с.

4. Прогрессивные технологии психогигиены труда в АПК : монография / В.И. Медведев [и др.]. – Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. – 290 с.

5. Психологическая безопасность в организации : учеб. пособие / А.Л. Журавлёв [и др.]. – Москва : Изд-во Института психологии РАН, 2021. – 248 с.

6. Эдмондсон, Э. Бесстрашная организация: как создавать психологическую безопасность на рабочих местах для роста, обучения и инноваций / Э. Эдмондсон ; пер. с англ. Ю. Гиматовой. – Москва : Альпина Паблишер, 2020. – 302 с.

7. Зигрист, Й. Модель «усилия – вознаграждение» в исследовании профессионального стресса / Й. Зигрист ; под ред. А.Б. Леоновой. – Москва : Смысл, 2018. – 187 с.

8. Psychosocial risks and mental health in agriculture : technical report / European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). – Bilbao : EU-OSHA, 2024. – 115 p.

Summary. The article examines the impact of seasonal peak workloads on the development of emotional burnout syndrome among agricultural specialists, highlighting specific stressors such as sleep deprivation, cognitive incompleteness of production cycles, and hierarchically imposed hyper-control. The authors substantiate the need to shift the focus from individual stress resistance to designing environmental barriers against fatigue accumulation, including regulated micropauses, task rotation, structured debriefings, and the implementation of polyphasic sleep protocols during high-intensity seasons. Special attention is given to the concept of psychological safety as an organizational resource that legitimizes the right to fatigue and help-seeking without stigmatization. The theoretical framework draws on the psychological safety models of Amy Edmondson, the three-component burnout structure of Christina Maslach, and the psychosocial risk recommendations of EU-OSHA. The key conclusion is that burnout prevention in agriculture during peak periods should be transformed from a set of individual recommendations into a system of mandatory procedural standards integrated into production regulations.

УДК 631.35

Андруш В.Г., кандидат технических наук, доцент

Крастелева Н.В., магистрант

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАКТОРА «АМКОДОР» ПУТЕМ КОНТРОЛЯ УГЛА НАКЛОНА

Аннотация. В статье рассматривается проблема производственного травматизма в сельском хозяйстве Республики Беларусь, связанная с

опрокидыванием энергонасыщенных тракторов, в частности марки «Амкодор», при выполнении работ по уплотнению зеленой массы. Предложена конструкция сигнального устройства на базе микроэлектромеханических систем (MEMS), включающих акселерометр и гироскоп, обеспечивающего контроль угла наклона машины в реальном времени, оповещение оператора и автоматическое ограничение движения при достижении критических значений (20°).

Abstract. The article discusses the problem of industrial injuries in agriculture of the Republic of Belarus associated with the overturning of energy-saturated tractors, in particular the Amkodor brand, during the compaction of green mass. Disclosed is a design of a signalling device based on microelectromechanical systems (MEMS), which includes an accelerometer and a gyroscope, which provides real-time control of the tilt angle of the machine, operator notification and automatic restriction of movement when critical values are reached (20°).

Ключевые слова. Трактор «Амкодор», опрокидывание, техника безопасности, сигнальное устройство, MEMS, акселерометр, гироскоп, угол наклона, устойчивость, фильтр Калмана.

Keywords. The article discusses the problem of industrial injuries in agriculture of the Republic of Belarus associated with the overturning of energy-saturated tractors, in particular the Amkodor Tractor brand, overturning, safety, signaling device, MEMS, accelerometer, gyroscope, tilt angle, stability, Kalman filter.

Обеспечение безопасности труда в агропромышленном комплексе является приоритетной задачей для сельскохозяйственных предприятий Республики Беларусь. Анализ производственного травматизма показывает, что значительная часть тяжелых несчастных случаев со смертельным исходом связана с эксплуатацией мобильной сельскохозяйственной техники. Как отмечается в исследованиях по безопасности сельскохозяйственного производства, особую опасность представляют работы, связанные с возможностью опрокидывания тракторов, поскольку данный вид аварий приводит к тяжелым последствиям [1].

Операция уплотнения (трамбовки) зеленой массы в буртах и траншеях сопряжена с высокими рисками. Работа на краю бурта, неравномерная осадка массы под колесами, наличие уклонов могут привести к потере поперечной или продольной устойчивости [2]. По данным специалистов в области безопасности сельскохозяйственной техники, именно при выполнении таких работ зафиксирован ряд случаев опрокидывания тяжелой техники «Амкодор» [3], что требует разработки и внедрения дополнительных средств активной безопасности, способных предупредить водителя и вмешаться в управление до наступления критической ситуации.

Целью данной работы является обоснование параметров и разработка структурной схемы сигнального устройства контроля угла наклона для трактора «Амкодор» на основе современных микроэлектромеханических датчиков.

Устойчивость трактора против опрокидывания является одной из важнейших эксплуатационных характеристик. Согласно теории трактора, потеря устойчивости наступает при достижении предельного статического угла наклона, который зависит от конструктивных параметров машины: колеи, высоты центра тяжести, типа ходовой части [4].

Для тракторов семейства «Амкодор», используемых в кормопроизводстве, колея составляет 1800–2100 мм, а высота центра тяжести при загруженном манипуляторе может достигать 1200–1400 мм. Расчетный критический угол поперечного наклона для таких машин составляет 25–30° в зависимости от модели и технологической нагрузки [5]. С учетом динамических нагрузок, возникающих при движении по неровностям, и необходимого коэффициента запаса, целесообразно установить порог срабатывания аварийной сигнализации на уровне 20°, что обеспечивает заблаговременное предупреждение оператора об опасности.

Известны различные конструкции сигнализаторов наклона, преимущественно основанные на маятниковом принципе. Так, в авторском свидетельстве SU 834792 описан сигнализатор динамического опрокидывания трактора, в котором используется датчик статического наклона и датчик вертикальных ускорений, что позволяет оценивать не только сам крен, но и характер колебаний машины [6]. Однако, как показывают современные исследования, механические устройства имеют недостаточную точность, инерционность и не позволяют интегрировать их с электронными системами управления двигателем и трансмиссией.

Современный уровень развития микроэлектромеханических систем (MEMS) позволяет создавать компактные и высокоточные датчики на базе акселерометров и гироскопов. MEMS-датчики обладают рядом преимуществ: малые массогабаритные характеристики (объем менее 1 см³ при массе менее 1 г), низкое энергопотребление, высокая надежность, невосприимчивость к виброударным нагрузкам (до 2000g), простота интеграции и низкая стоимость [7].

Промышленные решения, такие как многоосные наклонометры WG 1010, уже применяются на экскаваторах, горных машинах и трелевочных тракторах. В этих устройствах используются высокостабильные акселерометры и гироскопы MEMS с температурной компенсацией, а сложность обработки сигналов решается непосредственно встроенным микропроцессором.

Для систем контроля мобильных сельскохозяйственных агрегатов перспективным является применение инерциальных измерительных модулей, включающих трехосные акселерометры и гироскопы, что подтверждается экспериментальными исследованиями, проведенными на тракторах.

Ключевым фактором точности измерений является место установки датчика. Для исключения влияния локальных деформаций рамы и колебаний

кабины (на пневмоподвеске) предлагается устанавливать электронный блок на несущую раму трактора, в районе проекции центра тяжести машины. Такое расположение позволяет минимизировать погрешности, вызванные работой навесного оборудования и рельефом местности, и максимально точно фиксировать угловые отклонения всего трактора.

Центральный блок управления жестко крепится к раме трактора в районе проекции центра тяжести для исключения ложных срабатываний от вибраций кабины. В кабине оператора размещаются элементы интерфейса: звуковой сигнализатор и визуальный индикатор красного цвета, расположенный на приборной панели в прямом поле зрения водителя. Блок связан с системой управления подачей топлива.

Центральный блок управления (микроконтроллер): принимает и обрабатывает сигналы от датчиков, реализует алгоритмы фильтрации (в том числе фильтр Калмана для компенсации динамических помех), принимает решение и управляет исполнительными устройствами.

Датчик наклона (инерциальный измерительный модуль): представляет собой микросхему, содержащую трехосный MEMS-акселерометр (для измерения угла наклона относительно горизонтали) и трехосный MEMS-гироскоп (для измерения угловой скорости и компенсации динамических помех). Позволяет измерять крен и дифферент в реальном времени.

Звуковой сигнализатор (пьезоэлектрический зуммер): предназначен для привлечения внимания оператора при входе в опасную зону. Предлагается панельный зумер серии 55 или 61 (ЕАО AG) который специально разработан для кабин водителей и транспортного оборудования и монтируется непосредственно в приборную панель (отверстие 22-27мм) у него высокое звуковое давление не менее 100дБ на расстоянии 1м, что гарантирует надежное восприятие сигнала в условиях повышенного шума при работающем двигателе, устойчив к пыли и влаге т.к. корпус имеет защиту IP65, компактный не занимает много места.

Визуальный индикатор: светодиод красного цвета высокой яркости, активируемый при достижении критического угла наклона.

Блок сопряжения с исполнительными механизмами: релейные модули или цифро-аналоговые преобразователи для воздействия на электронный регулятор топливного насоса высокого давления (ТНВД).

Функциональная схема устройства (рисунок 1) отражает информационные потоки и управляющие воздействия между элементами системы.

Сигналы от акселерометра и гироскопа поступают в микроконтроллер, где подвергаются фильтрации с использованием алгоритма Калмана для компенсации динамических помех, возникающих при движении по неровностям. Обработанные значения угла сравниваются с пороговыми значениями, хранящимися в памяти. При превышении установленных

порогов формируются управляющие сигналы на звуковую и визуальную сигнализацию, а также на исполнительный механизм ограничения подачи топлива.

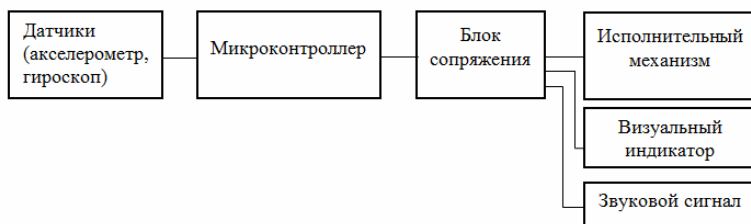


Рисунок 1 – Функциональная схема
сигнального устройства контроля угла наклона трактора

Алгоритм работы устройства реализуется следующим образом:

1. В нормальном режиме (угол $< 15^\circ$) устройство находится в режиме мониторинга, данные датчиков обрабатываются и сравниваются с порогами.

2. При увеличении угла наклона более 15° (предупредительный порог) подается прерывистый звуковой сигнал.

3. При достижении угла 20° (критический порог) включается непрерывный звуковой сигнал высокой тональности и активируется визуальный индикатор красного цвета.

4. Если водитель не реагирует в течение заданного времени (1–2 секунды) и угол наклона продолжает расти, центральный блок формирует управляющий сигнал на ограничение подачи топлива, что приводит к плавной остановке трактора и предотвращает опрокидывание.

Водитель трактора «Амкодор» получает от устройства два типа информации:

- предупредительная информация: при входе в опасную зону ($15\text{--}20^\circ$) водитель слышит звуковой сигнал. Это требует от него повышенного внимания и визуальной оценки ситуации;

- аварийная информация: при угле 20° загорание красного индикатора и непрерывный звук сигнализируют о том, что порог нарушен и системы автоматики начнут вмешательство в управление. Водитель должен прекратить опасный маневр. При отсутствии реакции блок управления самостоятельно ограничивает подачу топлива.

С психофизиологической точки зрения, комбинированное звуковое и световое оповещение обеспечивает гарантированное привлечение внимания оператора даже в условиях высокой шумовой нагрузки в кабине [8].

Оснащение тракторов «Амкодор» современным сигнальным устройством на базе MEMS-датчиков (акселерометра и гироскопа) является актуальным направлением повышения безопасности труда в сельском хозяйстве Беларуси. Теоретический анализ показал, что критический угол поперечного наклона для данных машин составляет 25–30°, что обосновывает выбор порога срабатывания 20°.

Предложенная схема размещения блока на раме в районе центра тяжести обеспечивает высокую точность измерений. Введение двух уровней сигнализации (звуковой и визуальный) с последующим автоматическим ограничением движения при достижении критического угла в 20° позволяет существенно снизить риск опрокидывания техники при выполнении таких опасных операций, как трамбовка силосной массы, тем самым сохраняя жизнь и здоровье операторов.

Список использованной литературы

1. Шкрабак, В.С. Безопасность жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве / В.С. Шкрабак, А.В. Луковников. – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2015. – 346 с.
2. Андруш, В.Г. Повышение производственной безопасности при уплотнении зеленой массы предотвращением опрокидывания трамбующей техники / В.Г. Андруш, Н.В. Крестелева (магистрант) // Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения и технического сервиса в АПК /редкол.: Л. М. Акулович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2025. – 648 с. – С. 504-509.
3. Скойбеда, А.Т. Безопасность сельскохозяйственных тракторов и мобильных машин / А.Т. Скойбеда, В.А. Гришкевич. – Минск: Ураджай, 2018. – 256 с.
4. Андруш, В. Г. Производственная безопасность в АПК. Практикум. В 2 ч. Часть 1 [Текст] : учебное пособие для студентов УВО по группе специальностей "Агроинженерия" / В. Г. Андруш, Т. В. Молош, О. В. Абметко ; БГАТУ, Кафедра управления охраной труда. - Минск, 2018. - 324 с.
5. Поспелов, Ю.А. Устойчивость трактора / Ю.А. Поспелов. – Москва: Машиностроение, 1966. – 242 с.
6. Сигнализатор динамического опрокидывания трактора: а. с. 834792 СССР: МПК G01C9/00 / Б.Д. Цвик, Я. Хайдаров, М.Л. Тамиров [и др.]; заявитель Всесоюзный научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. – № 2700521/27-11; заявл. 25.12.1978; опубл. 30.05.1981.
7. Сысоев С. MEMS-датчики в автомобильных приложениях/ С.Сысоев //Электроника и компоненты. – 2009. – № 8. – Р. 28–35.
8. Андруш, В. Г. Охрана труда : учебное пособие / В. Г. Андруш, Л. Т. Ткачева, Т. П. Кот. – Минск: РИВШ, 2021. – 620 с.

Summary. The proposed arrangement of the block on the frame in the area of the center of gravity provides high measurement accuracy. The introduction of two alarm levels (sound and visual) with subsequent automatic restriction of movement when reaching a critical angle of 20° can significantly reduce the risk of overturning equipment when performing such dangerous operations as compacting silage, thereby preserving the life and health of operators.

Белохвостов Г.И.¹, кандидат технических наук, доцент;
Серебрякова Н.Г.¹, кандидат педагогических наук, доцент;
Мириленко А.П.¹, кандидат технических наук, доцент;
Тиунчик А.А.¹, кандидат физико-математических наук, доцент;
Ковальчук С.В.², старший научный сотрудник,
начальник УКЭР-1 - главный конструктор;
Колодников Р.Э.², научный сотрудник, начальник отдела;
Кунаш М.В.³, старший преподаватель;
Драгун А.Г.¹, студент

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

² ОАО «Минский тракторный завод», г. Минск, Республика Беларусь

³ Учреждение образования «Барановичский государственный университет»,
г. Барановичи, Республика Беларусь

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Аннотация. В статье систематизированы фундаментальные задачи исследования рабочих процессов в системах выпуска поршневых двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрены газодинамические, теплофизические, химические, акустические и прочностные процессы в элементах выпускного тракта. Представлены математические модели нестационарных течений, теплообмена, распространения звуковых волн и термомеханической усталости материалов. Предложена схема комплексного мультидисциплинарного моделирования.

Ключевые слова: система выпуска отработавших газов, газодинамика нестационарных потоков, математическое моделирование.

Abstract. The paper systematizes fundamental research problems of working processes in exhaust systems of reciprocating internal combustion engines. Thermophysical, chemical, acoustic and strength processes in exhaust tract elements are considered. Mathematical models of unsteady flows, heat transfer, kinetics of catalytic reactions, sound wave propagation and thermomechanical fatigue are presented. A scheme of complex multidisciplinary modeling is proposed.

Keywords: exhaust system, unsteady flow, catalytic converter, mathematical modeling.

Введение. Система выпуска отработавших газов поршневого двигателя внутреннего сгорания традиционно рассматривается как совокупность элементов, обеспечивающих отвод продуктов сгорания из цилиндров в атмосферу. Однако, как отмечают В.Н. Луканин и Ю.В. Трофименко [1], в современном понимании она представляет собой сложную динамическую систему, в которой одновременно и взаимосвязанно протекает целый

комплекс физико-химических процессов. К числу важнейших из них относятся нестационарное газодинамическое течение с пульсирующим характером, интенсивный конвективный и лучистый теплообмен, химические реакции окисления и восстановления токсичных компонентов в каталитических нейтрализаторах, акустические явления, а также механические напряжения и деформации элементов конструкции, возникающие под действием циклических тепловых нагрузок.

Фундаментальные исследования перечисленных рабочих процессов необходимы для создания физически обоснованных математических моделей, разработки методов прогнозирования интегральных характеристик системы (противодавления на выпуске, температуры отработавших газов, эффективности нейтрализации, уровня шума и назначенного ресурса), а также для обоснования принципов оптимизации конструктивных решений [2]. Как подчеркивает Р.З.Кавтарадзе [2], без глубокого понимания рабочих процессов любые инженерные оптимизации остаются полуэмпирическими и не гарантируют успеха при переходе к новым типам двигателей.

Настоящая работа представляет собой систематизацию фундаментальных проблем, возникающих при исследовании рабочих процессов в выпускных системах, а также обзор существующих и перспективных математических моделей.

Газодинамические процессы в выпускном тракте

Газодинамика отработавших газов в выпускной системе имеет ярко выраженный нестационарный характер. При открытии выпускного клапана из цилиндра в коллектор вырывается сверхзвуковая струя продуктов сгорания, формирующая волну сжатия, которая распространяется по тракту, отражается от препятствий, интерферирует с последующими волнами и создает сложную картину пульсирующего течения. Как показано в монографии Дж.Хейвуда [3], правильный учет этих волновых процессов исключительно важен, поскольку от них зависят не только гидравлические потери, но и эффективность продувки цилиндров, а, следовательно, мощностные и экономические показатели двигателя в целом.

Основной математической моделью, используемой для описания таких течений, является полная система уравнений Навье-Стокса для сжимаемого вязкого теплопроводного газа. В развернутой форме эта система включает уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (1)$$

уравнение движения

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \left(\frac{\mu}{3} + \lambda \right) \nabla (\nabla \cdot \mathbf{v}) \quad (2)$$

и уравнение энергии

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) + \Phi + Q_{\text{хим}} \quad (3)$$

Детальный вывод этих уравнений и обсуждение граничных условий можно найти в фундаментальных трудах Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица [4].

Прямое численное решение системы Навье-Стокса для всей выпускной системы с учетом сложной геометрии и турбулентного характера течения связано с огромными вычислительными затратами. Поэтому на практике часто используют упрощенные подходы, например, одномерное моделирование методом характеристик [5]. Критерием, определяющим степень нестационарности течения, служит число Струхала

$$Sh = \frac{f \cdot L}{U} \quad (4)$$

где f – частота пульсаций, L – характерный размер, U – средняя скорость потока. При значениях $Sh > 0,1$ пульсационными эффектами пренебрегать уже нельзя [5].

Особого внимания заслуживает взаимодействие ударных волн и вихревых структур в коллекторе. Экспериментальные исследования с использованием оптических методов визуализации показывают, что схлопывание волн давления в зонах стыковки патрубков от различных цилиндров может приводить к локальным зонам повышенного давления и забросу отработавших газов в соседний цилиндр [6].

Теплофизические процессы и их связь с термомеханикой

Высокая температура отработавших газов (на режиме номинальной мощности она может достигать 900–1000 °C) обуславливает интенсивный теплоперенос от газа к стенкам выпускного тракта. Основной вклад в этот перенос вносит конвективный теплообмен, однако при температурах выше 800 °C становится существенным и лучистый теплообмен, особенно в зонах, непосредственно примыкающих к выпускным клапанам [2].

Локальная плотность теплового потока от газа к стенке определяется законом Ньютона-Рихмана:

$$q = h \cdot (T_g - T_{cm}) \quad (5)$$

где h – коэффициент теплоотдачи. Последний не является константой; зависит от скорости и турбулентности потока, физических свойств газа, геометрии канала и пульсационного характера течения. Для его определения используются критериальные уравнения вида

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \quad (6)$$

Классическое уравнение Диттуса-Бёлтера

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (7)$$

для стационарного турбулентного течения в трубах приведено в учебнике Й.А.Кенгеля и А.Дж.Гаджара [7]. Однако пульсирующий характер потока вносит поправки: при высоких числах Струхала коэффициент теплоотдачи может возрастать на 20–30 % [6].

Циклический нагрев и охлаждение элементов выпускного тракта приводят к возникновению знакопеременных термомеханических напряжений. Как показано в исследованиях [2], через некоторое число циклов (обычно от 10^4 до 10^6) в зонах концентрации напряжений зарождаются усталостные трещины. Прогнозирование этого процесса выполняется на основе критерия Коффина-Мэнсона:

$$\Delta \varepsilon_p = C \cdot (2N_f)^b \quad (8)$$

где $\Delta \varepsilon_p$ – амплитуда пластической деформации, N_f – число циклов до разрушения, C и b – константы материала. Для жаропрочных сталей и чугунов, применяемых в выпускных коллекторах, показатель b обычно лежит в диапазоне от $-0,5$ до $-0,7$ [8].

Химические процессы в каталитических нейтрализаторах будут представлены в другой работе

Акустические процессы и методы снижения шума

Пульсации давления в выпускной системе являются первичным источником шума двигателя. Нормативные требования к шуму транспортных средств установлены соответствующими стандартами. Распространение акустических волн в тракте описывается волновым уравнением

$$\frac{\partial^2 p_{\text{акуст}}}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 p_{\text{акуст}}}{\partial t^2} = 0 \quad (9)$$

где c – скорость звука в газе.

Уровень звукового давления определяется как

$$L_p = 20 \lg \frac{p_{\text{акуст}}}{p_0}, \quad (10)$$

где $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па [5].

Снижение шума достигается с помощью глушителей двух основных типов: реактивных (основанных на отражении и интерференции волн) и абсорбционных (основанных на поглощении энергии звука в пористых материалах). Как показано в справочной литературе [5], сложность моделирования состоит в том, что акустические процессы неразрывно связаны с газодинамическими: форма и скорость течения влияют на распространение волн, а акустические колебания могут изменять структуру течения. Наиболее эффективны комбинированные системы, объединяющие оба принципа.

Концепция мультидисциплинарного моделирования

Анализ, проведенный в предыдущих разделах, показывает, что ни одна из перечисленных физических подсистем не может быть рассмотрена изо-

лированно. Как справедливо отмечает Р.Стоун [11], создание адекватной математической модели системы выпуска требует мультидисциплинарного подхода. В работе [12] также подчеркивается, что современные системы выпуска представляют собой сложные объекты, где газодинамические, тепловые, химические и акустические явления тесно переплетены.

Предлагается следующая иерархическая схема комплексного моделирования. На верхнем уровне стоит газодинамическая модель, решающая систему Навье-Стокса и дающая поля скоростей, давления и начальное распределение температур. На следующем уровне к газодинамической модели подключается тепловая модель, уточняющая коэффициенты теплоотдачи и рассчитывающая прогревание стенок. Затем работает химическая модель, которая использует поля температур и концентраций для расчета скоростей каталитических реакций и степени конверсии. Параллельно акустическая модель на основе пульсаций давления определяет генерируемый спектр шума. Наконец, модель прочности по циклическим температурным полям рассчитывает накопленные усталостные повреждения и прогнозирует ресурс. Возможна обратная связь: например, появление трещины меняет граничные условия для газодинамической модели.

Реализация такой комплексной модели требует значительных вычислительных ресурсов. Перспективным направлением является создание «цифрового двойника» выпускной системы – вычислительной среды, которая в реальном времени получает данные от датчиков на работающем двигателе и прогнозирует будущее состояние системы [9].

Заключение. Фундаментальные исследования рабочих процессов в системах выпуска отработавших газов поршневых двигателей внутреннего сгорания остаются актуальной научной задачей. В ходе работы были систематизированы ключевые физические подпроцессы: нестационарная газодинамика пульсирующих течений, конвективно-лучистый теплообмен, кинетика гетерогенных каталитических реакций, акустические явления и термомеханическая усталость материалов. Для каждого из них приведены базовые математические модели и показаны границы их применимости.

Приоритетными направлениями дальнейших исследований следует считать: развитие методов прямого численного моделирования турбулентных отрывных течений в элементах тракта сложной геометрии; экспериментальное изучение структуры потока с применением оптических методов PIV и лазерной доплеровской анемометрии [6]; уточнение кинетических параметров каталитических реакций для составов топлив, содержащих биокомпоненты [10]; создание инженерных методик оценки термоусталостного ресурса, учитывающих реальную нестационарность тепловых нагрузок [8]; развитие мультидисциплинарных моделей и создание цифровых двойников [9, 12].

Решение перечисленных задач создаст научную основу для проектирования систем выпуска нового поколения, обеспечивающих минимальное противодействие, высокую эффективность нейтрализации вредных веществ, низкий уровень шума и длительный гарантированный ресурс.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной программы научных исследований 6 «Механика, машиностроение, роботизированные, беспилотные и интеллектуальные системы», подпрограммы 6.1 «Механика, машиностроение, электротранспортные, роботизированные и беспилотные системы» (задание 6.1.10 «Улучшение газодинамических, аэроакустических и экологических характеристик систем выпуска отработавших газов поршневых двигателей внутреннего сгорания»).

Список использованной литературы

1. Луканин, В.Н., Трофименко Ю.В. Снижение экологической нагрузки от автомобильных двигателей. – М.: Высшая школа, 2001. – 384 с.
2. Кавтарадзе, Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы (2-е изд., испр. и дополн.). – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 592 с.
3. Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals. – McGraw-Hill, 1988. – 930 p.
4. Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М. Гидродинамика. – Т. 6. – 4-е изд. – М.: Физматлит, 2001. – 736 с.
5. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
6. Сабуров, З.Н., Карпов С.В., Осташев С.И. Теплообмен и аэродинамика закрученного потока в циклонных устройствах. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. – 276 с.
7. Cengel Y.A., Ghajar A.J. Heat and Mass Transfer: A Practical Approach. – 4th ed. – McGraw-Hill, 2011. – 960 p.
8. Schlichting H., Gersten K. Boundary-Layer Theory. – 8th ed. – Springer, 2017. – 800 p.
9. Fricke J., Emmerich F. Exhaust Gas Aftertreatment: Fundamentals and Applications. – Springer, 2018. – 320 p.
10. Денисов, Е.Т. Кинетика гомогенных химических реакций. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1988. – 391 с.
11. Stone R. Introduction to Internal Combustion Engines. – 4th ed. – Palgrave Macmillan, 2017. – 528 p.
12. Булыгин, Ю.И. Моделирование внутрицилиндровых процессов транспортных двигателей с целью повышения их экономичности и экологичности // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2005. – № S12. – С. 52–60.

Summary. This paper systematizes the fundamental gasdynamic, thermal, chemical, acoustic, and strength processes in exhaust systems of piston engines and proposes a multidisciplinary modeling scheme for their prediction.

Ваулин В.И.¹, кандидат педагогических наук, доцент;

Карсунцев В.А.¹, Плохотнюк А.А.¹, Ваулин С.В.²

¹ *Филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Сызрань, Российская Федерация*

² *ОАО «ТЯЖМАШ», г. Сызрань, Российская Федерация*

КИБЕРПРАВА ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Аннотация: в статье рассматриваются результаты реализации цели исследования анализа информационной безопасности жизни и деятельности общества в современных условиях. Утверждается, что теоретическую значимость исследования определили выводы анализа информационной безопасности, которые констатируют факт проблем, связанных с возможной порчей, потерей или несанкционированных взломом важной информации. Практическую значимость определяют выводы, которые включают: методы преступников; классификация средств и методов защиты информации; методы и способы защиты информации. Главным направлением противодействия киберпреступлениям является система законодательных и нормативно-правовых актов. Предлагаются рекомендации по защите информации.

Abstract: the article examines the results of the realization of the purpose of the research analysis of information security of life and activities of society in modern conditions. It is argued that the theoretical significance of the study was determined by the conclusions of the information security analysis, which state the fact of problems related to possible damage, loss or unauthorized hacking of important information. The practical significance is determined by the conclusions, which include: methods of criminals; classification of means and methods of information protection; methods and methods of information protection. The main area of countering cybercrime is the system of legislative and regulatory legal acts. Recommendations on information protection are proposed.

Ключевые слова: информационная безопасность, проблемы информационной безопасности, методы киберпреступлений, методы и средства защиты информации, система законодательных и нормативно-правовых актов

Keywords: information security, problems of information security, methods of cybercrime, methods and means of information protection, system of legislative and regulatory legal acts.

В век компьютерных информационных технологий сложно представить существование сфер деятельности, как научные исследования, образование, промышленность, транспорт, коммерческая, финансовая и др. направлений. Использование информационных технологий в деятельности организаций существенно облегчают работу, но и создают проблемы возможной порчи, потери, взломов информации и

т.д., что определяет актуальность темы исследования. Возможно выделить уровни проявления киберпреступлений: – **микроуровень** (уровень отдельных домохозяйств и предприятий); – **макроуровень** (уровень отдельных отраслей); – **мезоуровень** (уровень отдельных стран или их объединений). Источники возникновения операционных киберрисков систематизировали. В условиях цифровизации выделяются следующие виды рисков и угроз в деятельности организации: стратегические, технологические, операционные, сторонние, нормативные, кибернетические, риски устойчивости, утечки данных, конфиденциальности и т.д. Информационная безопасность государства – состояние сохранности информационных ресурсов государства и защищённости законных прав личности и общества в информационной сфере. В социуме информационная сфера имеет две составляющие: информационно-техническую (искусственно созданный человеком мир техники, технологий и т.п.) и информационно-психологическую (естественный мир живой природы, включающий и самого человека). Информационная безопасность (ИБ) характеризует сохранение свойств конфиденциальности, целостности и доступности информации (КИД) [3], свойства подлинности, подотчетности, неотказуемости, надежности, свойство доверия (trustworthiness), свойства контролируемости владельцем (possession) и полезности, «обеспечение ИБ» [7].

Киберпреступники используют программы с популярными паролями для перебора комбинаций букв, цифр и символов. Для реализации угроз используется каналный и прикладной уровень эталонной модели. Такие атаки получили название «фишинг» (англ. fishing - «рыбалка»), который может быть двух видов: как бы законный фишинг (когда в результате невнимательности пользователя его запрос переадресуется с необходимого объекта на ложный объект); незаконный (когда идет подстановка (замена) маршрута). К типовым угрозам относятся: подмена доверенного объекта; создание в сети ложного маршрута; ложного объекта с использованием недостатков алгоритмов удаленного поиска; угрозы типа «отказ в обслуживании», основанные на IP-дефрагментации, формировании некорректных ICMP-запросов (например, атака «Ping of Death» и «Smurf») и некорректных TCP-запросов (атака «Land»), на создании «шторма» пакетов с запросами на соединение (атаки «PING flood» и «SYN flood») и др. К типовым угрозам, реализуемым на прикладном уровне, относятся: направленные на несанкционированный запуск приложений; угрозы, реализация которых связана с внедрением программных закладок (типа «троянский конь»); выявления паролей доступа к ресурсам ИС и т.д. [8]. Преступники присылают: фишинговые письма, от банков, компаний, органов власти; письмо с выгодным

предложением, поддельные приложения, подделывают мобильные банки и др., чтобы получить логинам и паролям, номерам карт, банковским счетам. Придумайте пароль для каждого критичного аккаунта: интернет-банка, соцсетей и Госуслуг.

Основными способами защиты информации являются [2]: препятствие (физическая защита информационных систем); маскировка (преобразование на основе определенного принципа информации в зашифрованную форму; регламентация (создание и следование инструкциям по манипуляции с информацией); управление (системный подход к управлению защитой информационных систем); принуждение (комплекс управленческих мер, заставляющий работников следовать определенным правилам в компании); побуждение (выполнение инструкций по моральным и личностным соображениям). Способы информационной защиты обеспечиваются различными средствами: законодательными, организационными, физическими, психологическими, техническими (программные и аппаратные) [3]. Физические средства защиты информации заключаются в ограничении физического доступа к информации. К ним относятся: установка замков, решеток, прочных ворот, дверей, сигнализации. Организационные средства защиты информации основаны на правильной организации системы работы персонала и используют методы: управление, регламентация и принуждение [2].

К законодательным средствам относят систему нормативно-правовую систему, регулирующую работу сотрудников компании с уголовной или административной ответственностью за ее утерю, порчу. Психологическими средствами защиты информации называют систему мотивирующих факторов, предполагающих личную заинтересованность каждого в защите информации.

Обеспечение информационной безопасности объектов в России основывается на системе нормативно-правовых актов, которые регулируют порядок защиты и контроля за соблюдением безопасности.

Система нормативных актов дает основы обеспечения информационной безопасности. Указ Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации». Текст Указа опубликован на «Официальном интернет-портале правовой информации» (www.pravo.gov.ru) 3 июля 2021 г. № 0001202107030001, в Собрании законодательства Российской Федерации от 5 июля 2021 г. № 27 (часть II) ст. 5351. и др.

Данный подход позволяет предложить модель процесса обеспечения кибербезопасности.

На основе анализа нормативно-правовой документации по защите персональных данных в организации основных требований регулирующих органов, предъявляемых к аппаратным, программным и

административным средствам по защите персональных данных, выявить необходимый и достаточный уровень защищенности персональных данных в медицинских информационных системах и основные концепции его реализации.

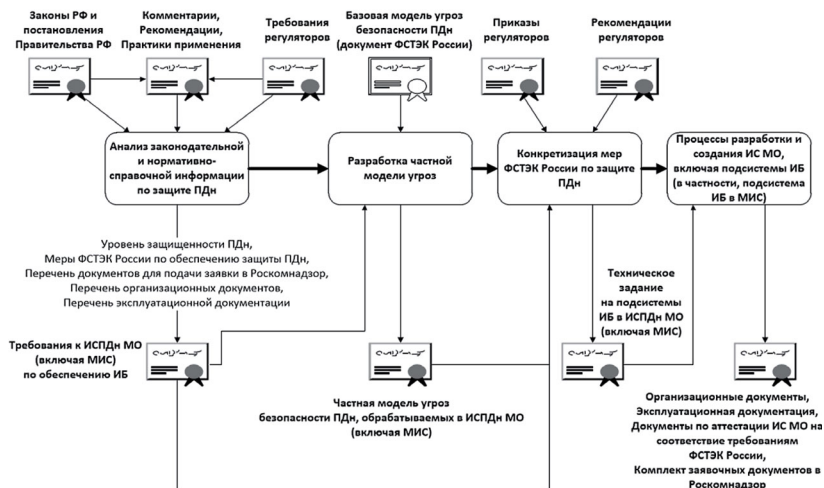


Рисунок – Процессы обеспечения ИБ [1].

Согласно постановлению выделяют три типа актуальных угроз:

- угрозы 1-го типа – угрозы, связанные с наличием недокументированных (недекларированных) возможностей в системном программном обеспечении, используемом в ИС;
- угрозы 2-го типа – угрозы, связанные с наличием недокументированных (недекларированных) возможностей в прикладном программном обеспечении, используемом в ИС;
- угрозы 3-го типа – угрозы, не связанные с наличием недокументированных (недекларированных) возможностей в системном и прикладном программном обеспечении, используемом в ИС.

Для защиты сведений в организациях и на предприятиях применяются методы:

- юридические;
- организационно-управленческие;
- технические (программное обеспечение) [6].

Заключение. Таким образом, в ходе выполнения исследования была реализована цель анализа информационной безопасности жизни и деятельности общества в современных условиях. Теоретическую значимость определили выводы анализа информационной безопасности,

которые констатируют факт проблем, связанных с возможной порчей, потерей или несанкционированных взломом важной информации. При этом информационную безопасность общества (государства) можно представить двумя составными частями: информационно-технической безопасностью и информационно-психологической безопасностью. Практическую значимость определяют выводы: преступники используют методы: взлом пароля электронного устройства, фишинг, письмо с выгодным предложением, поддельные приложения, блокировать попытки программного взлома устройств (хакерские и т.п. атаки); классификация средств защиты информации включает: организационные средства защиты информации, физические средства защиты информации, психологические средства защиты информации; методы и способы защиты информации: препятствие, маскировка, регламентация, управление, принуждение, побуждение; физические средства защиты информации; средствами информационной защиты являются: законодательные, организационные, физические, психологические, технические (программные и аппаратные) мероприятия. Рекомендации: быть внимательным, быть аккуратным и бережно относиться к данным, скачивать только проверенные приложения, не давать приложениям лишних разрешений, обновлять систему защиты.

Повсеместная интеграция цифровых технологий и создание децентрализованных экосистем способны открыть новые горизонты и устранить ряд текущих проблем. Ключевая роль нейронных сетей в этом процессе заставляет уделять особое внимание каждой потенциальной угрозе. Особого внимания заслуживает вопрос возникновения цифровой защиты и использование доверенного искусственного интеллекта.

Список цитируемой литературы

1. Бердникова Л.Ф., Вокина Е.Б. Функции и виды рисков, влияющих на экономическую безопасность организации в условиях цифровизации бизнеса // Вестник СамГУПС. – 2019. – № 4(46). – С. 72–77.

2. Газизова Е.В. Современные технологии защиты информации//Современные научные исследования и инновации. 2016. № 11 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/11/73532> (дата обращения: 25.02.2025).

3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000 - 2012 НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. Информационная... docs.cntd.ru/document/1200102762 (дата обращения: 25.04.2025).

4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1(2,3) - 2002. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Ч. 1-3.

5. Доброва К.Б. Проблемы обеспечения информационной безопасности инновационной деятельности в интегрированных промышленных структурах // Вопросы инновационной экономики. – 2017. № 4. – С. 349–360. – doi: 10.18334/vinec.7.4.38559 .

6. Иванов А. А. Ключевые понятия системного подхода к адаптивному мониторингу информационной безопасности киберфизических систем // Цифровая трансформация общества и информационная безопасность: материалы Всеросс. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 18 мая 2022 г.). Екатеринбург, 2022. – С 17-20.

7. Марков А.С. КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КАК БИФУРКАЦИЯ НОМЕНКЛАТУРЫ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ//Журнал Вопросы кибербезопасности. – Москва: 2022. №1(47). С.2.-10.

8. Муханова А.А., Ревнивых А.В., Федотов А.М. Классификация угроз и уязвимостей информационной безопасности в корпоративных системах//Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2013. Том 11, выпуск 2. С.55–72.

Summary. The purpose of the research is to analyze the information security of society's life and activities in modern conditions. **Materials and methods.** Methods of systematic and structural analysis of scientific sources and statistical data. **Result.** Criminals use the following methods: hacking the password of an electronic device, phishing, a letter with a favorable offer, fake applications, blocking attempts at software hacking of devices; methods and methods of information protection: obstruction, disguise, regulation, management, coercion, inducement; physical means of information protection; means of information protection are: legislative, organizational, physical, psychological, technical (software and hardware) measures. Recommendations: be careful, be careful and take care of the data, download only verified applications, do not give unnecessary permissions to applications, update the protection system.

УДК 331.45

Мартынова Л.Г.¹, заместитель начальника отдела охраны труда и пожарной безопасности,

Белохвостов Г.И.², кандидат технических наук, доцент

¹ *ОАО «Агентство охраны труда, г. Гродно, Республика Беларусь*

² *Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ШУМОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАБОТНИКОВ И ЕГО ОЦЕНКА

Аннотация. Рассмотрено воздействие шума на органы и системы организма работника, а также процедура оценки шумового воздействия.

Abstract. The impact of noise on the organs and systems of the worker's body, as well as the procedure for assessing noise exposure, are considered.

Ключевые слова. Шум, октавные звуковые полосы, измерение, лабораторный контроль.

Keywords. Noise, octave bands, measurement, laboratory control.

Производственный шум остается одним из ведущих вредных факторов на предприятиях машиностроения, горнодобывающей, легкой промышленности, агропромышленного комплекса. Производственный

шум в агропромышленном комплексе – это вредный физический фактор, возникающий при работе сельскохозяйственной техники, оборудования, вентиляционных систем и на перерабатывающих предприятиях. Он оказывает негативное влияние на здоровье работников, вызывая утомление, снижение производительности труда, рост травматизма и профессиональные заболевания (тугоухость). Шум может вызывать раздражение и агрессию, артериальную гипертензию (повышение артериального давления), тиннитус (шум в ушах), потерю слуха; приводит к снижению внимания и увеличению ошибок при выполнении различных видов работ; замедляет реакцию человека на поступающие от технических устройств сигналы; угнетает центральную нервную систему, вызывает изменения скорости дыхания и пульса, способствует нарушению обмена веществ, возникновению сердечнососудистых заболеваний, язвы желудка, гипертонической болезни [1-2].

Корректная оценка шумового воздействия – это не просто измерение децибел, а сложный гигиенический алгоритм, ошибки в котором ведут к необоснованному назначению компенсаций или, наоборот, к сокрытию реального вреда здоровью работников. Развитие хронической профессиональной тугоухости – процесс длительный и постепенный. Снижение слуха на 10 дБ практически неощутимо, на 20 дБ едва заметно. Только потеря слуха более чем на 20 дБ начинает серьезно мешать человеку, особенно если к этому добавляются возрастные изменения слуха. Субъективное ощущение понижения слуха наступает по мере прогрессирования процесса, когда снижение восприятия затрагивает область октавных звуковых полос со среднегеометрическими частотами 500, 1000, 2000 Гц. Оно обычно развивается медленно и постепенно увеличивается со стажем работы в данной профессии. Дальнейшее развитие профессиональной тугоухости характеризуется расширением повреждения звуковосприятия по всему диапазону звуковых частот. И только приборный контроль может дать достоверную информацию об оценке условий труда по шуму на рабочих местах. При проведении органами государственной экспертизы условий труда Республики Беларусь проверок соблюдения законодательства о труде и пенсионном обеспечении по вопросам предоставления компенсаций работникам за работу с вредными и (или) опасными условиями труда и анализа документов, предоставляемых нанимателями в электронном виде по аттестации рабочих мест по условиям труда, участились случаи выявления неправильной оценки условий труда по шуму на рабочих местах работников организаций республики [3].

Лабораторный контроль уровней шума проводится с целью объективной оценки акустической нагрузки на работников и соответствия условий труда установленным нормативам. Контроль охватывает как

открытые территории предприятия, так и помещения различного функционального назначения, включая производственные, офисные и вспомогательные зоны [4]. В отличие от упрощенного бытового подхода, лабораторный контроль требует дифференцированной оценки шума по двум основным классификациям: по временным и по спектру частот [5].

По временным характеристикам необходимо учитывать постоянный и непостоянный шум, по спектру частот широкополосный и тональный.

Постоянный шум – шум, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) или за время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени не более, чем на 5 дБА при измерениях на стандартизованной временной характеристике измерительного прибора "медленно" [5]. Непостоянный шум (колеблющийся, прерывистый, импульсный) – уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) или за время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени более чем на 5 дБА при измерениях на стандартизованной временной характеристике измерительного прибора "медленно" [5].

Широкополосный - шум с непрерывным спектром шириной более одной октавы [5].

Тональный - шум, в спектре которого имеются выраженные дискретные (тональные) составляющие [5]. Наличие тональности является отягчающим фактором и требует более жесткой оценки. Тональный шум воспринимается человеком как более раздражающий и вредный, чем обычный широкополосный шум (даже при одинаковом уровне децибел), из-за выраженных звуков определенной частоты (например, гул, свист, писк).

При проведении лабораторного контроля, аккредитованные лаборатории используют оценку по эквивалентному и максимальному уровню звука [5]. Это дозный подход, критически важный для непостоянного шума. Поскольку шум все время меняется, шумомер высчитывает средневзвешенный логарифмический уровень за всю смену или за показательный период замеров.

Самый ответственный этап – оценка результатов и установление класса вредности.

Нормируемыми параметрами постоянного шума являются уровни звукового давления в дБ в девяти октавных звуковых полосах и уровни звука.

Нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентный (по энергии) уровень звука и максимальный уровень звука.

Превышение хотя бы одного из указанных показателей квалифицируется как несоответствие санитарным правилам и нормам. Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот,

эквивалентные по энергии и максимальные уровни звука проникающего шума должны соответствовать требованиям Гигиенического норматива [5].

В таблицах оценочных показателей непревышения / равенства / превышения нормативных значений (ПДУ), уровень шума не имеет «оптимального» (1-го) и «допустимого» (2-го) класса по условиям труда по остаточному принципу. Значения начинаются с вредных (3-й) класс:

- превышение ПДУ до 5 дБА включительно – класс 3.1 (вредный первой степени);

- превышение на 6–15 дБА – класс 3.2 (вредный второй степени);

- превышение на 16–25 дБА – класс 3.3 (вредный третьей степени);

- превышение свыше 25 дБА или работа без СИЗ при уровнях свыше 135 дБ (пик) – класс 3.4 (опасный, работа запрещена, кроме ликвидации аварий).

Отношение к применению средств индивидуальной защиты (СИЗ) при аттестации рабочих мест (АРМ) [6-7] и лабораторном контроле меняется в сторону более строгого учета их реальной эффективности и интеграции в общую систему управления рисками. В классической АРМ (для назначения льгот по Спискам №1 и №2) оценка шума проводится без учета СИЗ (наушников и берушей). Фиксируется то, что генерирует оборудование. СИЗ не исключают класс вредности, а лишь означают, что риск повреждения слуха у конкретного работника снижен. Однако при новых подходах к управлению расчет эффективности СИЗ обязателен при процедуре оценки рисков для корректировки баллов риска.

В современной практике оценки шума на рабочем месте существует ряд проблемных зон: зоны маскировки звука [8-9], тональный и импульсный шум. Часто лаборатории пренебрегают определением тональности, что занижает класс вредности.

Тональность шума устанавливается измерением в третьоктавных полосах частот по превышению уровня звукового давления в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ). Что касается импульсного шума, то импульсный шум – непостоянный шум, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов (импульсов), при этом длительность каждого менее 1с [5]. В данном случае уровни звука, измеренные на временных характеристиках шумомера «импульс» и «медленно», отличаются на 7 дБА и более.

Вторая проблема – это отношение микроорганизаций и офисных работников к проблемам шума на рабочих местах. Многие офисные работники ошибочно считают шум оргтехники не подлежащим контролю. В Республике Беларусь уровень звуковой мощности, создаваемый системным блоком и периферийным оборудованием (принтеры и т.д.), не должен превышать 50 дБА (для одного устройства). Если в одном

помещении установлено несколько персональных компьютеров и уровень шума превышает 60 дБА, рекомендуется использовать звукопоглощающие перегородки, ковровые покрытия или подвесные потолки. Третья проблема - длительность измерения: ошибка неправильного выбора времени усреднения. Если, к примеру, оператор станка обрабатывает деталь за 3 минуты, а 30 минут - подготовительные операции, измерение только во время обработки даст ложное превышение дозы. Необходимо проводить измерения полного цикла.

Для качественного проведения измерений необходимо не только наличие поверенного шумомера 1-го класса точности, но и понимание технологического цикла, чтобы полученные результаты соответствовали реальному шумовому воздействию на работников в течение 8-часовой смены.

Список использованной литературы

1. Кунаш, М. В. Производственный шум как один из важнейших профессиональных рисков / М. В. Кунаш, Д. М. Позняков ; науч. рук. Г. И. Белохвостов // Техника и технология пищевых производств : тезисы докладов XIII Международной научной конференции студентов и аспирантов, Могилев, 18-19 апреля 2024 г. - Могилев : БГУТ, 2024. - С. 426.

2. Кунаш, М. В. Шумовое воздействие и его влияние на психологическое здоровье оператора сельскохозяйственного трактора / М. В. Кунаш, Г. И. Белохвостов // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сборник научных трудов. - Горки : БГСХА, 2024. - Вып. 9. - С. 57-60.

3. О профессиональном пенсионном страховании : Закон Респ. Беларусь от 20 декабря 2007 г. № 322-З : в ред. от 20 июля 2023 г. № 300-З : в ред. от 12 июля 2025 г. № 90-З // iLex : информ. правовая система (дата обращения: 21.04.2026). – Текст : электронный.

4. Об аттестации рабочих мест по условиям труда : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 22 февраля 2008 г. № 253 : в ред. от 3 марта 2021 г. № 125 // iLex : информ. правовая система (дата обращения: 21.04.2026). – Текст : электронный.

5. Показатели безопасности и безвредности шумового воздействия на человека»: постановление Совета Министров Республики Беларусь №37 от 25.01.2021 г. в ред. от 12 января 2025 г. // iLex : информ. правовая система (дата обращения: 21.04.2026). – Текст: электронный

6. Об утверждении Инструкции по оценке условий труда при аттестации рабочих мест по условиям труда: постановление Министерства труда и социальной защиты Респ. Беларусь от 22 февраля 2008 г. № 35: в ред. от 18 августа 2025 г. // iLex : информ. правовая система (дата обращения: 21.04.2026). – Текст: электронный.

7. Об изменении постановления Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 22 февраля 2008 г. № 35 : постановление Министерства труда и социальной защиты Респ. Беларусь от 18 августа 2025 г. № 85 // iLex : информ. правовая система (дата обращения: 21.04.2026). – Текст : электронный.

8. Кунаш, М.В. Влияние маскировки на порог слышимости в условиях шума тракторов: оценка рисков / М.В. Кунаш (аспирант), Г.И. Белохвостов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2025. – N 1 (57). – С. 219–229.

9. Кунаш М.В. К вопросу баланса физиологических и психофизиологических аспектов безопасности труда при акустическом воздействии на работников аграрного сектора глушителей шума сельскохозяйственной техники / М.В. Кунаш, Г.И. Белохвостов // Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения и технического сервиса в АПК : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию образования факультета «Технический сервис в АПК», Минск, 4–5 июня 2025 г. – Минск : БГАТУ, 2025. – С. 472–475.

Summary. The modern approach to noise assessment in Belarus is shifting from fiscal recording of exceedances of maximum permissible levels to calculating the actual dose and managing health risks. However, the basic certification procedure remains strictly regulated: frequency analysis to assess infrasound and ultrasonic components, mandatory calculation of the equivalent level for non-permanent fields, and fundamental consideration of tonality.

УДК 331.452

Основин В.Н., кандидат технических наук, доцент;

Сергеев К.Л., старший преподаватель;

Сокол О.В., старший преподаватель

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И РАСЧЕТ ОГРАДИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Обоснован выбор материалов в зависимости от условий действия ударных динамических нагрузок на оградительное устройство. Представлены инженерные методы проверочного расчета ограждений на прочность к ударным нагрузкам.

Abstract. The choice of materials depending on the conditions of action of shock dynamic loads on the protective device is substantiated. Engineering methods for checking the strength of fences to shock loads are presented.

Ключевые слова. Станочное оборудование, оградительное устройство, безопасность, выбор материалов, расчет на прочность.

Keywords. Machine tools, fencing device, safety, choice of materials, strength calculation.

Станочное оборудование – это совокупность машин, используемых для механической обработки деталей (резанием, давлением, пробивкой, строганием и т.д.). Основные виды включают токарные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные и зубо- и резьбообрабатывающие станки, обеспечивающие создание поверхностей различной формы.

С целью обеспечения безопасности при работе на станках применяют оградительные устройства, представляющие собой физическую преграду между человеком и опасным или вредным производственным фактором. Они должны исключать [1]:

- возможность соприкосновения работника с движущимися частями машины;
- выпадение или вылет обрабатываемых деталей (материалов), а также частей рабочих органов при их поломках;
- попадание в рабочих частичек обрабатываемого материала;
- возможность травмирования при установке и смене рабочих органов или инструментов.

Оградительные устройства чаще всего изготавливают в виде сплошных жестких щитов и кожухов из листовой стали толщиной не менее 0,8 мм, либо листового алюминия толщиной не менее 2 мм, либо из прочной пластмассы толщиной не менее 4 мм. При необходимости осмотра ограждаемых механизмов или деталей оборудования ограждения снабжают смотровыми окнами из безопасного стекла толщиной не менее 4 мм. С этой же целью, а также для снижения массы конструкции ограждения выполняют с отверстиями. Они могут представлять собой решетки или сетки. Решетчатые и сетчатые ограждения необходимо располагать не ближе 50 мм от движущихся частей. Обычно размер ячеек сетки не превышает 10 x 10 мм.

В зависимости от назначения и условий работы ограждения изготавливают из различных материалов. Они могут одновременно выполнять роль паро-, газо- и пылеприемников, исключать воздействие тепловых и электромагнитных излучений на работающих, а в отдельных случаях снижать шум и т.п. Такие ограждения называют комбинированными. Например, ограждение заточного круга, кроме защиты человека от отлетающих частиц (в том числе и частей самого круга при его разрушении), выполняет функцию пылеприемника.

Оградительные устройства на движущиеся части оборудования выполняются из сплошного материала, а также в виде решеток или сеток. Размер ячеек в сетчатом ограждении или ширина щели между элементами решетки может быть определена из следующего выражения [2]:

$$b = 0,1 \cdot l + 5 \text{ мм}, \quad (1)$$

где b – ширина щели или ячейки, мм;

$l \leq 500$ мм – расстояние от ограждения до опасной зоны.

Если сетчатые ограждения выполнены в виде отверстий круглого сечения, то они должны удовлетворять следующим условиям:

$$\begin{aligned} &\text{при } x > 60, d \leq 0,1 \cdot x; \\ &\text{при } x \leq 60, d \leq 6, \end{aligned} \quad (2)$$

где x – расстояние от частей оборудования, представляющих опасность для работающих, до ограждения, мм;

d – диаметр отверстия, мм.

В ограждениях с отверстиями в виде многоугольников вписанные в них окружности должны удовлетворять тем же условиям, а любые диагонали многоугольников не должны превышать удвоенного диаметра окружности.

Материалом для защитных ограждений (экранов) могут быть оргстекло, сталь, сплавы алюминия, механические свойства которых приведены в таблице 1.

Выбор материала и толщина экрана зависит от величины динамических нагрузок, действующих на экран. На экран может ударно воздействовать элементная стружка, а также режущий инструмент при его вылете вследствие плохого крепления или разрушения, на испытательных стендах – испытываемые образцы, узлы, элементы стенда. Экран может разрушиться вследствие возникающих изгибных деформаций либо может быть «прошит» насквозь стружкой или подобным ей элементом.

Таблица 1 – Материалы защитных экранов и их механические характеристики

Материал	Модуль продольной упругости E , МПа	Допускаемое напряжение на изгиб $[\sigma]$, МПа	Коэффициент Пуассона μ
Оргстекло «СОЛ»	$2,7 \cdot 10^3$	120	0,3
Оргстекло «СТ-1»	$2,9 \cdot 10^3$	140	0,3
Оргстекло «2-55»	$3,5 \cdot 10^3$	140	0,3
Сталь	$(2,0-2,1) \cdot 10^5$	140–230	0,24–0,28
Сплавы алюминия	$(7,0-7,2) \cdot 10^4$	46–75	0,32

Определение толщины сплошного экрана h при изгибном воздействии на него ведется для наиболее опасного случая – удар в центр экрана. При этом прочность экрана должна соответствовать условию [3]

$$[\sigma] > \sigma_{\text{экв}}, \quad (3)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение на изгиб материала экрана, МПа;

$\sigma_{\text{экв}}$ – действующее эквивалентное напряжение на изгиб материала экрана, МПа;

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_x - \sigma_y, \quad (4)$$

где σ_x – напряжение на изгиб в направлении по длине экрана, МПа;

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2} (\epsilon_x + \mu \epsilon_y), \quad (5)$$

σ_y – напряжение на изгиб в направлении по высоте экрана, МПа;

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2} (\epsilon_y + \mu \epsilon_x), \quad (6)$$

где μ и E – соответственно коэффициент Пуассона и модуль продольной упругости материала экрана, МПа (таблица 1);

ε_x и ε_y – относительные деформации по осям x и y , рассчитываемые по формулам:

$$\varepsilon_x = \frac{2\delta_x F \cos \frac{2\pi x}{a} \left(1 - \cos \frac{2\pi y}{b}\right)}{\pi^2 D a b^3 \left(\frac{3}{a^4} + \frac{2}{a^2 b^2} + \frac{3}{b^4}\right)},$$

$$\varepsilon_y = \frac{2\delta_y F \cos \frac{2\pi y}{a} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{b}\right)}{\pi^2 D a^3 b \left(\frac{3}{a^4} + \frac{2}{a^2 b^2} + \frac{3}{b^4}\right)},$$
(7)

где σ_x , σ_y – статические деформации по осям x и y от $F_{ст}$, м;

F – динамическое воздействие на экран, Н; $F = 2 \cdot F_{ст}$;

$F_{ст}$ – значение статического воздействия на экран, Н, определяемое по формуле:

$$F_{ст} = \frac{m \cdot v}{t},$$
(8)

где m – максимальная масса элемента, вылет которого возможен, кг;

v – скорость элемента в момент удара, м/с;

$t = l/v$ – время соударения элемента с экраном, с;

l – расстояние от элемента до экрана в начальный момент, м;

a , b – соответственно высота и длина экрана, м, определяются размерами опасной зоны с учетом конструкции ограждаемого оборудования;

D – параметр, определяемый по формуле:

$$D = \frac{E \cdot \sigma_{ст}^2}{12(1 - \mu^2)},$$
(9)

где $\sigma_{ст}$ – статическая деформация от силы $F_{ст}$, м.

Применительно к имеющимся конструкциям ограждений типа защитных козырьков или щитков (рисунок) может быть использована следующая методика проверочного расчета на прочность. Из условий прочности должно выполняться условие

$$\sigma_{дин} < [\sigma],$$
(10)

где $\sigma_{дин}$ – напряжение при динамической нагрузке, МПа;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение на изгиб материала экрана, МПа (таблица 1)

$$\sigma_{дин} = \sigma_{ст} \cdot k_{дин},$$
(11)

где $\sigma_{ст}$ – напряжение при статической нагрузке, МПа;

$k_{дин}$ – динамический коэффициент.

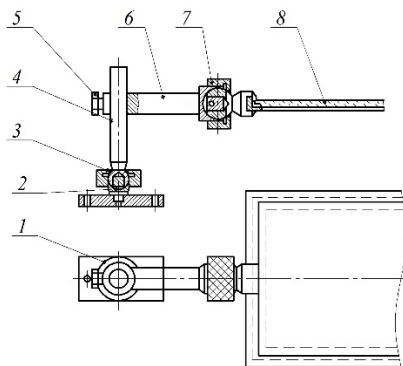


Рисунок – Ограждение типа защитного козырька (щитка)

1 – фланец; 2 – подшипник; 3 – пята шаровая; 4 – стойка; 5 – винт;
6 – кронштейн; 7 – шаровой шарнир; 8 – рамка

Динамический коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{дин}} = 1 + \frac{v^2}{g \delta_{\text{ст}} \left(1 + \frac{kM}{m} \right)}, \quad (12)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

$\delta_{\text{ст}}$ – статическая деформация от силы mg , м ;

k – коэффициент приведения; в первом приближении значение его может быть принято $k = 1/3$;

M – масса ограждения, кг ;

m – масса ударяющего тела, кг .

Значение статической деформации с учетом многообразия способов крепления защитного козырька определяют экспериментально путем нагружения передней его кромки силой mg (в точке, делящей ширину щитка пополам). Возможно нагружение единичной либо любой другой силой тяжести $F_{\text{нагр}}$. Полученное в этом случае значение статической деформации корректируется пропорционально отношению $mg/F_{\text{нагр}}$.

Для исключения «прошивания» защитного экрана должно выполняться условие

$$v < v_0, \quad (13)$$

где v – скорость элемента в момент удара, м/с (в первом приближении принимается равной максимальной скорости элемента либо окружной скорости вращения объекта или максимальной скорости резания), $v = 16,7 \text{ м/с}$;

v_0 – минимальная скорость, с которой элемент массой m «прошивает» экран

$$v_o = \xi d \sqrt{h \cdot \left(\frac{h}{m}\right)^n}, \quad (14)$$

где ξ – коэффициент, значение которого принимается для пластиков равным $1,1 \cdot 10^6$, для металлов $1,23 \cdot 10^7$;

d и m – размер и масса вылетающей стружки; определяются в каждом конкретном случае с учетом обрабатываемого материала, параметров резания, типа режущего инструмента и условий его заточки; наличия и типа стружкоколбмателя;

h – толщина экрана,

n – показатель степени, учитывающий толщину экрана, обычно $n = 2$.

Варьируя значения h по формуле (14), определяют значение v_o и производят его сравнение со значением фактической скорости соударения v . В качестве расчетного принимается наименьшее значение толщины экрана, при котором выполняется условие ($v < v_o$). По рассмотренной методике может быть проведен также расчет толщины ограждений типа щитов и экранов-кожухов.

Сетчатые оградительные устройства применяются только при отсутствии вероятности динамических воздействий на защитный экран. Расстояния от опасного элемента оборудования до ограждения установлены ГОСТ 12.2.062-81 (таблица 2).

Таблица 2 – Расстояния от опасного элемента оборудования до ограждения

Наибольший диаметр окружности, вписанной в отверстие решетки (сетки), мм	До 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 25	Св. 25 до 40
Безопасное расстояние, мм, не менее	15	15...35	35...120	120...200

Ко всем оградительным устройствам независимо от вида оборудования, на котором они установлены, предъявляются требования надежности, безопасности и удобства в эксплуатации.

Список использованных источников

1. Опасные зоны станков. Оградительные и тормозные устройства. Электронный ресурс Режим доступа <http://delta-grup.ru/bibliot/32/33.htm>
2. Основин, В. Н. Безопасность работы технических систем : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Управление охраной труда в сельском хозяйстве» / В. Н. Основин, Л. Г. Основина, О. В. Сокол ; Минсельхозпрод РБ, УО «БГАТУ». – Минск : БГАТУ, 2016. - 256 с.
3. Курдюмов, А. С. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности/ А. С. Курдюмов, Б.И. Зотов. – М.: Колос, 2005. – 215 с.

Summary. All protective devices, regardless of the type of equipment on which they are installed, must meet requirements for reliability, safety and ease of use.

Основин В.Н., кандидат технических наук, доцент;

Сокол О.В., старший преподаватель

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ОПАСНЫЕ ЗОНЫ И ТРАВМИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРИ РАБОТЕ НА МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТАХ

Аннотация. При выполнении работ на машинно-тракторных агрегатах (МТА) и разнообразии территориально-производственных условий существуют множественные связи между агрегатом и условиями работы, определяющие безопасность производственного процесса. Так как МТА понятие широкое, то лучше рассматривать их через опасные зоны. Это дает возможность определять факторы территориально-производственных условий и технико-эксплуатационных показателей, связывающихся на травмоопасности в той или иной опасной зоне.

Abstract. When performing work on machine-tractor units (MTU) and a variety of territorial production conditions, there are multiple links between the unit and the working conditions that determine the safety of the production process. Since MTU is a broad concept, it is better to consider them through danger zones. This makes it possible to determine the factors of territorial production conditions and technical and operational indicators associated with injury hazard in a particular danger zone.

Ключевые слова. Опасная зона, машинно-тракторный агрегат, травмирующие факторы, производственный процесс, безопасность.

Keywords. Danger zone, machine and tractor unit, traumatic factors, production process, safety.

Опасные зоны при работе машинно-тракторных агрегатов (МТА) – это участки, на которых существуют высокие риски травмирования персонала из-за воздействия движущихся частей машин и механизмов, рабочей жидкости, выхлопных газов и опрокидывания техники.

Типичными травмоопасными ситуациями при работе на тракторах и самоходных машинах являются опрокидывание, падение с гусениц или подножек при пуске двигателя или заправке, травмы при отрыве металлических частей, вращающихся рабочих органов, травмирование бортами прицепов, захват конечностей и др.

Несчастный случай как результат сложившейся опасной или аварийной ситуации обуславливается рядом факторов и причин. Влияние различных факторов, которые определяют причины несчастного случая, рассмотрим в взаимосвязи «человек-машина-среда» (ЧМС).

Управляет машинно-тракторным агрегатом тракторист (оператор), а на некоторых агрегатах кроме тракториста работают машинисты (два оператора).

Под термином «машина» в данном случае будем понимать машинно-тракторные агрегаты, которые очень разнообразны по своему назначению и видам выполняемых работ. Агрегаты могут состоять из различных типов тракторов, сельскохозяйственных машин, видов сцепок.

Понятие «среда» при выполнении работ на машинно-тракторных агрегатах в сельском хозяйстве имеет широкий смысл: учитываются условия производственного участка (поле, дорога и др.), которые характеризуются влажностью и типом почвы, ее растительным покровом, размерами и др. Имеют значение организация работ на участке и наличие людей, время и сроки проведения работ и много других объективных факторов. В данном случае под «средой» надо понимать рабоче-производственный фон [1].

Факторы каждого элемента системы человек-машина-среда характеризуются рядом признаков, которые выявлены и определены на основании изучения несчастных случаев с тяжелым и смертельным исходом, происшедших на машинно-тракторных агрегатах [2].

На основании теоретических предпосылок и анализа травматических и аварийных ситуаций на машинно-тракторных агрегатах определено восемь опасных зон (рисунок).

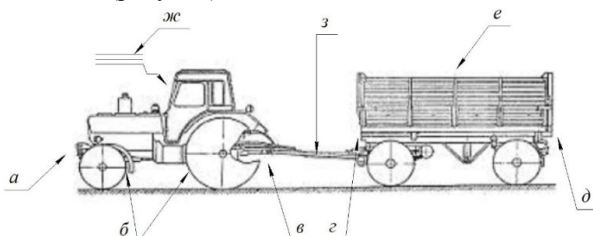


Рисунок – Опасные зоны машинно-тракторного агрегата:

а – опасная зона 1; б – опасная зона 2; в – опасная зона 3; г – опасная зона 4;
д – опасная зона 5; е – опасная зона 6; ж – опасная зона 7; з – опасная зона 8

Характеристика опасных зон и травмирующих факторов приведена в таблице.

Приведенный анализ травматизма показывает более опасные зоны МТА и зоны с меньшим количеством несчастных случаев. Однако в каждой из восьми зон возможно травмирование.

Как видно из определений зон опасности, они характеризуются направлением движения машинно-тракторных агрегатов, обозреваемостью. В зависимости от этих характеристик направление движения определено тремя признаками: прямолинейное, на повороте и частный случай – агрегат не движется. Кроме этого, опасные зоны характеризуются как обозреваемые, периодически обозреваемые и необозреваемые (в зависимости от территориально-производственных условий и МТА).

Таблица – Характеристика опасных зон и травмирующих факторов при работе машинно-тракторных агрегатов (МТА)

Основные ситуации образования опасных зон	Причины травматизма	Наиболее проявляющие травмирующие факторы
1	2	3
Опасная зона 1		
• при движении МТА вперед передней поверхностью трактора; • нахождение людей постоянно, периодически или случайно перед МТА; • имеет различную конфигурацию в зависимости от направления движения (прямолинейно или на повороте).	• неосторожность при переходе на пути движения МТА человеком; • несогласованность действий тракториста и человека, обслуживающего работу МТА вне агрегата; • наличие невидимой зоны впереди МТА; • неисправность органов управления	• придавливание («защемление») человека; • наезд на человека; • в этой зоне происходит 9,9 % несчастных случаев
Опасная зона 2		
• при движении трактора вперед, назад или боковой поверхностью агрегата; • при запуске или повороте агрегата на места; • форма зоны зависит от направления движения МТА: прямолинейно, на повороте в движении или на месте	• неисправность пускового устройства, обеспечивающего запуск из кабины трактора; • неисправность блокирующего устройства; • случайное нахождение людей при повороте на месте агрегата или неосторожные действия	• наезд на человека; • в этой зоне происходит 14,4 % несчастных случаев
Опасная зона 3		
• при движении МТА задним ходом задней поверхностью трактора; • при сцепке трактора с агрегатом, когда там находится человек; • форма зоны зависит от направления движения, обозревается не постоянно, а периодически	• отсутствие автоматической сцепки; • несогласованность тракториста и сцепщика; • неисправность органов управления; • соскальзывание ноги тракториста с педали муфты сцепления	• «защемление» человека между трактором и прицепляемым агрегатом; • наезд на человека; • в этой зоне происходит 12,4 % несчастных случаев
• образуется передней поверхностью прицепляемого агрегата; • нахождение людей в зоне может быть постоянным (при сцепке) и случайным; • форма зоны зависит от направления движения МТА, обозревается не постоянно, а периодически (в зависимости от вида работ)	• отсутствие автоматической сцепки; • несогласованность перед началом движения МТА тракториста и рабочего, обслуживающего МТА; • неисправность органов управления трактора	• наезд на человека; • нанесение удара вращающимися узлами агрегата; • падение с МТА; • в этой зоне происходит 6,2 % несчастных случаев

Окончание таблицы

1	2	3
Опасная зона 4		
• образуется передней поверхностью прицепляемого агрегата; • нахождение людей в зоне может быть постоянным (при сцепке) и случайным; • форма зоны зависит от направления движения МТА, обозревается не постоянно, а периодически (в зависимости от вида работ)	• отсутствие автоматической сцепки; • несогласованность перед началом движения МТА тракториста и рабочего, обслуживающего МТА; • неисправность органов управления трактора	• наезд на человека; • нанесение удара вращающимися узлами агрегата; • падение с МТА; • в этой зоне происходит 6,2 % несчастных случаев
Опасная зона 5		
• образуется задней поверхностью МТА при движении его задним ходом; • характеризуется как зона с постоянным или случайным нахождением людей; • зона периодически обозревается, но не по всей величине	• несогласованность перед началом движения МТА, тракториста и рабочего, обслуживающего МТА; • плохая обзорность; • невнимательность, случайное появление людей в зоне; • неисправность органов управления трактором	• придавливание («зашемление») человека; • наезд на человека; • нанесение удара вращающимися узлами агрегата; • в этой зоне происходит 3,3 % несчастных случаев
Опасная зона 6		
• обусловлена нахождением людей на верхней поверхности МТА и в кабине; • возможное опрокидывание верхней поверхности МТА; • зона характеризуется постоянным нахождением в ней людей	• опрокидывание МТА в кюветы, каналы, овраги и т. д.; • превышение скорости на повороте; • трогание с места МТА с находящимися людьми в прицепе сельскохозяйственной машины	• возможное «зашемление» человека между верхней поверхностью агрегата и землей; • падение человека с высоты; • наезд на человека; • в этой зоне происходит 25 % несчастных случаев
Опасная зона 7		
• образуется всей поверхностью МТА при соприкосновении его с проводом линии электропередачи (ЛЭП); • ситуация не постоянна, а возникает в результате нарушения техники безопасности в зоне ЛЭП при выполнении работ на МТА	• провисание провода ЛЭП; • оборванный провод ЛЭП; • работа в опасной зоне ЛЭП	• поражение электрическим током; • в этой зоне происходит 4 % несчастных случаев
Опасная зона 8		
• включает в себя опасные факторы отдельных узлов МТА, которые могут проявить себя как при движущемся, так и при недвижущемся агрегате	• отсутствие ограждений; предохранительных устройств на вращающихся узлах; • развевающаяся одежда, отсутствие упоров под поднятым кузовом	• «наматывание» частей тела человека; • придавливание («зашемление») человека; • нанесение удара вращающимися узлами агрегата; • в этой зоне происходит 3,3 % несчастных случаев

Комплектование МТА позволяет некоторые зоны исключать. Так, если взять один трактор, без сельскохозяйственной машины, то опасных зон 4 и 5 не будет. Следовательно, наличие опасных зон определяет в некоторой степени и травмоопасность агрегата. В зависимости от разнообразия и сложности агрегатов, наличие у них опасных зон определено восемь наиболее проявляющихся опасных факторов: карданные передачи, поднятый кузов прицепа, транспортеры, ножи и другие режущие и колющие де-тали (особенно в 8-й опасной зоне); три других травмирующих фактора проявляют себя в остальных опасных зонах. Сюда относится поверхность МТА, ограничивающая опасную зону (например, в опасной зоне 1 – передняя поверхность трактора); две поверхности, когда возможно «защемление» человека между ними (операция сцепки вручную); поверхность земли при падении человека с высоты агрегата. Остальная незначительная часть травмирующих факторов отнесена к группе «прочие».

В зависимости от сложившейся травматической ситуации в опасной зоне МТА и от травмирующего фактора определены следующие виды травмирования: «наматывание» (в большинстве случаев бывает при травмировании карданным валом); «защемление», придавливание человека (возможно при сцепке трактора с сельскохозяйственной машиной, при опускании кузова прицепа); наезд на человека (в опасных зонах 1, 2, 3, 4, 5); нанесение удара (вращающимися узлами агрегата и т.п.); падение с машинно-тракторного агрегата (особенно с тракторных прицепов); поражение электрическим током, когда агрегат в сложившейся ситуации находится под напряжением.

Список использованных источников

1. Основин, В. Н. Безопасность работы технических систем : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Управление охраной труда в сельском хозяйстве» / В. Н. Основин, Л. Г. Основина, О. В. Сокол ; Минсельхозпрод РБ, УО «БГАТУ». – Минск : БГАТУ, 2016. - 256 с.

2. Гарбар, В. А. Травматизм на машинно-тракторных агрегатах и меры по его предупреждению / В. А. Гарбар. – Мн.: Ураджай, 1994. – 104 с.

Summary. Depending on the traumatic situation that has developed in the MTU danger zone and on the traumatic factor, the following types of injury have been defined: "winding up" (in most cases, this occurs when injuring a person with a cardan shaft); "pinching", crushing a person (possible when coupling a tractor to an agricultural machine, when lowering a trailer body); running over a person (in danger zones 1, 2, 3, 4, 5); striking (by rotating parts of the unit, etc.); falling from a machine-tractor unit (especially from tractor trailers); electric shock, when the unit is energized in the current situation.

Лазарев И.В., кандидат педагогических наук, доцент, зав. кафедрой;
Радченко С.А., доктор технических наук, доцент, профессор кафедры;
*ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет
им. Л.Н. Толстого», г. Тула, Российская Федерация*

ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШАТЬ ПОДГОТОВКУ КАДРОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, ИСПОЛЬЗУЯ МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО И ЛУЧШИЙ МИРОВОЙ ОПЫТ

Аннотация. Научно обоснована и подготовлена реальная возможность улучшать подготовку кадров для сельского хозяйства за счет организации международного сотрудничества выпускающих их кафедр. Это позволит эффективнее использовать лучшие методы обучения и учебные пособия, в том числе совместно подготовленные кафедрами разных университетов.

Abstract. A real opportunity to improve training of personnel for the agricultural sector through the organization of international cooperation between the departments that train them has been scientifically substantiated and prepared. This will allow for more effective use of the best teaching methods and textbooks, including those jointly developed by departments at different universities.

Ключевые слова. Улучшение обучения; кадры сельского хозяйства; международное сотрудничество; лучший мировой опыт.

Keywords. Improving education; agricultural personnel; international cooperation; the best global practices.

Задача совершенствования подготовки кадров для сельского хозяйства с учетом современных требований всегда актуальна во всех странах, а при бюджетном дефиците ее решение становится особенно трудным. Самым сложным и затратным является обучение в высших учебных заведениях кадров технического профиля для сельского хозяйства, которое является самым затратным и трудным по ряду объективных причин [1-5], так как:

- многие виды сельскохозяйственной техники часто совершенствуют и модернизируют, причем они очень дороги и поэтому не могут регулярно покупаться и часто обновляться вузами для использования при обучении;

- многие преподаватели не имеют возможностей, а часто и желания тратить много времени для регулярного изучения технических новинок;

- традиционные методы изучения студентами очень разнообразного сельскохозяйственного оборудования требуют очень больших затрат ими времени, что обычно невозможно из-за недостаточной длительности ряда учебных курсов, и недостаточно эффективны по объективным причинам.

Поэтому некоторые кафедры сельскохозяйственного профиля в ряде стран разрабатывают и используют в учебном процессе новые методы для решения этих проблем при минимальных затратах университетов [1-5]. Очевидно, что обеспечение изучения и применения такого опыта на таких же кафедрах в университетах других регионов и стран может быть самым

быстрым, результативным и перспективным реальным способом повысить качество обучения кадров технического профиля для сельского хозяйства.

Но для реального обеспечения этого в современных условиях нужны новые организационно-экономические решения, так как пока: 1 – многие лучшие учебно-методические разработки преподавателей используются в учебном процессе только на одной кафедре и не внедряются на других; 2 – демонстрация этих достижений на научных конференциях обеспечивает их авторам получение научных публикаций, но не помогает внедрять их.

Самым реальным и перспективным способом обеспечить массовое и успешное внедрение лучших разработок преподавателей при обучении студентов на многих кафедрах сельскохозяйственного профиля в вузах разных регионов и стран (особенно в России и Белоруссии) может быть организация непосредственного «горизонтального» сотрудничества этих кафедр без больших дополнительных расходов их университетов (за счет совместного использования ими самых эффективных и давно и успешно применяемых в ведущих странах многосторонних «рамочных» договоров о многостороннем международном сотрудничестве [6]). Ведь важнейшие преимущества таких многосторонних «рамочных» договоров следующие:

1 – они очень похожи на обычные протоколы о намерениях и на традиционные договоры о сотрудничестве всех университетов с любыми организациями, которые сотнями подписываются в каждом университете и даже на факультетах (ведь в них нет никаких финансовых обязательств);

2 – их могут успешно использовать любые факультеты и их кафедры;

3 – именно такие договоры о международном сотрудничестве делают его более полезным для всех участвующих в нем факультетов и кафедр, создав гораздо лучшие возможности для полезного всем сотрудничества в научно-исследовательской и учебно-методической деятельности и даже для их выгодного участия в всегда хорошо финансируемых региональных, государственных и международных программах и «пилотных» проектах с получением ими новых бюджетных хоздоговоров много лет (безотказные во всех странах и регионах законные методы реального обеспечения этого уже много десятилетий успешно используются рядом самых знаменитых и процветающих университетов России и ведущих стран мира [1-3, 7-10]).

То есть использование таких «рамочных» договоров о международном сотрудничестве факультетов и кафедр университетов из разных регионов и стран является самым быстрым и реальным способом сильно повышать результативность их деятельности, эффективнее используя потенциал их кадров и лучший мировой опыт законного повышения их дохода [1-3, 7-10].

Особенно полезным использование таких многосторонних «рамочных» договоров о сотрудничестве [6] может быть всем факультетам и кафедрам сельскохозяйственного профиля в вузах России и Белоруссии, так как:

1 – в сельском хозяйстве этих стран используются многие образцы сельскохозяйственной техники российского и белорусского производства,

которые обновляются и модернизируются, поэтому для ее эффективного применения и сервисного обслуживания в ней надо хорошо разбираться;

2 – традиционными методами крайне трудно обеспечивать (по многим объективным причинам) постоянное изучение преподавателями кафедр множества новых образцов сельскохозяйственной техники российского, белорусского и другого производства и частое обновление различной учебно-методической литературы с учетом этой новой информации [1-6];

3 – ряд самых знаменитых в мире университетов уже давно применяет лучшие способы решения многих проблем без собственных затрат за счет сотрудничества с администрацией, другими вузами и фирмами [1-3, 6-10].

Например, на кафедре агроинженерии и техносферной безопасности Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого (она выпускающая по направлениям: 1 – «Агроинженерия» по профилю подготовки бакалавров «Технические системы в агробизнесе»; 2 – бакалавров по направлению «Техносферная безопасность», которые могут работать инженерами по промышленной, экологической, пожарной безопасности, надежности, охране труда на промышленных предприятиях и организациях любой формы собственности; специалистами в службах по экологическому, технологическому и атомному надзору, инспекции труда, гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий), много лет успешно ведутся разработка и использование в учебном процессе новых методов и учебных и учебно-методических пособий для улучшения изучения студентами многих видов современного оборудования, в том числе и самого сложного, и правил его правильного выбора и эффективного и безопасного применения [4-5, 11].

Это позволяет обеспечить получение студентами этой специальности знаний, умений и практических навыков для успешного решения очень важных при работе в сельском хозяйстве задач: 1 – лучшего использования и технического обслуживания любых видов сельскохозяйственной техники (за счет гораздо лучшего понимания ее принципов действия и устройства); 2 – правильного выбора надежных поставщиков оборудования по ценам производителей и снижения рисков при ее использовании и техническом обслуживании (используя Интернет); 3 – повышения безопасности работ.

Для улучшения подготовки студентов этой специальности к решению первых двух задач они выполняют 18 лабораторных работ по дисциплине «Теплотехника и энергетические машины», используя инновационный электронный интерактивный лабораторный практикум [11]. В каждой из этих лабораторных работ очень много иллюстраций (фотографии, схемы, графики и т.д.), что позволяет максимально использовать визуализацию изучаемого материала и повышать качество обучения и интерес студентов к каждой теме, а перед окончанием 15 лабораторных работ предусмотрено получение каждым студентом практических навыков поиска различных образцов такого оборудования в Интернете на сайтах его производителей

(изучая его принципиальную схему и принцип действия, технические характеристики и преимущества и недостатки с внесением всей этой информации в отчет о лабораторной работе в электронном виде [11]).

При выполнении таких заданий по отработке навыков использования сети Интернет для поиска и анализа нужной информации при подборе оборудования в каждой из этих 15 лабораторных работ [11] используется успешно отработанная за многие годы и нравящаяся всем студентам инновационная методика организации их групповой работы, при которой каждый студент получает достоверную наглядную информацию о многих образцах изучаемого оборудования при малых затратах им своего времени.

Использование этого лабораторного практикума [11] при подготовке инженерных кадров для сельского хозяйства и наиболее эффективных методов для организации индивидуальной и групповой самостоятельной работы студентов в целях значительного улучшения изучения ими многих видов сельскохозяйственной техники с использованием Интернета [4-5] – реальный, перспективный и совершенно незатратный способ улучшения обучения, который можно использовать уже на первом этапе уникального по ряду возможностей белорусско-российского сотрудничества [1-3, 6-10].

Для улучшения обучения студентов охране труда в агропромышленном комплексе уже 10 лет успешно используются инновационные электронные интерактивные учебное пособие (курс лекций) [12], лабораторный практикум [13] и практикум [14]. В каждом из этих учебных пособий тоже есть огромное количество иллюстраций, сильно улучшающих обучение.

Поэтому самым быстрым и простым способом обеспечить применение лучших разработок любой кафедры на других кафедрах в других странах и регионах может быть организация их «горизонтального» сотрудничества, сразу используя важные преимущества «рамочных» договоров о нем [6]. Это позволит быстро и успешно совместно обеспечивать: 1 – переиздание имеющихся учебных и учебно-методических пособий (например, [11-14]) с внесением в них новой информации и их последующим использованием в учебном процессе; 2 – подготовку совместных научных статей и т.д. [1].

А самым перспективным и полезным для любых факультетов и кафедр сельскохозяйственного профиля может быть подписание многосторонних «рамочных» договоров о международном сотрудничестве университетов с органами управления их регионов и региональных центров [1-3, 6-10] для комплексного и наименее затратного для бюджетов решения актуальных для администрации и университетов проблем с использованием лучшего опыта ряда самых знаменитых университетов России и ведущих стран. Это позволит использовать давно отработанные и успешно применяемые в любых регионах ведущих стран безотказные законные методы, которые обеспечивают участвующие в этом сотрудничестве факультеты и кафедры новыми бюджетными хоздоговорами по актуальной тематике и их участие в региональных, государственных, международных программах [1-3, 6-10].

Список использованной литературы

1. Радченко С. А. Малозатратный способ улучшения обучения и охраны труда в АПК, используя лучший мировой опыт, международное сотрудничество и новые бюджетные хоздоговоры кафедр // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сборник научных статей по материалам XXVIII Международной научно-практической конференции. – Гродно : ГГАУ, 2025. – С. 132–134.
2. Радченко С. А. Лучший мировой опыт решения проблем обучения и экономики в регионах и самый реальный способ быстро использовать его на основе международного сотрудничества и уникальных хоздоговоров для экономических и технических кафедр вузов // Актуальные проблемы современных экономических систем – 2025: сборник научных трудов. – Брест : БрГТУ, 2025. – С. 37–46.
3. Радченко С. А. Лучший мировой опыт комплексного решения проблем технологического обучения, внедрения новых достижений и доходов вузов и их ведущих кадров, используя возможности региональных программ // Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития: Материалы X Всероссийской (с международным участием) научно-методической конференции. – М. : МПГУ, 2024. – С. 417–422.
4. Радченко С. А. Методы улучшения обучения по дисциплине «Теплотехника и энергетические машины» // Университет XXI века: научное измерение. Материалы научной конференции научно-педагогических работников, аспирантов, магистрантов ТГПУ им. Л.Н. Толстого. – Тула : ТГПУ им. Л.Н. Толстого, 2024. – С. 35–37.
5. Радченко С. А. Методы и учебные пособия для улучшения изучения и выбора оборудования при обучении физике, технологии, теплотехнике и охране труда // Векторы инновационного развития: Материалы I Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Часть 2. – Барановичи : БарГУ, 2020. – С. 76–78.
6. Радченко С. А. Многосторонние договора о сотрудничестве – самый быстрый, реальный и малозатратный способ улучшить обучение технологии и доходы вузов и их ведущих кадров, используя лучший мировой опыт // Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития. Материалы IX Международной научно-методической конференции. – М.: МПГУ, 2023. – С. 215–220.
7. Радченко С. А. Международное сотрудничество – лучший способ эффективного внедрения в вузах и школах образовательных технологий нового поколения // Педагогическая наука и образование: сохраняя прошлое – создаем будущее: материалы Международного научно-практического форума, посвященного 110-летию БГПУ. – Минск : БГПУ им. М. Танка, 2025. – С. 424–427.
8. Радченко С. А. Возможности быстро улучшать обучение в регионах и получать большие хоздоговоры для кафедр педагогических вузов, используя лучший мировой опыт и межрегиональное сотрудничество // Современное технологическое образование: сборник статей, докладов и материалов XXX Международной научно-практической конференции. – М. : Ассоциация технических университетов, 2024. – С. 10–18.
9. Радченко С. А. Мировой опыт улучшения обучения, дающий кафедрам уникальные возможности и бюджетные хоздоговоры, и способ быстро использовать его в любых регионах // Проблемы и перспективы технологического и физико-математического образования в России и за рубежом: электронный

сборник материалов VII Международной научно-практической конференции. – Ишим : ИПИ им. П. П. Ершова (филиал) ФГАОУ ВО «ТюмГУ», 2025. – С. 226-231.

10. Радченко С. А. Использование опыта инновационной деятельности ведущих зарубежных вузов – лучший способ комплексного решения задач и проблем вузов и технолого-экономического образования // Сборник статей X Междунар. научно-практич. конф., посвящ. 70-летию ТГПУ им. Л. Н. Толстого и 30-летию факультета технологии, экономики и сельского хозяйства. Ч. 1. – Тула : ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2009. – С. 75–81.

11. Лабораторный практикум по курсу «Теплотехника и энергетические машины»: учебно-методическое пособие / С. А. Радченко, А. Н. Сергеев, С. С. Радченко. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2016. – 570 с.

12. Охрана труда в агропромышленном комплексе: учебное пособие / С. А. Радченко, А. Н. Сергеев, С. С. Радченко. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – 420 с.

13. Лабораторный практикум по курсу «Охрана труда в агропромышленном комплексе»: учебно-методическое пособие / С. А. Радченко, А. Н. Сергеев, С. С. Радченко. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – 284 с.

14. Практикум по курсу «Охрана труда в агропромышленном комплексе»: учебно-методическое пособие / С. А. Радченко, А. Н. Сергеев, С. С. Радченко. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – 178 с.

Summary. A real opportunity has been scientifically substantiated and prepared for the rapid and least expensive improvement of training for agriculture and the introduction of innovations, using the best experience of the most famous universities and multi-lateral international cooperation. This is the best way to organize cooperation between departments in order to improve training and obtain new budgetary contracts.

УДК: 331.45 ORCID iD: 0009-0001-3775-5971

Городецкая Е.А.¹, кандидат технических наук, доцент;

Непарко Т.А.¹, кандидат технических наук, доцент;

Пантелеенко Е.Ф.², кандидат технических наук, доцент;

Варавко Н.В.³

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

² Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

³ ЦОТ ГПО «Минскстрой», г. Минск, Республика Беларусь

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ОХРАНЫ ТРУДА, РАБОТАЮЩИХ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Аннотация. Управление внутренней мотивацией работников на безопасный труд и соблюдение требований охраны труда в последнее время распространилось достаточно широко: работающие понимают, что риски многообразны: это орудия и предметы труда, используемые материалы и вещества, характер производственных процессов.

Abstract. Managing employees' intrinsic motivation for safe work and compliance with occupational health and safety requirements has recently become quite widespread: workers understand that risks are manifold: tools and equipment, materials and substance used, and the nature of production processes.

Ключевые слова: сельскохозяйственная организация, производственные риски, система управления охраной труда, нулевой травматизм, Республика Беларусь

Keywords: agricultural organization, production risks, occupational health and safety management system, zero injuries, Republic of Belarus

Создание безопасных условий труда, особенно в сельском хозяйстве, является общегосударственной задачей и предметом постоянного внимания управленческих и профсоюзных органов Республики Беларусь. Концепция государственного управления охраной труда нацеливает работодателя на профилактику травматизма и обеспечение безопасных и здоровых условий труда, коротко говоря: «от техники безопасности к безопасной технике» и нулевому травматизму при полном осознании существующих рисков. Обеспечение безопасности труда и качества средств индивидуальной защиты – приоритетная задача для производителей специальных рабочей одежды и обуви, руководителей сельскохозяйственных организаций всех форм собственности и контролирующих органов в рамках Технического регламента Таможенного Союза 017/2011 и 019/2011.

Руководители и работающие в различных подразделениях организации, инженерно-технические работники и иные специалисты являются главным объектом и субъектом сельскохозяйственной организации, они создают материальные ценности, их значимость невозможно переоценить.

Оценка существующих рисков производственных процессов и борьба с ними – основная задача службы охраны труда: невозможно переоценить жизнь и здоровье каждого работающего, должность специалиста по охране труда носит высокую социально-экономическую ответственность: неудовлетворенность работающих условиями труда приводит к текучести кадров; часто работающие вынуждены заканчивать свою трудовую деятельность раньше установленного возраста или менять место работы [1]. Совершенно очевидно: условия труда влияют на производительность – работающему необходимо сосредотачивать внимание на качественном выполнении задания, а не следить за собственной и коллег безопасностью. Поэтому работа по обеспечению безопасных условий труда удобными и качественными средствами индивидуальной защиты, надежным функционированием средств коллективной защиты является первостепенной.

Некоторые недостатки в работе руководителей подразделений и специалистов охраны труда приводят к травматизму на производстве. Но еще большую опасность создает ненадлежащее состояние строительных

конструкций, средств принудительной и естественной приточно-вытяжной вентиляции, халатное отношение к содержанию электроинструмента и всему теплоэнергетическому оборудованию, нередки электротравмы персонала. Большую проблему и даже конфликтность в коллективе работающих создает нечистое состояние работающих с точки зрения алкогольного состояния. Поэтому с целью системного и комплексного характера мероприятий по охране труда 20.09.2019 г. подписано Соглашение между Министерством труда и социальной защиты Республики Беларусь и Федерацией профсоюзов Беларуси о сотрудничестве по вопросам создания безопасных и здоровых условий труда и профилактики производственного травматизма. Это разработка и внедрение системы управления охраной труда и коллективных договоров, являющихся маркером серьезного и ответственного отношения к своим работающим практически во всех сельскохозяйственных организациях Беларуси.

СУОТ состоит из следующих элементов: разработка политики в области ОТ, планирование работы по ОТ на основании идентификационных опасностей, оценки рисков и необходимых мер по управлению рисками; разработка программ управления для выполнения каждой цели; распределение полномочий работников; осуществление аудитов, мониторингов, проверок по ОТ; анализ состояния ОТ высшим руководством организации; постоянное совершенствование СУОТ.

Реализация в организации всех этих важных составляющих будет успешна при тесном взаимодействии и взаимопонимании трех существенных субъектов: работающий – специалист по охране труда – руководитель организации. При выпадении из функционала одного звена вся безопасность в организации просто рухнет. Авторитет и поддержка руководителя, его понимание важности службы охраны труда, высокая дисциплинированность и обязательность часто становится залогом успеха работы службы охраны труда, здоровья работающих и безопасной среды всего трудового коллектива.

Служба охраны труда, со своей стороны, это важное звено в организации, почти руководитель организации, но, часто, нецененное, потому что работа ее специалистов практически невидна. Однако, в случае получения работающими травмы, заболевания, нахождения их в нетрезвом состоянии или несоответствия документации правилам и требованиям, тогда организацию представляет служба охраны труда. И вот здесь играют роль квалификация, организованность, системность и нравственные качества этого специалиста. Все эти грани оттачиваются на курсе переподготовки в институте повышения квалификации и переподготовки кадров агропромышленного комплекса БГАТУ с получением диплома государственного образца.

Контингент слушателей весьма разнообразен – долго и немного работающие в отрасли и по специальности, имеющие техническое и

гуманитарное высшее образование, добровольно и принудительно приехавшие на учебу в БГАТУ, люди всех возрастов. Но есть у них одно общее свойство – огромная мотивация, желание развиваться и изучать новые методики и операции, овладевать новыми цифровыми компетенциями. И если на начальном этапе мы наблюдаем скованность и настороженность слушателей, то к третьему и завершающему четвертому этапу обучения – это единый взаимодействующий коллектив, с полуслова понимающий один другого, готовый подсказать и подставить плечо. После окончания курса переподготовки они остаются на связи между собой и это еще более развивает их. С нашей, лекторов, помощью они превращают время работы в аудиториях в бесценную площадку обмена опытом, взаимного обучения и профессионального роста.

Со своей стороны руководство института и университета предоставляет доступ к богатым научным и библиотечным фондам, передовым цифровым технологиям, базовым сельскохозяйственным организациям, филиалам кафедры инновационного развития АПК, дает возможность участвовать в научно-практических конференциях, семинарах с международным участием, лекториях, постоянно совершенствуя и актуализируя учебные программы. Следует отметить всегда высокую посещаемость слушателями предлагаемых занятий, что свидетельствует о плодотворной работе научно-методического отдела института.

Важной ступенью формирования специалиста по охране труда в организации стали специализированные отраслевые центры, соответствующие дисциплинам каждого из четырех этапов. Мы «привязываем» такие выездные лекционно-практические занятия к тем профильным дисциплинам, знания по которым принципиально используются не только в сельскохозяйственной отрасли, но применимы во многих иных и смогут быть востребованы нашими выпускниками в других местах работы. Фактически, обучение в ИПК и ПК АПК БГАТУ становится важным заданием на будущее, давая легальное право занимать определенные должности.

Наши слушатели и выпускники кроме организационной работы ведут большую просветительскую деятельность, проводят регулярные Дни охраны труда и доносят в коллективах, что вредности и риски существенно зависят от человеческого фактора, т.е. от действий и поступков, компетенции и внутренней культуры людей: уровня исполнительности дисциплины, степени соблюдения предписаний и инструкций по охране труда, правил технической эксплуатации оборудования, соблюдения регламентов.

Профессорско-преподавательский состав института повышения квалификации и переподготовки кадров в результате проведения итоговой аттестации отмечает приращение знаний слушателей, качественный профессиональный рост, эмоциональную зрелость специалистов.

Выпускники овладевают методологическим подходом здоровьесохранения, когда они возвращаются в свои организации с новым подходом к своим обязанностям, проявляя заботу о работающих и их физическом состоянии, когда научились доносить, что риски ухудшения «нормальности» и «комфортности» уменьшаются и ликвидируются специальными службами и руководством организации, что эти видимые и психологические факторы повышают внутреннюю ответственность и дисциплинированность работающих, их личную мотивацию на безопасный труд, повышают культуру безопасности и приводят к так нужному «нулевому травматизму».

Список использованной литературы

1. Охрана труда в учреждениях образования: пособие для слушателей учреждений, обеспечивающих дополнительное образование взрослых : метод. рек. / сост. В.Н. Петраков; ГУО «Республиканский институт высшей школы». – Минск : РИВШ, 2022. – 180 с.

Summary. Managing employees' intrinsic motivation for safe work and compliance with occupational health and safety requirements has recently become quite widespread: workers understand that risks are manifold: tools and equipment, materials and substance used, and the nature of production processes.

УДК 621.43.068.4 : 621.43.06

Белохвостов Г.И.¹, кандидат технических наук, доцент;

Слонская С.В.¹, кандидат химических наук, доцент;

Арабей С.М.¹, доктор физико-математических наук, доцент;

Серебряков И.А.², кандидат технических наук, доцент;

Дубовик Д.А.³, доктор технических наук, доцент;

Климук А.С.³, старший научный сотрудник, начальник отдела;

Янович Д.Л.³, научный сотрудник;

Сидоревич В.И.⁴, старший научный сотрудник,

первый заместитель директора - главный инженер

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь,

² Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь,

³ ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь,

⁴ ЗАО «Амкодор-Пинск», г. Пинск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Аннотация. Описаны основные токсические компоненты, содержащиеся в отработавших газах поршневых двигателей внутреннего сгорания. Обсуждаются

современные экологические нормы, ограничивающие выброс вредных веществ. Основное внимание уделено методам снижения токсичности выхлопных газов. Выделены направления фундаментальных исследований, нацеленные на получение наибольшего экологического эффекта при выпуске отработавших газов.

Abstract. The main toxic components contained in the exhaust gases of reciprocating internal combustion engines are described. Modern environmental regulations limiting the release of harmful substances are discussed. The main focus is on methods to reduce exhaust gas toxicity. The directions of fundamental research aimed at obtaining the greatest environmental effect in exhaust gas production are highlighted.

Ключевые слова. экология, двигатели внутреннего сгорания, отработавшие газы, вредные вещества, методы снижения токсичности.

Keywords. ecology, internal combustion engines, exhaust gases, harmful substances, methods of reducing toxicity.

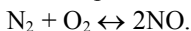
Выбросы отработавших газов (ОГ) поршневых двигателей внутреннего сгорания (ПДВС) автомобильного транспорта и внедорожной (в том числе и сельскохозяйственной) техники являются одним из видов загрязнения окружающей среды вредными веществами. Считается, что основными токсичными компонентами ОГ двигателей являются оксиды азота (NO_x), монооксид углерода (CO), сажа (C) и углеводороды (C_nH_m), соотношение которых в выхлопных газах зависит от параметров рабочих процессов (РП) двигателей [1-6]. Ограничение выбросов вредных компонентов ОГ регламентируется современными экологическими нормами, принятыми в Евросоюзе (Euro для автодорожного транспорта, Stage для внедорожной техники), США (Tier для внедорожной техники) и других странах. Действующие нормы в первую очередь направлены на существенное сокращение выбросов NO_x и сажи, а также на ограничение содержания C_nH_m и CO в ОГ [7]. В перспективе мировое сообщество нацелено на разработку экологических норм, которые уравнивают требования для дорожной и внедорожной техники. Что касается Республики Беларусь, то выброс вредных веществ, содержащихся в ОГ двигателей тракторов, ограничивается техническим регламентом Таможенного союза [8].

Снижение токсичности выхлопных газов ПДВС традиционно решаются двумя путями. Первый связан с совершенствованием современного двигателестроения путем оптимизации РП в камере сгорания ПДВС (оптимизация процесса сгорания топлива, переход на альтернативные виды топлива и др.). Второй путь – снижение токсичности ОГ непосредственно в системе их выпуска путем использования химических и механических методов очистки токсичных выхлопных газов. Баланс между этими подходами – совершенствованием РП двигателя и сложностью технологии очистки ОГ – в настоящее время постепенно склоняется в сторону активного внедрения новых систем и методов эффективной нейтрализации вредных веществ ОГ [9]. Важно

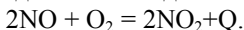
отметить, что система выпуска ОГ является устройством, работающим в условиях больших температур и высоких скоростей движения ОГ, что создает серьезные проблемы для удержания токсичных компонент, их нейтрализации и очистки до момента вывода ОГ из системы выпуска в атмосферу.

Уменьшение выбросов наиболее значимых токсичных компонент ПДВС, газообразных оксидов азота (NO_x) и дисперсных частиц (сажи), является первостепенной и достаточно трудной задачей.

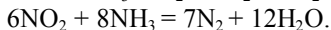
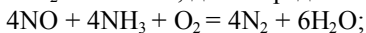
При сжигании любого топлива в ПДВС при высокой температуре и давлении образуется преимущественно оксид азота NO , как результат окисления атмосферного азота кислородом:



Кроме того, в этих же условиях образуются и другие оксиды азота NO_x (NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5). В объеме отработавших газов доля NO составляет (80-90 %), NO_2 (10-20 %), а образование других оксидов азота незначительно. Ситуация усугубляется тем, что при выбросе в атмосферу монооксид азота, взаимодействуя с молекулярным кислородом, окисляется до более токсичного диоксида азота с выделением теплоты:



Традиционный метод снижения уровня образования оксидов азота NO_x в составе ОГ, основанный на совершенствовании РП двигателей и оптимизации управления режимами его работы, не позволяет достичь желаемого результата. Применение системы рециркуляции отработавших газов (EGR) для уменьшения образования NO_x , ухудшает экономичность двигателя и способствует возрастанию выброса C_pH_m , что снижает целесообразность его использования [10]. В настоящее время развивается несколько эффективных способов снижения концентрации NO и NO_2 , основанных на нейтрализации этих токсичных газов в системе выпуска до их выброса в атмосферу [11], т.е. путем применения селективной каталитической редукции (SCR). Методы сводятся к каталитическому восстановлению оксидов азота до образования молекулярного азота. Процесс восстановления реализуется взаимодействием оксидов азота с газами-восстановителями (подаются в систему выпуска ОГ) на поверхности катализатора. Выбор восстановителей достаточно широк – как правило, это метан, CO , H_2 , аммиак (NH_3), мочевины ($\text{CO}(\text{CH}_2)_2$) и другие газы. Эффективными катализаторами служат металлы платиновой группы – Pt , Pd , Rh , Ru , а также более дешевые металлы (Ni , Cu , Cr , Fe) и их сплавы. Ниже приведен пример реакций селективного каталитического восстановления NO и NO_2 аммиаком, до безвредного азота и воды:



Что касается снижения выбросов монооксида углерода и углеводородов, то для преобразования CO используется каталитическое окисление, а для уменьшения C_nH_m в выхлопных газах применяют каталитические нейтрализаторы. Для ПДВС эффективно используются гибридная система очистки (трехкомпонентные системы, в которых каталитический нейтрализатор с катализатором из благородных металлов работает в комбинации с каталитическими окислителями), при использовании которой одновременно происходит окисление CO и C_nH_m до CO_2 и H_2O , и восстановление NO_x до N_2 [9].

В многокомпонентной газообразной смеси ОГ ПДВС присутствуют множество дисперсных твердых частиц, основным компонентом которых является сажа, а также оксиды серы, альдегиды, продукты конденсации и полимеризации. Частицы сажи представляют собой аллотропные формы углерода C (в основном, это аморфный углерод), имеют линейные размеры 0,1-100 мкм и неправильную форму [12]. Наиболее опасны для здоровья человека мелкодисперсные частицы углерода размером меньше микрона, которые могут проникать глубоко в легкие и накапливаться там. В нормах Stage уже введены новые ограничения по содержанию твердых частиц сажи в ОГ двигателей.

Для снижения выбросов сажевых частиц в атмосферу используют сажевые фильтры разных конструкций (DPF – Diesel Particulate Filter). Сажевый фильтр имеет два этапа работы: фильтрация выхлопных газов и периодическая очистка от отложений (регенерация) самого фильтра. Для очистки ОГ от сажи применяют пористые металлические и керамические фильтры, имеющие сетчатую или ячеистую структуру. Как правило, регенерацию осуществляют путем сжигания сажевых частиц (превращение C в CO_2), после чего фильтр восстанавливает пропускную способность.

В заключение следует отметить, что научно-исследовательские работы по снижению токсичности выхлопных газов автомобильного транспорта и внедорожной техники не только не потеряли своей актуальности, но и интенсивно развиваются в мировых научных центрах и конструкторских лабораториях ведущих автомобилестроительных компаний. Все работы устремлены и нацелены на получение наибольшего экологического эффекта при выпуске ОГ ПДВС. Среди перспективных направлений фундаментальных исследований следует выделить разработку нанокатализаторов нового поколения: оксид алюминия (Al_2O_3) с удельной поверхностью 150–200 м²/г; активные наночастицы платины (2–5 нм) на оксиде алюминия с технологией атомно-слоевого осаждения; керамические катализаторы с повышенной термостойкостью и др., которые, прежде всего нацелены на снижение содержания дорогостоящих металлов-катализаторов. Параллельно развиваются технологии

нейтрализации ОГ, основанные на новых физических принципах и альтернативных подходах: использование плазменных активаторов для интенсификации каталитических реакций; разработка фотокаталитических систем очистки; применение электростатических фильтров для улавливания частиц сажи и др. Не прекращаются научные работы по использованию альтернативных видов топлива с минимальным выбросом токсических веществ, по исследованию возможности применения присадок к топливу. Интересными и многообещающими являются биомиметические решения, в основу которых закладывается имитация природных процессов очистки.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Государственной программы научных исследований 6. «Механика, машиностроение, роботизированные, беспилотные и интеллектуальные системы», подпрограммы 6.1 «Механика, машиностроение, электротранспортные, роботизированные и беспилотные системы» (задание 6.1.10 «Улучшение газодинамических, аэроакустических и экологических характеристик систем выпуска отработавших газов поршневых двигателей внутреннего сгорания»).

Список использованной литературы

1. Кульчицкий, А. Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей / А. Р. Кульчицкий. – Владимир: Изд-во Владимирского гос. Ун-та, 2000. – 256 с.
2. Марков, В. А. Токсичность отработавших газов дизелей / В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 376 с.
3. Экология автомобильных двигателей внутреннего сгорания /В. А. Звонов [и др.]. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2004. – 268 с.
4. Байбарин, В.А. Влияние отработавших газов двигателей МЭС на экологию и их состав / В.А.Байбарин, А.В.Божко // Вестник аграрной науки Дона. – 2014. – 4(28) – с.81-86.
5. Кухарёнок, Г. М. Улучшение экологических показателей дизеля / Г. М. Кухарёнок, В. И. Березун. – Минск: БНТУ, 2019. – 149 с.
6. Куанышев Е.К. Повышение экологических показателей инжекторных двигателей по составу отработавших газов // Международный научный журнал «Вестник науки», 2021, № 2 (35) Т.2, с.87-90.
7. Белоусов, В.А. Экологические стандарты, регулирующие содержание вредных веществ в отработавших газах двигателей тракторов /А. В. Белоусов, Д. В. Белоусов // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сборник научных трудов / гл. редактор В. Р. Петровец. – Горки: БГСХА, 2020. – Вып. 5. – С. 333-340.
8. Приложение 5 к техническому регламенту Таможенного союза "О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним" (ТР ТС 031/2012): принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20.07.2012 года №60 (с изменениями на 12.04.2024).
9. Heck, R. Catalytic Air Pollution Control / R. Heck, R. Farrauto, S. Galati. – NEW York, John Wiley & Sons, 2002. – 391 p.

10. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн.1. Теория рабочих процессов. Учебник для вузов / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян [и др.] – М.: Высшая школа, 2007. – 479 с.

11. Решетнёв, Я.М. Оксиды азота и их восстановление: «NO и NO₂» / Я.М. Решетнёв, Н.В. Бирюкова // The scientific heritage. – 2021. – No. 67. – P.3-8.

12. Поливаев, О.И. Фильтр-нейтролизатор отработавших газов / О.И. Поливаев, В.А. Байбарин, А.В. Божко // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – № 3. – С.59-61.

Summary. An analysis of the environmental characteristics of the exhaust system of reciprocating internal combustion engines has been performed and methods for reducing emissions of the most significant toxic components, gaseous nitrogen oxides and dispersed carbon particles, have been considered.

УДК 331.45:373

Ионас Е.Л., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
Сергеева И.И., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
Цайц М.В., кандидат технических наук, доцент
*Учреждение образования «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», г. Горки, Республика Беларусь*

ТИПИЧНЫЕ НАРУШЕНИЯ В СИСТЕМЕ ОХРАНЫ ТРУДА УЧРЕЖДЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КОНТРОЛЬНЫХ ПРОЦЕДУР

Аннотация. В статье на основе анализа нормативных правовых актов Республики Беларусь и практики их применения в учреждениях образования выявлены наиболее распространённые ошибки при организации обучения, инструктажей, проверки знаний и расследования несчастных случаев. Предложены пути совершенствования системы охраны труда, включая внедрение единых цифровых журналов, автоматизацию контроля сроков и унификацию инструктажей для смежных видов деятельности.

Abstract. Based on an analysis of regulatory legal acts of the Republic of Belarus and their application in educational institutions, this article identifies the most common errors in organizing training, briefings, knowledge assessments, and accident investigations. It also proposes ways to improve the occupational safety system, including the introduction of unified digital logs, automated deadline monitoring, and the standardization of briefings for related activities.

Ключевые слова: охрана труда, учреждение образования, инструктаж, проверка знаний, несчастный случай, цифровизация, типичные нарушения.

Key words: Occupational safety, educational institution, instruction, knowledge testing, accident, digitalization, typical violations.

Охрана труда в учреждениях образования представляет собой многоуровневую систему, включающую обучение и проверку знаний работни-

ков, проведение инструктажей (вводного, первичного, повторного, внепланового, целевого), организацию контроля за соблюдением требований безопасности, а также расследование несчастных случаев с участием как сотрудников, так и обучающихся [1, 4, 6]. Несмотря на детальную регламентацию (Закон Республики Беларусь «Об охране труда», постановления Совмина №574, Минтруда №175, №210, №209, №51, Минобразования №227, Минспорта №60) [1–4, 8–11], практика показывает устойчивое воспроизведение одних и тех же нарушений [5, 6]. Цель настоящей работы – систематизировать типичные ошибки, допускаемые в образовательных учреждениях, и предложить реалистичные пути их устранения с использованием элементов цифровизации.

Первый блок типичных ошибок связан с несоблюдением периодичности повторного инструктажа. Согласно п. 8 Постановления №175, повторный инструктаж проводится не реже одного раза в 6 месяцев [3]. На практике нередко отсчёт ведётся календарно («в июле и в январе»), а не по интервалу 183 дня. Если инструктаж проведён 5 января, повторный должен состояться не позднее 4 июля. Проведение 5 июля уже является нарушением. Аналогичная ошибка встречается при проверке знаний у рабочих повышенной опасности (1 раз в 12 месяцев) и у специалистов (1 раз в 3 года) [1, 2].

Вторая распространённая ошибка – непроведение целевого инструктажа при выполнении разовых работ, не связанных с прямыми обязанностями. Наиболее показательный случай: сезонные работы по наведению порядка на территории учреждения. Сотрудники, выходящие на уборку территории, часто не проходят целевой инструктаж, хотя он является обязательным по характеру работ (ликвидация засоров, покос травы, уборка снега) [3]. Аналогично забывают о целевом инструктаже для работников подрядной организации, привлекаемой к ремонту. При этом вводный инструктаж с подрядчиками проводится, а целевой – нет, либо путают зоны ответственности между учреждением и подрядчиком.

Третья ошибка – путаница двух типов журналов и инструктажей. В учреждениях образования одновременно действуют:

- журнал регистрации инструктажа по охране труда (форма Приложения 3 к Постановлению №175) [3];
- журнал регистрации инструктажа по соблюдению мер безопасности воспитанников при экскурсиях и мероприятиях (форма Приложения к Постановлению №227) [4].

Сотрудники часто регистрируют инструктаж для детей в «общем» журнале по охране труда, что неправомерно. Также педагогический работник может получить «инструктаж по охране труда» вместо инструктажа по безопасности детей, хотя это разные процедуры с разными целями и ответственными лицами [4, 5].

В соответствии со ст. 17 Закона «Об охране труда» и п. 38 Постановления №574, специалисты по охране труда повышают квалификацию не реже 1 раза в 3 года, руководители – 1 раз в 5 лет [1, 2]. Нарушения возникают при формировании комиссии учреждения: либо состав комиссии не утверждён приказом, либо заседания проводятся при участии менее трёх человек (при том что правомочность требует не менее половины состава, но минимум три человека) [9]. Часто члены комиссии не проходят первичную проверку знаний в установленный месячный срок после назначения в комиссию [1].

Постановление Минобразования №227 (в ред. от 01.08.2025 №136) устанавливает процедуру расследования в течение 5 рабочих дней [4]. Типичные нарушения:

Не берутся объяснительные с несовершеннолетнего в присутствии законного представителя и социального педагога [4, 5].

Акт формы Н2 составляется в двух, а не в трёх экземплярах; третий экземпляр не направляется в вышестоящую организацию [4].

При травме на уроке физкультуры или спортивно-массовом мероприятии применяют общую форму Н2, тогда как Постановление Минспорта №60 требует отдельной формы акта и отдельного журнала регистрации несчастных случаев [11].

В результате в учреждении отсутствует один из двух обязательных журналов (журнал травм и микротравм по №227 и журнал несчастных случаев на физкультуре по №60), либо данные дублируются [4, 12].

Постановление Минтруда №51 предписывает три уровня контроля: ежедневный, ежемесячный, ежеквартальный [10]. Практика показывает, что результаты ежедневного контроля часто фиксируются формально («состояние удовлетворительное» без деталей), а в ежеквартальном контроле отсутствует проверка своевременности пересмотра инструкций по охране труда (пересмотр должен проводиться не реже 1 раза в 5 лет или при изменении условий труда) [5, 10]. Кроме того, при контроле за работающими по профессиям с повышенной опасностью не всегда проверяется наличие отметок о стажировке [1, 3].

Анализ перечисленных нарушений позволяет предложить следующие направления оптимизации, не требующие кардинального изменения законодательства [7, 8].

1. Цифровизация журналов инструктажей и проверки знаний.

Внедрение единой электронной системы учёта (например, на платформе учреждения или облачного сервиса) позволяет:

автоматически рассчитывать дату следующего инструктажа (повторного, внепланового) с уведомлением ответственного лица за 5 дней до истечения срока;

разграничивать журналы: отдельный электронный модуль для инструктажей по охране труда работников, отдельный – для инструктажей по безопасности воспитанников;

хранить шаблоны билетов и протоколов проверки знаний, исключая потерю бумажных носителей [7].

2. Унификация форм целевого инструктажа для смежных видов работ.

Разработать и утвердить единый чек-лист целевого инструктажа для сезонных работ (уборка территории, подготовка к отопительному сезону, погрузочно-разгрузочные работы) и для работ подрядных организаций. Чек-лист должен включать вопрос о том, проводился ли вводный инструктаж, и подпись ответственного лица подрядчика. Это снизит риск пропуска целевого инструктажа [8].

3. Автоматизация контроля за составом комиссии и сроками повышения квалификации.

Кадровая служба учреждения может использовать простые напоминания в корпоративной системе (например, за 3 месяца до истечения срока проверки знаний члена комиссии или до истечения 3 лет с последнего повышения квалификации специалистом по ОТ). Целесообразно также при каждом продлении трудового договора проверять наличие действующего протокола проверки знаний [2, 9].

4. Цифровой паспорт рабочего места с повышенной опасностью.

Для профессий (электромонтёр, повар, сторож, рабочий по комплексному обслуживанию) создать в электронном виде перечень обязательных инструктажей, дат последней проверки знаний, отметок о медосмотрах. Автоматическая блокировка допуска к работе при истечении любого из сроков (по аналогии с электронными пропусками) [7, 11].

5. Унификация расследования несчастных случаев.

Разработать унифицированный электронный шаблон акта Н2, который автоматически подставляет ссылки на соответствующий нормативный акт (№227 или №60) в зависимости от вида мероприятия (учебное или физкультурно-спортивное). Это исключит ошибку с неправильной формой акта и дублирование журналов [4, 12].

Заключение. Типичные нарушения в системе охраны труда учреждений образования обусловлены, с одной стороны, высокой детализацией процедур (пять видов инструктажей, разные журналы, разные сроки), а с другой – отсутствием автоматизированного контроля сроков и смешением ответственности между педагогическим персоналом и специалистами по ОТ [5, 8]. Предложенные пути цифровой трансформации (электронные журналы с автоматическим расчётом дат, чек-листы целевого инструктажа, цифровой паспорт рабочего места) позволяют без изменения законодательства существенно снизить число нарушений [7, 9]. Внедрение таких решений в практику работы учреждений образования будет способствовать снижению травматизма как среди работников, так и среди обучающихся [1, 4].

Список использованной литературы

1. Об охране труда : Закон Респ. Беларусь, 23 июня 2008 г., № 356-З (в действ. ред.). – Минск : Нац. центр правовой информ., 2023.
2. О непрерывном профессиональном образовании руководящих работников и специалистов : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1 сент. 2022 г., № 574 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2022. – № 5/50234.
3. Об утверждении форм журналов инструктажа по охране труда : постановление М-ва труда и соц. защиты Респ. Беларусь, 28 нояб. 2008 г., № 175 (ред. от 29.05.2020) // КонсультантПлюс: Беларусь.
4. О правилах безопасности организации образовательного процесса и расследования несчастных случаев с обучающимися : постановление М-ва образования Респ. Беларусь, 3 авг. 2022 г., № 227 (ред. от 1 авг. 2025 г., № 136) // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь.
5. Карпович, О.А. Травматизм в образовательных учреждениях: анализ причин и профилактика / О.А. Карпович, С.Н. Леонович // Охрана труда и социальная защита. – 2023. – № 4. – С. 42–49.
6. Производственный травматизм в сельском хозяйстве Республики Беларусь: анализ структуры, динамики и стратегия снижения / М. В. Цайц, И. И. Сергеева, Е. Л. Ионас, М. П. Акулич // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2026. – № 1. – С. 138–144.
7. Грищенко, И.В. Цифровые технологии в управлении охраной труда организации / И.В. Грищенко // Безопасность жизнедеятельности. – 2024. – № 2. – С. 23–27.
8. Петровский, А.Л. Унификация документации по охране труда как фактор снижения нарушений / А.Л. Петровский // Труд и социальные отношения. – 2022. – № 5. – С. 88–94.
9. Об утверждении формы протокола проверки знаний по вопросам охраны труда : постановление М-ва труда и соц. защиты Респ. Беларусь, 30 дек. 2008 г., № 210 (ред. от 29.05.2020 № 55) // КонсультантПлюс: Беларусь.
10. Об утверждении Инструкции о порядке осуществления контроля за соблюдением работниками требований по охране труда : постановление М-ва труда и соц. защиты Респ. Беларусь, 15 мая 2020 г., № 51 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь.
11. О порядке обеспечения работников средствами индивидуальной защиты : постановление М-ва труда и соц. защиты Респ. Беларусь, 30 дек. 2008 г., № 209 (в действ. ред.) // КонсультантПлюс: Беларусь.
12. Об утверждении Правил безопасности при проведении физкультурно-спортивных мероприятий : постановление М-ва спорта и туризма Респ. Беларусь, 31 авг. 2018 г., № 60 (ред. от 11 июля 2025 г., № 18) // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь.

Summary. The article analyzes typical violations in the labor protection system of educational institutions in the Republic of Belarus: missed deadlines for repeated briefings, confusion of journals for occupational safety and for children's safety briefings, failure to conduct targeted briefings during seasonal work and for contractors. Solutions based on digitalization are proposed: unified electronic journals with automatic date calculation, checklists for targeted briefings, and a digital workplace passport for high-risk occupations. Implementation of these measures reduces injuries among both employees and students without changing current legislation.

Мисун А.Л., кандидат технических наук, доцент;

Горячко К.А., студент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ С УЧАСТИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. Сделан анализ причин дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств сельскохозяйственного назначения. Установлено, что подавляющую долю причин дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств сельскохозяйственного назначения, составляет человеческий фактор, техническая неисправность, инфраструктура и погодные условия. Предложено техническое решение для повышения работоспособности и внимательности водителя транспортного средства сельскохозяйственного назначения за рулем.

Abstract. An analysis of the causes of road accidents involving agricultural vehicles was conducted. It was found that the overwhelming majority of causes of road accidents involving agricultural vehicles are human error, technical malfunction, infrastructure, and weather conditions. A technical solution is proposed to improve the performance and attentiveness of agricultural vehicle drivers behind the wheel.

Ключевые слова: транспортное средство сельскохозяйственного назначения, безопасность, травматизм, дорожно-транспортное происшествие, техническое решение.

Keywords: agricultural vehicle, safety, injuries, road traffic accident, technical solution.

Исследование причин дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием транспортных средств сельскохозяйственного назначения, показало, что среди причин, вызывающих ДТП, подавляющую долю составляет человеческий фактор. Остальные причины: техническая неисправность, инфраструктура и погодные условия. В случае ДТП по причине человеческого фактора виновниками были как водители транспортных средств сельскохозяйственного назначения (ТССН), так и другие участники дорожного движения.

Работа водителя ТССН, связана с определенной вероятностью возникновения аварийных ситуаций, переработкой больших объемов информации, возможным резким изменением функциональных состояний от монотонии и оперативного покоя до стресса, повышенной эмоциональной напряженности. Такие особые условия предъявляют повышенные требования к водителю ТССН, могут являться причиной ошибок в его работе, неблагоприятно влияют на его работоспособность.

Основными причинами ошибочного поведения водителей ТССН обусловлены особыми условиями деятельности, связанной с определенной вероятностью аварийных ситуаций, наличием неблагоприятных дорожных условий. При этом к основным факторам, осложняющим работу водителей, следует отнести высокую информационную нагрузку, эмоциональную напряженность и в целом неблагоприятные изменения функционального состояния и поведения водителей. Трудовая деятельность водителя ТССН в процессе движения по автомобильной дороге предусматривает переработку значительной по объему потока информации, часто в условиях ограниченного времени для восприятия складывающейся дорожной ситуации.

С точки зрения безопасности движения наиболее значимыми для водителя ТССН являются дорожные условия, характеризующиеся информационной нагрузкой вне оптимального интервала, при котором наблюдается максимально высокое качество его деятельности. При низком уровне информационной нагрузки, например при движении в монотонных дорожных условиях, работа водителя может сопровождаться повышенным риском, поскольку информация теряется ввиду снижения активации его функционального состояния. Важно подчеркнуть, что в этих условиях значительную роль с позиции безопасности движения играет способность водителя ТССН прогнозировать развитие дорожно-транспортной обстановки с точки зрения минимизации риска ДТП. Исследования времени реакции водителя показывают, что его величина в значительной мере зависит от степени сложности дорожных условий, которая определяет значимость поступающей информации с точки зрения безопасности движения [1].

При выполнении водителем ТССН работ имеют место «скачки» – переход от устойчивого состояния его нервной системы к неустойчивому (стрессу), то есть потере контроля над собой, что сказывается на безопасности труда. Для недопущения таких случаев огромное значение отводится организации режима труда и отдыха с учетом подготовленности и физического состояния работника. Сигналом организму о необходимости прекратить или снизить интенсивность работы служит показатель усталости оператора [2]. Так, усталый мышечный аппарат, например глаз, уже не обеспечивает четкого пространственного восприятия, и водитель может уснуть за рулем. Для недопущения такой ситуации были проанализированы результаты ранее проведенных исследований и предложена конструкция универсального устройства для повышения работоспособности и внимательности водителя ТССН за рулем [3].

Техническое решение основано на использовании диафрагм со сквозными отверстиями в качестве очков-тренажеров и сменных

прозрачных и затемненных линз соответствующих диоптрий. Пользователь (водитель ТССН) индивидуально перемещает диафрагмы или линзы с целью регулировки расстояния между носовыми упорами, межцентрового расстояния, а также регулирует длину дужек за счет перемещения заушин. Это способствует использованию предлагаемого технического устройства для водителей ТССН различного возраста и комплекции. Регулярное применение диафрагм со сквозными отверстиями по 30–40 мин в день снимает излишнее напряжение глазных мышц из-за постоянной их зажатости. Также предлагаемое техническое решение позволяет через сквозные отверстия трубки, покрытые снаружи слоем наполнителя из пористого материала, подавать с возможностью дозирования к носу водителя ТССН пары раствора душицы или эфирных масел хвои, способствующие повышению работоспособности оператора, снятию состояния его утомления и усталости [3].

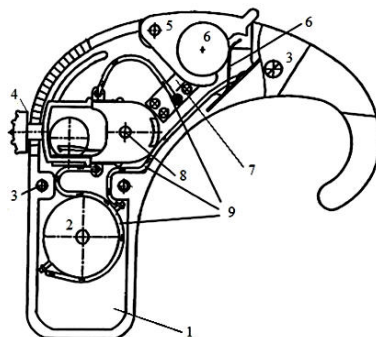


Рисунок – Устройство для предупреждения от засыпания водителя ТССН [4]:

- 1 – корпус серповидной формы; 2 – генератор звукового сигнала; 3 – винт;
- 4 – рукоятка; 5 – держатель; 6 – источник питания; 7 – выключатель;
- 8 – ось поворотная; 9 – провод

Для улучшения условий труда при управлении ТС, предупреждения засыпания водителя может использоваться техническое устройство (рисунок), надеваемое на ухо и содержащее последовательно соединенные источник питания, выключатель, генератор звукового сигнала и датчик угла наклона с регулятором исходного положения [4].

При управлении ТС, когда водитель держит голову прямо, металлический шар в датчике угла наклона находится в сферическом углублении на нижней грани корпуса датчика. Первая и вторая контактные пластины при этом не замкнуты, электрическая цепь устройства разомкнута, несмотря на включенный источник питания. При засыпании водителя ТС его голова склоняется вперед или в сторону. В таких случаях

в датчике угла наклона металлический шар выкатывается из сферического углубления и попадает на нижний конец второй контактной пластины, прижимая ее к первой аналогичной пластине, и тем самым замыкает электрическую цепь устройства и включает генератор звукового сигнала для пробуждения [4].

Основные факторы дорожных условий, оказывающие влияние на поведение водителей ТССН, это уровень загрузки и интенсивность движения транспортного потока, параметры технического уровня эксплуатационного состояния дорог и их соответствие принятым нормам. Влиянии дорожных условий на поведение водителей имеет важное практическое значение, а основными причинами возникновения ДТП с участием ТССН, являются человеческий фактор, техническая неисправность транспортного средств, транспортная инфраструктура и погодные условия.

Список использованной литературы

1. Чванов В.В. Методы оценки и повышения безопасности дорожного движения с учетом условий работы водителя. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 416 с.
4. Научно-методические основы повышения техносферной безопасности на объектах АПК»: монография / Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун. – Минск: Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2025. – 388 с.
5. Полезная модель ВУ 12555, МПК G 02C 1/00, G 08B 21/06, F 24F 6/02 (2006.01). Устройство для повышения работоспособности и внимательности за рулем оператора транспортного средства сельскохозяйственного назначения: №и20200219; заявлено 09.09.2020; опубл. 28.02.2021 / Мисун Ал-й Л., Мисун Ал-р Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А., Азаренко В. В.; заявители: Мисун Ал-й Л., Мисун Ал-р Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А., Азаренко В. В. – 5 с.
6. Полезная модель ВУ 12302, МПК G 08B 21/06, B 60K 28/06 (2006.01). Устройство для предупреждения от засыпания за рулем оператора транспортного средства сельскохозяйственного назначения: №и20190278; заявлено 12.11.2019; опубл. 30.06.2020 / Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Мисун Ал-р Л., Кузнецов А. Г., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л.; заявители: Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Мисун Ал-р Л., Кузнецов А. Г., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л. – 5 с.

Summary. An analysis of the causes of road accidents involving agricultural vehicles was conducted. It was found that the overwhelming majority of causes of road accidents involving agricultural vehicles are human error, technical malfunction, infrastructure, and weather conditions. A technical solution is proposed to improve the performance and attentiveness of agricultural vehicle drivers behind the wheel.

Криволапов И.П.¹, кандидат технических наук, доцент;

Мишин Б.С.¹, кандидат технических наук, доцент;

Ракова Н.Л.², кандидат технических наук, доцент;

Сергеев К.Л.², старший преподаватель;

Карлюк А.П.², ассистент

¹ *ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»,
г. Мичуринск, Российская Федерация*

² *Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ НАЛИПАНИЯ СНЕГА ДЛЯ АКТИВНЫХ ИК-ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА

Аннотация. В статье предложена схема защиты активных инфракрасных датчиков охраны периметра от налипания снега, описан алгоритм работы предлагаемой системы.

Abstract. This article proposes a scheme for protecting active infrared perimeter security sensors from snow accumulation and describes the operating algorithm of the proposed system.

Ключевые слова. Активные инфракрасные датчики; охрана периметра; самогреющий кабель; налипание снега.

В настоящее время, ввиду определенных геополитических и экономических изменений возникает актуальная проблема надежного функционирования всех элементов охраны, включая системы охраны периметра.

При выборе системы охраны необходимо учитывать определенные факторы, в частности, тип нарушителя и вид объекта защиты, его стратегическая значимость, наличие помех, а также протяженность территории и ее рельеф, поскольку от этого зависит функционирование всей системы охраны и возможность применения тех или иных датчиков.

Система периметральной охраны – это комплексная система обеспечения безопасности объекта, которая как правило, состоит из следующих видов преград [1, 2]:

- естественных, образованных без непосредственного участия человека, например, особенности ландшафта местности (река, озеро, обрыв и др.);

- инженерных – механических преград (заборы, ворота, различные виды ограждений);

- технических – средств обнаружения (сигнализация, извещатели и др.), визуального контроля (видеонаблюдение), оповещения и связи, ограничения прохода и проезда (автоматические шлагбаумы, турникеты, габионы, шлюзы) и др.

Система охраны периметра выполняет задачу обнаружения и задержки нарушителей до их перехвата и нейтрализации. Другая ее задача – удержание нарушителей от совершения противоправных действий. Граница объекта является наилучшим местом для детектирования вторжения, так как в этом случае силы охраны имеют максимальный запас времени для противодействия [1].

В настоящее время основными показателями эффективности систем охраны периметра являются: вероятность обнаружения; частота ложных тревог; уязвимость к преодолению.

Проектирование периметральных охранных систем осуществляется согласно ГОСТ Р 52551-2016 «Системы охраны и безопасности. Термины и определения», принятого 01.07.2017 г., с учетом рекомендаций Министерства внутренних дел Российской Федерации Р 78.36.028-2012 «Технические средства обнаружения проникновения и угроз различных видов. Особенности выбора, эксплуатации и применения в зависимости от степени важности и опасности объектов» и Р 78.36.026-2012 «Рекомендации по использованию технических средств обнаружения, основанных на различных физических принципах, для охраны огражденных территорий и открытых площадок» [3, 4]

Периметральные системы охраны должны обеспечивать высокую надежность при широких вариациях окружающей температуры, при дожде, снеге, сильном ветре, а также легко интегрироваться с другими охранными системами, в частности, с системой видеонаблюдения. Очевидно, что периметральная охранная система должна обладать высокой чувствительностью, чтобы обнаружить нарушителя. В то же время эта система должна обеспечивать по возможности низкую вероятность ложных срабатываний [5].

При этом важно учитывать, что причинами ложных тревог являются не только атмосферные осадки и животные, пересекающие охраняемый объект, то и определенные технические неисправности, а также степень квалификации специалистов, настраивающих и обслуживающих систему охраны.

В настоящее время для охраны периметра используется большое количество различных датчиков и систем, обеспечивающих контроль проникновения на объекты, при этом наиболее распространенным средством обнаружения являются инфракрасные датчики, характеризующиеся низкой стоимостью, достаточно высокой эффективностью, простотой эксплуатации и обслуживания, вместе с тем такие датчики не лишены недостатков, в числе которых ложные срабатывания, вызванные насекомыми, наличие источников вибраций и электромагнитных помех, засветка, а также неблагоприятные погодные условия, например, при работе в условиях снегопада возможно налипание снега на излучатели, что приводит к искажению сигнала, появлению ложных срабатываний или выходу из строя датчика,

поэтому возникает необходимость разработки системы повышающей эффективность работы активных ик-извещателей в холодный период года и в условиях налипания снега.

В настоящее время для защиты активных инфракрасных извещателей, как правило, используют козырьки различных конструкций.



Козырек для ИК фотоэлементов
Smartec ST-RB001PD-SB



Козырёк солнцезащитный
для фотодатчиков Home Gate



Солнцезащитный козырёк AGO

Рисунок 1 – Козырьки различных конструкций
для защиты активных инфракрасных извещателей

Однако данные устройства не всегда способны обеспечить защиту от налипания снега, особенно в условиях мокрого снегопада.

С целью повышения эффективности функционирования активных инфракрасных датчиков разработан модуль защиты от налипания снега на базе микроконтроллера (например, STM32, ESP32 или Arduino) объединяющий в себе несколько датчиков для защиты от налипания снега, обледенения корпуса охранных модулей в зимнее время года, блок схема представлена на рисунке 2.

Модуль включает в себя: микроконтроллер; модуль питания; датчики температуры и нагревательный элемент.

1. Микроконтроллер – обрабатывает данные с датчиков, принимает решения и передаёт сигналы управления на силовые модули управления.

2. Модуль питания – обеспечивает автономную работу (батарея + резервный источник или энергосберегающий режим).

3. Датчики температуры (DS18B20) – производят измерения температуры вне корпуса охранного модуля, внутри корпуса и температуру нагревательного элемента.

4. Нагревательный элемент (самогреющийся кабель) – основной элемент для поддержания заданной температуры корпуса охранного модуля.

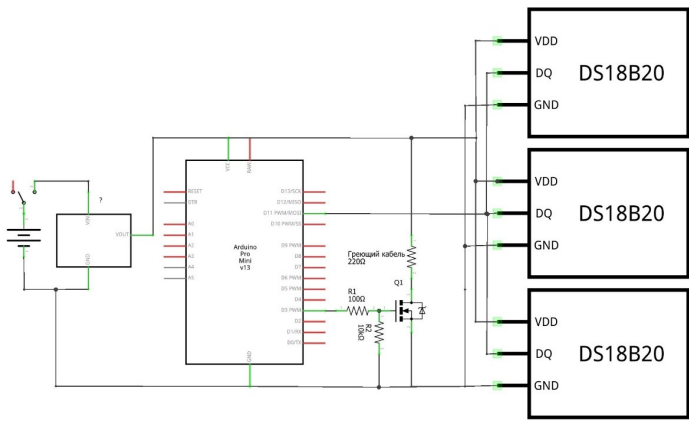


Рисунок 2 – Блок схема предлагаемой системы защиты от налипания снега

Алгоритм работы данного модуля представлен на рисунке 3.

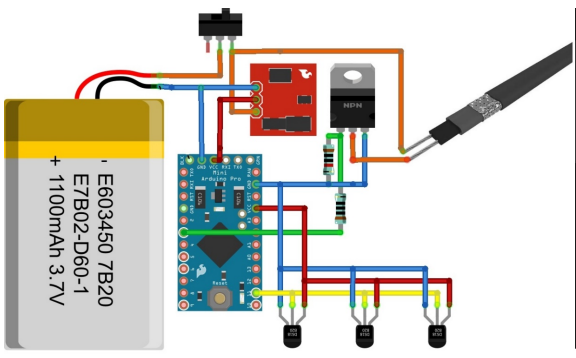


Рисунок 3 – Монтажная схема предлагаемой системы защиты от налипания снега

Устройство работает следующим образом, после включения микроконтроллер калибрует датчики и переходит в режим ожидания. Датчики работают в фоновом режиме, а микроконтроллер периодически опрашивает их (или использует прерывания).

Каждый датчик температуры измеряет температуру воздуха вне корпуса охранного модуля, внутри корпуса и самого нагревательного элемента.

Микроконтроллер анализирует данные с датчиков температуры и использует полученные данные для анализа состояния охранного модуля. В

результате анализа система защиты включает или выключает нагревательный элемент.

Если принято решение, что состояние модуля оптимальное, то микроконтроллер переходит в спящий режим, периодически пробуждаясь для проверки датчиков. Датчики с низким энергопотреблением могут оставаться активными постоянно.

Использование данной системы обеспечивает полноценную защиту датчиков в зимний период времени и повышает эффективность работы системы охраны периметра в сложных метеорологических условиях.

Список использованной литературы

1. Варнеев, Н. Системы охраны периметра - задачи и проблема выбора / Н. Варнеев, В. Никитин // Безопасность. Достоверность. Информация. – 2006. – № 65. – С. 40-47.
2. Карабанов, Р. М. Инженерно-технические средства охраны и надзора : Учебное пособие в 2-х частях / Р. М. Карабанов ; Федеральная служба исполнения наказаний, Владимирский юридический институт Федеральной службы исполнения наказаний. Том Часть 2. – Владимир : Владимирский юридический институт Федеральной службы исполнения наказаний, 2021. – 128 с.
3. ГОСТ Р 52551–2016 «Системы охраны и безопасности. Термины и определения» – М.: Стандартинформ, 2016. 28 с.
4. Указ Президента Российской Федерации от 2 июля 2021 года № 400 «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации [электронный ресурс] – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271/ (дата обращения: 25.11.2025)
5. Еськов, А. В. Технические средства охраны : Учебное пособие / А. В. Еськов. – Барнаул : Барнаульский юридический институт, 2015. – 52 с.

Summary. To improve the efficiency of active infrared perimeter security sensors, a block diagram and operating algorithm have been developed for the module, which includes a microcontroller, a power supply module, temperature sensors, and a heating element. The microcontroller analyzes data from the temperature sensors and uses this data to evaluate the security module's status. Based on this analysis, the security system switches the heating element on or off. Low-power sensors can remain active continuously.

СЕКЦИЯ 4

«Духовное и физическое развитие современной молодежи в контексте образовательного процесса»

УДК 378.14.015.62:62-05:63-05:

Литвинов П.В., старший преподаватель

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный
университет», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

ТРЕУГОЛЬНИК ХОПКИНСА КАК ОДНА ИЗ ОСНОВ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНОГО МЫШЛЕНИЯ ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос о повышении качества преподавания технических дисциплин при использовании концепции треугольника Хопкинса как одной из основ инженерного мышления. Рассмотрены примеры общетехнических задач относительно выбранных приоритетов. Описаны известные примеры ошибок при проектировании с точки зрения концепции.

Ключевые слова: треугольник Хопкинса, железный треугольник, автомобилестроение, двигателестроение, тракторостроение, производство.

Abstract. This article examines the issue of improving the quality of teaching engineering disciplines by using the Hopkins triangle concept as one of the foundations of engineering thinking. Examples of general engineering problems in relation to the selected priorities are considered. Common examples of design errors are described from a conceptual perspective.

Keywords: Hopkins triangle, iron triangle, automotive engineering, engine building, tractor building, production.

Введение. Современное развитие транспортной сферы в Российской Федерации требует высокоэффективной и надёжной техники, создание которой возможно только при наличии на рынке труда специалистов с соответствующими компетенциями. При преподавании инженерных дисциплин в настоящее время необходимо описывать не только теоретические аспекты той или иной дисциплины, но и применять при этом современное программное обеспечение, что нашло отражение в работах [1, 2, 3, 4].

В то же время, в условиях современного экономического развития и долгосрочных перспектив необходимо объяснять студентам концепцию Треугольника Хопкинса, также именуемую «железным треугольником». Она представляет собой классическую модель, описывающую компромисс между тремя ключевыми ограничениями производства, а именно скоростью выполнения работы, её качеством и стоимостью [5,6,7]. Вид данной модели представлен на рисунке.

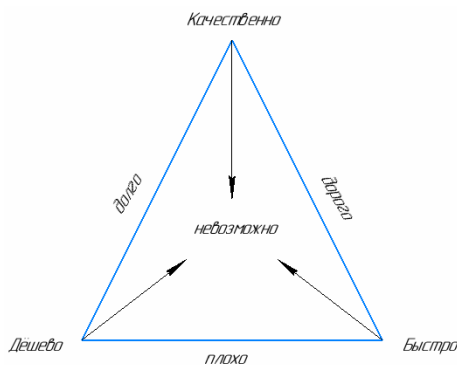


Рисунок – Модель треугольника Хопкинса

Суть модели заключается в том, что изменении одного параметра неизбежно влияет на два других, при этом два выбранных параметра (основание треугольника) стабильно исключают третий (вершина, противолежащая основанию). Рассмотрим каждый пример в отдельности на примере реального производства.

Двигателестроение. Приоритет «Качественно». При производстве двигателей внутреннего сгорания (ДВС), в том числе и газотурбинных приоритет смещён в сторону качества из-за серьёзных требований. Как следствие – производство ДВС будет либо дорогим и быстрым, либо дешёвым и долгим в относительном плане. Например, если руководство конструкторского бюро (КБ) примет решение увеличить скорость вывода ДВС на рынок, то это приведёт к увеличению стоимости, поскольку потребуется больше персонала для решения данной задачи.

Тракторостроение. Приоритет «Дёшево». Стоимость готовой продукции напрямую связана со стоимостью покупки и обслуживания сельскохозяйственной техники. Поэтому приоритет смещён в сторону стоимости. Как следствие производство качественного трактора всегда будет долгим.

Автомобилестроение. Приоритет «Быстро». Автомобили, производимые массово, т.е. на конвейере, чаще всего являются относительно дешёвыми. При этом, при сборке проектировке используется концепция бережливого производства, т.е. максимальная унификация, оптимизация и снижение себестоимости за счёт массового выпуска деталей. Соответственно, если приоритетом будет являться скорость, то вершиной треугольника будет либо стоимость, либо качество. Поэтому, при массовом выпуске автомобилей мерой качества является соответствие спецификации.

Примеры попыток нарушения правила треугольника Хопкинса. Одним из ярких примеров попытки нарушить данное правило является скандал *«Dieselgate»* в *Volkswagen*. Компания продвигала концепцию

экологически чистого дизельного ДВС, при этом производство якобы позволяло совместить вершины качеств, стоимости и времени вывода на рынок. В реальности преградой стали жёсткие экологические правила, в результате чего показания выбросов пришлось снижать не за счёт конструкции и инноваций, а установкой программного обеспечения, выдающего ложные значения. Таким образом попытка добиться быстрого, качественного и дешёвого продукта обернулась штрафами, компенсациями, затратами на отзыв и потерей репутации. Суммарно данный скандал обошёлся *Volkswagen* более чем в 30 млрд. долларов [8].

Другим примером создание самолета *Boeing 737 MAX*. Попытки избежать длительной и дорогой сертификации самолёта привели к созданию системы анти-сваливания MCAS, которая опиралась на показания одного датчика без необходимого тестирования. Последствием попытки сделать самолет быстро, качественно и дешево стала остановка производства из-за двух авиакатастроф, унесших жизни 346 человек. Самолет был отправлен на доработку, что вылилось в финансовые затраты.

В Российской Федерации примером нарушения правила железного треугольника является попытка быстрой постройки дешевого и качественного гибридного автомобиля, получившего название «Ё-мобиль». Однако, проблемы начались ещё на стадии первых испытаний. Роторно-лопастной двигатель не был доведён до состояния необходимой надёжности, а гибридная схема была конструктивно неотработанной. Конечным итогом стал финансовых крах компании и свёртывание проекта с продажей разработок институту НАМИ за один доллар. Попытки реализовать все три вершины одновременно привели к тому, что не выдержала технологическая база. Этому поспособствовало, не в последнюю очередь, отсутствие грамотно развитой инженерной школы.

Самой яркой попыткой нарушения данного правила можно считать катастрофу глубоководного аппарата «Титан» компании *OceanGate*. Так, стремление снизить издержки привело к использованию композитных материалов, отказу от сертификации, но на этапе производства снизило стоимость транспортировки и проводимых операций. «Титан» позиционировался как экспериментальный, что позволяло обходить жёсткие требования к аппаратам подобного назначения. Попытки сократить время производства привели к увольнению ключевых инженеров проекта, обладавших нужными компетенциями с передачей многих работ на аутсорс. В конечном итоге, заявленное качество не соответствовало реальности – *OceanGate* так и не провели необходимых испытаний. Результатом стало крушение данного аппарата вследствие имплозии.

Треугольник Хопкинса с точки зрения преподавания технических дисциплин. Нетрудно заметить, что описанные выше примеры являлись следствием некомпетентности управляющего персонала. Так, руководитель *OceanGate* не имел образования в сфере строительства

глубоководных аппаратов, а при производстве «Ё-мобиля» упор делался в первую очередь не на техническую составляющую, а на пиар проекта.

При этом, доказательства работоспособности предлагаемых решений чаще всего осуществлялись не расчётами и испытаниями, а харизмой докладчика и управленца. Это заставляет сделать вывод о том, что инженер за счёт знания данного должен уметь доказывать свою точку зрения и обосновывать её с точки зрения полученных компетенций. Таким образом, можно сделать вывод, что только наличие необходимых компетенций позволяет человеку занимать определённый пост в технических компаниях.

Итоги и выводы. Описанные данные позволяют сделать вывод: обойти правило треугольника Хопкинса невозможно. Любая попытка сделать быстро, качественно и дёшево неизменно увеличивает издержки в одной из вершин, что доказывает универсальность данного закона, при этом не масштабные инвестиции, ни харизматичное управление не могут отменить физическую природу инженерных компромиссов, описываемых данным правилом, что важно показывать студентам при преподавании технических дисциплин.

Библиографический список

1. Литвинов, П. В. Применение программного обеспечения при подготовке инженеров на начальном этапе образования на примере дисциплины "Теоретическая механика" / П. В. Литвинов // Актуальные вопросы профессионального образования: качество, приоритеты, технологии : Сборник материалов Национальной научно-методической конференции, приуроченной к Году семьи в России, Омск, 21 марта 2024 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, 2024. – С. 137–143. – EDN PRBERP.

2. Долгушин, В. А. Применение прикладных программ при подготовке инженерных кадров для АПК на примере дисциплины «теоретическая механика» / В. А. Долгушин, П. В. Литвинов, О. Г. Огнев // Агропромышленный комплекс в условиях инновационного развития: наука, технологии, кадровое обеспечение : материалы II Международной научно-практической конференции, Минск, 05–06 июня 2025 года. – Минск: БГАТУ, 2025. – С. 604–608. – EDN QGQONW.

3. Применение современного программного обеспечения в учебном процессе при подготовке инженеров / П. И. Цехош, Б. В. Журавский, Р. Р. Жундубаев, С. И. Цехош // Актуальные вопросы профессионального образования: качество, приоритеты, технологии : сборник материалов Национальной научно-методической конференции, приуроченной к Году педагога и наставника в Российской Федерации, Омск, 22–23 марта 2023 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2023. – С. 252–258. – EDN UIQFCB.

4. Применение трехмерного моделирования при подготовке преподавателей «профессионального обучения» по дисциплине «Инженерная графика» / С. И. Цехош, Б. В. Журавский, П. И. Цехош, Р. Р. Жундубаев // Актуальные вопросы профессионального образования: качество, приоритеты, технологии : сборник материалов Национальной научно-методической конференции, приуроченной к Году педагога и наставника в Российской Федерации, Омск, 22–23 марта 2023 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2023. – С. 259–264. – EDN LFMLXF

5. Ощепков, В. М. Оценка успеха и провала проекта как способ повышения эффективности деятельности современной организации / В. М. Ощепков, Н. В. Мальцева // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. – 2017. – Т. 12, № 1. – С. 136-147. – DOI 10.17072/1994-9960-2017-1-136-147. – EDN YHVCN.
6. Ebbesen J. B., Hope A. Re-imagining the Iron Triangle: Embedding Sustainability into Project Constraints // PM World Journal. – 2013. – Vol. II, Issue III. – ISSN 2330-4480. – URL: <https://nrl.northumbria.ac.uk/id/eprint/13990> (дата обращения: 30.03.2026).
7. Locatelli G., Mancini M. Systems Engineering to improve the governance in complex project environments // International Journal of Project Management. – 2014. – Vol. 32, Issue 8. – P. 1395–1410. – DOI: 10.1016/j.ijproman.2013.10.007.
8. Ведрученко, В. Р. Анализ требований к нормативам выбросов вредных веществ / В. Р. Ведрученко, П. В. Литвинов // Архитектура, строительство, транспорт : материалы Международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО "СибАДИ"), Омск, 02–03 декабря 2015 года. – Омск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)", 2015. – С. 970-976. – EDN VMRXSN.

УДК 378.14:631

Радченко С.А., доктор технических наук, доцент
*ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет
им. Л.Н. Толстого», г. Тула, Российская Федерация*

СПОСОБ УЛУЧШАТЬ ПОДГОТОВКУ КАДРОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, ИСПОЛЬЗУЯ ОПЫТ ВЕДУЩИХ УНИВЕРСИТЕТОВ И МНОГОСТОРОННЕЕ МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Аннотация. Научно обоснована и подготовлена возможность быстро использовать лучший опыт знаменитых университетов и международное сотрудничество для улучшения обучения, развития факультетов и кафедр сельскохозяйственного профиля и повышения дохода их ведущих кадров. Разработана программа сотрудничества для обеспечения этого в регионах.

Abstract. The opportunity to quickly use the best practices of renowned universities and international cooperation to improve education, develop agricultural faculties and departments, and increase the income of their leading staff has been scientifically justified and prepared. A cooperation program has been developed to ensure this in the regions.

Ключевые слова. Улучшение обучения; кадры сельского хозяйства; международное сотрудничество; лучший мировой опыт; хоздоговоры.

Keywords. Improving education; agricultural personnel; international cooperation; the best global practices; business contracts.

Самый реальный способ улучшить подготовку кадров в регионах

Опыт ряда ведущих стран мира, изучаемый автором уже 35 лет, в том числе во время стажировок в Великобритании (в Кембридже и Лидском университете) и США и в командировках в Бельгию, Францию, Германию и Данию [1-9], показывает, что устойчивое развитие экономики в любых

их регионах сильно зависит не только от имеющихся у них финансовых ресурсов, но и от того, насколько эффективно используются эти ресурсы для внедрения лучших достижений и инноваций в системе образования и в экономике. Поэтому самый быстрый, реальный и малозатратный способ улучшения ситуации в регионах – это обеспечение активного участия в этом университетов для лучшего использования их возможностей [1-9].

Автором установлено [1-9], что в ряде ведущих стран мира уже много десятилетий успешно применяют самые эффективные методы улучшения обучения части их молодежи в некоторых школах и в самых знаменитых университетах, которые обеспечивают решение трех важнейших задач:

- 1 – максимально ранней профориентации молодежи для повышения ее мотивации лучше учиться и изучать нужные ей в будущем предметы;
- 2 – улучшить обучение по техническим и естественнонаучным курсам;
- 3 – повышения эффективности использования бюджетных денег.

Автор установил [1-6, 8-9], что по ряду объективных причин успешно внедрять в любых регионах такой мировой опыт можно, если обеспечить:

- 1 – ведущую роль университетов в такой деятельности, обеспечив их на постоянной основе достаточным финансированием (по хоздоговорам с администрацией и другими способами, применяемыми в ведущих странах);
- 2 – поддержку такой деятельности университетов администрацией;
- 3 – одновременное привлечение к этой работе по хоздоговорам ряда ведущих кадров нескольких факультетов университетов и их кафедр.

Очевидно, что сами вузы обеспечить это в своих регионах не могут.

Поэтому самым реальным и быстрым способом улучшить подготовку кадров для сельского хозяйства в регионах может быть международное сотрудничество (используя опыт знаменитых университетов, изучаемый автором уже 35 лет, и наши разработки, опыт и «ноу-хау» [1-14]), которое поможет университетам получить дополнительные деньги и возможности:

- эффективнее сотрудничать с администрациями их регионов;
- сильно улучшать обучение в системе «школа-колледж-вуз» по многим техническим, естественнонаучным и другим предметам;
- улучшить сотрудничество ряда кафедр с очень многими школами.

Такое международное сотрудничество поможет решать проблемы:

- недостатка времени для углубленного изучения всеми обучаемыми очень большого количества учебного материала по многим дисциплинам, необходимым для их дальнейшей успешной и безопасной работы;
- невозможности обеспечивать все учебные лаборатории во всех образовательных организациях огромным количеством учебных образцов современного оборудования (в том числе очень дорогого и имеющего большие размеры) и довольно часто обновлять его;
- недостатка у многих преподавателей времени, а часто и желания и возможностей тратить очень много их времени для изучения постоянно появляющихся многочисленных образцов современного оборудования.

Поэтому в этой статье показана новая уникальная возможность для любых сельскохозяйственных университетов, факультетов и их кафедр:

1 – быстро использовать в своих регионах этот мировой опыт без их собственных дополнительных затрат за счет всегда безотказных методов;

2 – дать участвующим в сотрудничестве кафедрам новые возможности улучшать обучение и доходы кадров и долго получать хоздоговоры [1-5].

Такое сотрудничество позволит ряду факультетов и кафедр [1-5]:

- получать бюджетные хоздоговоры с администрацией регионов много лет, участвуя в региональных и государственных программах;

- улучшать подготовку кадров для сельского хозяйства не только при их обучении в вузах, но и лучше используя возможности школ;

- улучшить обучение по многим техническим, естественнонаучным и других дисциплинам без больших дополнительных расходов бюджетов.

Для этого автором разработана новая уникальная 4-этапная программа многостороннего белорусско-российского сотрудничества, которая может позволить всем участвующим в ней университетам быстро и без своих затрат получить в своих регионах новые возможности улучшать обучение и обеспечивать кафедры хоздоговорами, используя мировой опыт [1-5]. Ее первые три этапа могут быть успешно выполнены уже за первый год.

Уникальные возможности для финансирования сотрудничества

Использование опыта знаменитых университетов – это самый лучший способ улучшать ситуацию в регионах при бюджетном дефиците [1-5].

Обеспечена очень большая степень готовности [1-14] быстро и без дополнительных затрат любого университета создать новые возможности сильно улучшать его доходы и обучение в регионах, в том числе за счет недоступных ему ранее источников бюджетного финансирования региона.

Это обеспечит быстрое и успешное исправление парадоксальной ситуации, при которой вузы готовят кадры для своих регионов, но почти не получают дополнительных денег из их бюджетов, так как:

1 – их гуманитарные и фундаментальные исследования очень мало финансируются администрацией их регионов во всех странах;

2 – факультетам и кафедрам трудно предложить администрации темы исследований, которые она будет финансировать много лет.

Это обеспечит необходимое финансирование сотрудничества на много лет бюджетными и внебюджетными деньгами на основе более лучшего использования возможностей университетов и администрации [1-5]. Ведь предлагаемое многостороннее международное сотрудничество позволит эффективнее использовать выделяемые бюджетные деньги на основе:

1 – комплексного подхода к решению важных проблем, используя возможности администрации и университета [1-14];

2 – привлечения к их решению ведущих кадров многих кафедр [1-9].

Преимущества программы международного сотрудничества

1. Оно не требует никаких дополнительных расходов университета и может быть быстро организовано в любых регионах России и Белоруссии при ведущей роли университетов этих регионов.

2. Быстрое совместное обеспечение (всего за несколько месяцев):

- утверждения программы сотрудничества вуза с администрацией его региона и города и с работающей под научным руководством автора тульской фирмой, которая будет поставлять новые портативные учебно-тренировочные комплексы [10] и выполнять другие важные функции;

- разработки и утверждения ряда документов (используя мировой опыт и имеющиеся у автора документы [1-5, 12-14]), что даст участвующим в сотрудничестве факультетам и кафедрам новые полезные возможности.

3. Создание и использование при ведущей роли университетов более эффективной системы для подготовки в регионах кадров для сельского хозяйства за счет улучшения обучения в школах, колледжах и вузах.

4. Быстрое создание новых реальных возможностей сильно повысить результативность сотрудничества вузов с органами управления регионов.

5. Возможность постоянно получать дополнительные деньги из бюджетов регионов при лучшем сотрудничестве с их администрацией.

Это можно обеспечить безотказными методами, которые позволяют:

- иметь реальную поддержку всех органов управления образованием любого региона и города, в том числе и финансовую и организационную;

- обеспечивать такое сотрудничество достаточными деньгами;

- привлекать к сотрудничеству многие ведущие кадры университетов;

- применять лучшие современные методы и средства обучения для сильного улучшения обучения в любых школах (в том числе в сельских и малокомплектных), эффективнее используя для этого часть огромных денег, которые всегда уже имеются в бюджетах регионов и городов [1-5].

Методы обеспечения этого во всех странах и регионах очень похожи, а имеющийся у автора успешный опыт и «ноу-хау» создания в городе Туле инновационного городского координационно-внедренческого центра при ведущей роли и на базе Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого [12-14] и использовавшийся для этого комплект документов позволяют быстро и успешно использовать такой лучший опыт с большой пользой для участвующих в международном сотрудничестве университетов в любых регионах России и Белоруссии.

Такое многостороннее международное сотрудничество [1-5] в целях быстрого улучшения в регионах обучения и доходов университетов может быть очень полезно университетам России и Белоруссии, так как:

1 – главный источник их финансирования – государственный бюджет, поэтому увеличивать такое финансирование обычно бывает очень трудно;

2 – региональные университеты не могут получать много денег из бюджетов их регионов и городов традиционными методами, хотя лучший опыт самых знаменитых университетов доказал возможность этого [1-5].

Выводы. Научно обоснована и подготовлена возможность для улучшения в регионах подготовки кадров для сельского хозяйства и доходов и возможностей университетов и их кафедр и ведущих кадров (за счет применения безотказных во всех странах методов для улучшения сотрудничества с администрацией, которые используют некоторые самые знаменитые университеты России и ведущих стран [1-14]). Использование таких уникальных возможностей быстро и без дополнительных расходов университетов и бюджетов всех уровней обеспечит в регионах [1-14]:

1 – улучшение в школах (включая сельские и малокомплектные) и в университетах изучения различной сельскохозяйственной техники и методов ее правильного и безопасного применения и многих достижений;

2 – улучшение сотрудничества университетов и очень многих фирм;

3 – более масштабное и выгодное участие ряда факультетов и кафедр в региональных, государственных и международных программах;

4 – сильное повышение доходов от проведения научных конференций и их результативности с использованием лучшего мирового опыта [9];

5 – улучшение внедрения инноваций в школах и университетах [1-5], используя совместное внедрение учебно-тренировочного комплекса [10].

Список использованной литературы

1. *Радченко С. А.* Способ улучшать обучение технологии и безопасности жизнедеятельности и профориентацию, используя опыт знаменитых университетов и хозяйственные договоры кафедр // Технологическое-экономическое образование: достижения, инновации, перспективы. Материалы XXI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Тула : ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2025. – С. 259-268.

2. *Радченко С. А., Радченко С. С.* Лучший мировой опыт решения проблем обучения и экономики в регионах и самый реальный способ быстро использовать его на основе международного сотрудничества и уникальных хозяйственных договоров для экономических и технических кафедр вузов // Актуальные проблемы современных экономических систем – 2025: сборник научных трудов. – Брест : Изд-во БрГТУ, 2025. – С. 37-46.

3. *Радченко С. А.* Многостороннее международное сотрудничество – лучший способ быстро использовать мировой опыт улучшения обучения и уникальные хозяйственные договоры // Педагогическое образование в условиях трансформационных процессов: обеспечение преемственности и непрерывности подготовки: Материалы XI международной научно-практической конференции. – Минск : Белорусский гос. пед. ун-т им. М. Танка, 2026. – С. 351-354.

4. *Радченко С. А.* Мировой опыт улучшения обучения, дающий кафедрам уникальные возможности и бюджетные хозяйственные договоры, и способ быстро использовать его в любых регионах // Проблемы и перспективы технологического и физико-математического образования в России и за рубежом: электронный сборник материалов VII Международной научно-практической конференции. – Ишим : ИПИ им. П. П. Ершова (филиал) ФГАОУ ВО «ТюмГУ», 2025. – С. 226-231.

5. *Радченко С. А.* Многосторонние договора о сотрудничестве – самый быстрый, реальный и малозатратный способ улучшить обучение технологии и доходы вузов и их ведущих кадров, используя лучший мировой опыт // Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития. Материалы IX Международной научно-методической конференции. – М. : МПГУ, 2023. – С. 215-220.

6. *Радченко С. А.* Научные основы улучшения подготовки выпускников к трудоустройству с учетом лучшего мирового опыта // Содействие трудоустройству и адаптации к рынку труда студентов и выпускников учреждений профессионального образования Тульской области: материалы VII Региональной научно-практической конференции с международным участием. – Тула : ТулГУ, 2020. – С. 52-63.

7. *Радченко С. А., Митрохина С. В., Дунаева Н. А.* Организационно-экономические методы усиления влияния университета и родителей на подготовку детей и молодежи к лучшему трудоустройству // Содействие трудоустройству и адаптации к рынку труда студентов и выпускников учреждений профессионального образования Тульской области: материалы VII Региональной научно-практической конференции с международным участием. – Тула : ТулГУ, 2020. – С. 104-119.

8. *Радченко С. А.* Новые возможности повысить роль учреждений высшего образования, школ и родителей в формировании личности и воспитании детей и молодежи с учетом лучшего мирового опыта // Научные горизонты : сборник материалов фестиваля. – Барановичи : Барановичский гос. ун-т, 2020. – С. 83-85.

9. *Радченко С. А.* Использование опыта инновационной деятельности ведущих зарубежных вузов – лучший способ комплексного решения задач и проблем вузов и технолого-экономического образования // Сборник статей X Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ТГПУ им. Л. Н. Толстого и 30-летию факультета технологии, экономики и сельского хозяйства. Часть 1. – Тула : ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2009. – С. 75-81.

10. *Радченко С. А., Радченко С. С.* Портативный учебно-тренировочный комплекс для быстрого улучшения обучения, доходов вузов и их ведущих кадров и межрегионального сотрудничества // Проблемы и перспективы технологического образования в России и за рубежом: электронный сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. – Ишим : ИПИ им. П. П. Ершова (филиал) ФГАОУ ВО «ТюмГУ», 2024. – С. 96-103.

11. *Радченко С. А., Сергеев А. Н.* Инновационные методы для улучшения обучения по технологии, физике, теплотехнике и охране труда // Школа будущего. – 2017. – № 6. – С. 180-187.

12. *Радченко С. А.* Комплексная учебно-выставочная деятельность как эффективный метод обучения специалистов и населения современным способам энергосбережения и обеспечения их массового внедрения // Технология, предпринимательство, экономика. – Тула : ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 1999. – Ч. 2. – С. 63–70.

13. *Радченко С. А.* Методы и опыт обеспечения правильного подбора и массового внедрения энергоэффективных материалов и оборудования организациями и населением // Энергосбережение и водоподготовка. – 1999. – № 2. – С. 19–25.

14. *Евтюхин А. М., Бухтияров Ю. Ф., Радченко С. А.* Обучение специалистов современным методам экономии энергоресурсов и материалов // Тульский строитель. – 1998. – № 2. – С. 22.

Радченко С.А., доктор технических наук, доцент, профессор
*ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет
им. Л.Н. Толстого», г. Тула, Российская Федерация*

ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШАТЬ В РЕГИОНАХ ОБУЧЕНИЕ И ДОХОДЫ ВУЗОВ И ИХ КАДРОВ, ИСПОЛЬЗУЯ МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Аннотация. Научно обоснована и подготовлена реальная возможность улучшать подготовку кадров для сельского хозяйства за счет организации международного сотрудничества выпускающих их кафедр. Это позволит эффективнее использовать лучшие методы обучения и учебные пособия, в том числе совместно подготовленные кафедрами разных университетов. Разработана программа сотрудничества для обеспечения этого в регионах, которая поможет кафедрам улучшать обучение и доходы кадров (получая новые хозяйственные договоры и используя опыт самых знаменитых университетов).

Abstract. A real opportunity to improve training of personnel for the agricultural sector through the organization of international cooperation between the departments that train them has been scientifically substantiated and prepared. This will allow for more effective use of the best teaching methods and textbooks, including those jointly developed by departments at different universities. A cooperation program has been developed to ensure this in the regions, which will help departments improve the training and income of their staff (by obtaining new business contracts and using the experience of the most famous universities).

Ключевые слова. Улучшение обучения; кадры сельского хозяйства; международное сотрудничество; лучший мировой опыт.

Keywords. Improving education; agricultural personnel; international cooperation; the best global practices.

Необходимость и возможности улучшения подготовки кадров для сельского хозяйства и охраны труда, используя лучший мировой опыт

В число важных проблем обеспечения улучшения подготовки кадров для сельского хозяйства и эффективности и безопасности их дальнейшей работы с использованием многих видов современной техники входят три актуальные в регионах проблемы, которые надо скорее решать за счет новых более результативных и наименее затратных для бюджета методов, эффективнее используя потенциал университетов и мировой опыт [1-6]:

- улучшения изучения многих видов и образцов современной техники для сельского хозяйства во всех образовательных организациях (включая и самую дорогую и крупногабаритную) без больших расходов для этого;
- улучшения изучения и использования безопасных методов работы;
- повышения результативности ряда научных конференций и выставок.

Именно ведущая роль в комплексном решении этих важных проблем университетов и некоторых их факультетов и кафедр является наиболее реальным, быстрым и доступным способом сильно улучшать ситуацию в регионах без больших дополнительных затрат бюджетов [1-6], так как:

1 – многие их ведущие кадры можно быстро и успешно привлекать к научно обоснованному и более эффективному решению этих проблем (при использовании лучшего опыта самых знаменитых университетов России и ведущих стран по постоянному обеспечению их факультетов и кафедр бюджетными хоздоговорами с администрацией их региона и города [1-4];

2 – самые знаменитые и процветающие университеты России и ведущих стран мира, лучший опыт которых 35 лет целенаправленно изучает автор [1-6], уже много десятилетий успешно используют очень похожие во всех странах безотказные законные методы организации наиболее выгодного сотрудничества с органами управления регионов и региональных центров (так как бюджеты у них разные), позволяющие им гораздо эффективнее:

- обеспечивать улучшение обучения части молодежи в системе «школа-колледж-университет» по техническим и естественнонаучным предметам;

- максимально быстро и массово успешно внедрять в регионах многие виды современной конкурентоспособной продукции и новые достижения;

- проводить обучение по ряду специальностей с максимальным учетом современных требований к подготовке кадров на лучшем мировом уровне;

- обеспечивать ряд факультетов и кафедр хоздоговорами за счет их участия в региональных, государственных и международных программах;

- быстрее массово внедрять в их регионах лучшие достижения и виды продукции, показываемые на научных конференциях и на выставках [6];

- получать много дополнительных бюджетных и внебюджетных денег;

3 – автором разработана для быстрого совместного использования в регионах 4-этапная программа белорусско-российского сотрудничества [1-4] для комплексного решения этих проблем на основе использования:

- лучшего опыта знаменитых университетов России и ведущих стран;

- наших разработок, опыта и «ноу-хау» и разработанного и успешно использовавшего в городе Туле под научным и практическим руководством автора ряд лет в интересах Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого комплекта документов, который помогал улучшать его сотрудничество с администрациями города Тулы и Тульской области, рядом Министерств Российской Федерации и их территориальных органов и многими ведущими фирмами России и зарубежных стран [1-6];

- возможностей улучшать обучение в системе «школа-колледж-вуз».

Поэтому научно обоснованное и предлагаемое совместное применение безотказных во всех странах и регионах законных способов обеспечения более выгодного и полезного всем сотрудничества университетов с любой администрацией [1-4] за счет такого многостороннего международного

сотрудничества позволит быстро улучшать ситуацию в регионах, так как повысит роль ряда факультетов и кафедр университетов в обеспечении массового внедрения инноваций в многих школах и в экономике регионов (привлекая ведущие кадры к такой работе по бюджетным хоздоговорам). Это особенно важно, так как по объективным причинам обеспечивать это в любых регионах только традиционными методами очень трудно [1-4].

Именно быстрая и успешная совместная организация многостороннего международного сотрудничества, используя мировой опыт по повышению роли знаменитых университетов в обеспечении комплексного и наименее затратного для бюджетов решения важных проблем системы образования и экономики в регионах, создаст условия для этого, обеспечивая [1-4]:

- постоянную поддержку такой очень важной деятельности органами управления образованием этих регионов и городов, включая финансовую;
- привлечение к такой деятельности кадров ряда факультетов и кафедр университетов с ее финансированием за счет бюджетных хоздоговоров, получаемых в результате участия в региональных и других программах;
- применение лучших методов и средств для улучшения обучения в многих школах, эффективнее используя имеющиеся в бюджетах деньги;
- постоянное обеспечение этой деятельности достаточными деньгами.

Уникальные возможности для финансирования сотрудничества

В современных условиях для успешной реализации такой программы сотрудничества надо, как минимум, выполнить три главных условия [1-4]:

- 1 – быстро обеспечить ее достаточное и стабильное финансирование;
- 2 – создать мотивацию и возможности для участия в ней кадров вузов;
- 3 – обеспечить ее поддержку администрацией университета и региона.

Автором доказано [1-4], что международное сотрудничество на основе многосторонних «рамочных» договоров о нем [4] – это самый реальный и эффективный в любых регионах способ максимально улучшать (даже без дополнительных затрат его участников) результативность сотрудничества университетов с администрациями их регионов и городов, позволяющий создавать для кафедр возможность получать деньги из их бюджетов по хоздоговорам (за счет их участия в региональных и других программах).

Самый быстрый способ сделать такое многосторонне сотрудничество максимально полезным и выгодным всем его участникам – это создание на основе «рамочных» договоров о международном сотрудничестве [4] на базе университетов без любых их дополнительных расходов уникальных по возможностям региональных и/или городских инновационных учебно-внедренческих координационных центров, деятельность которых будет поддерживать и финансировать администрация (даже с внесением такого финансирования в бюджет отдельной строкой). Автор уже имеет опыт создания и обеспечения деятельности такого центра в Туле на базе ТГПУ

им. Л. Н. Толстого и использовавшие для этого документы [2, 6]. Их использование для улучшения доходов участвующих в сотрудничестве университетов (причем без их дополнительных расходов за счет лучшего использования их потенциала) [1-4] может быть полезным и выгодным для ведущих университетов в регионах России и Белоруссии, так как:

1 – основной источник их финансирования – государственный бюджет и увеличивать финансирование традиционными методами очень трудно;

2 – региональным университетам обычно не удается получать много денег из бюджета их регионов и городов, хотя это возможно безотказными способами, давно применяемыми знаменитыми университетами [1-4].

Гарантировать успех и большой дополнительный доход университета и его кафедр при многостороннем международном сотрудничестве будут:

- создание на базе университета уникального «Центра карьеры» (все документы для его создания и успешного использования автор имеет);

- повышение результативности и дохода от некоторых традиционных научных конференций (используя их как важнейшую часть комплексов международных учебно-выставочно-внедренческих мероприятий [6]);

- лучшее использование «административного ресурса» и ряда других возможностей органов управления образованием, университетов и школ;

- участие ряда кафедр в региональных и других программах [1-4].

Уникальные возможности за счет международного сотрудничества

35-летние исследования автора [1-6] показали, что многие наиболее знаменитые университеты России и ведущих стран получают большие дополнительные деньги из бюджетов их регионов только при их участии в внедрении различной продукции, а их фундаментальные и гуманитарные исследования администрации регионов почти не финансируют. Поэтому [1-4] в предлагаемой программе белорусско-российского сотрудничества предусмотрено, что для ее постоянного большого целевого бюджетного финансирования из регионального и других бюджетов мы будем совместно обеспечивать внедрение в школах (включая сельские и малокомплектные) и дальнейшее совершенствование портативного учебно-тренировочного комплекса [5] как лучшего инновационного средства для самого быстрого и доступного улучшения обучения и внедрения инноваций в любой школе.

Это позволит быстро обеспечить участвующие в таком сотрудничестве кафедры бюджетными хоздоговорами даже на много лет (сначала за счет части денег, имеющихся в бюджете регионов для системы образования, а затем целенаправленно по региональным и другим программам) [1-4].

Быстро успешно обеспечить это даже при бюджетном дефиците можно при использовании: 1 – лучшего мирового опыта; 2 – имеющихся у автора и ряд лет применявшихся в городе Туле под его научным и практическим руководством документов; 3 – наших разработок, опыта и «ноу-хау» [1-6].

Ведь такое многостороннее белорусско-российское сотрудничество будут постоянно поддерживать и финансировать (по бюджетным хоздоговорам и другими законными способами [1-4]) администрации всех уровней.

Это без больших дополнительных затрат бюджетов быстро обеспечит:

- сильное улучшение обучения в системе «школа-колледж-вуз» [1-6];
- лучшее использование возможностей сельскохозяйственных вузов, факультетов и кафедр и их кадров самыми результативными методами;
- повышение результативности комплексного решения многих важных для университетов, школ и органов управления проблем в любом регионе.

Уникальность такого международного сотрудничества в возможности обеспечить внедрение лучшего мирового опыта обучения, профориентации и целевой подготовки школьников и студентов к лучшему будущему без больших дополнительных затрат, лучше используя потенциал вузов, школ и семей обучаемых [1-4]. Это можно будет быстро и успешно обеспечить, создав с использованием имеющихся у автора комплектов документов на базе любого университета без любых его дополнительных расходов (на основе приказа Ректора по уже отработанной нами в Туле методике) две уникальные по возможностям инновационные структуры, которые будут приносить большие дополнительные бюджетные и внебюджетные деньги:

1 – инновационный «Центр карьеры» для внедрения лучшего опыта знаменитых университетов по улучшению обучения, профориентации и подготовки к лучшему будущему и к карьере школьников и студентов с участием ведущих белорусских и российских специалистов (это позволит: а – повышать мотивацию молодежи лучше учиться и готовиться к лучшей жизни; б – лучше использовать потенциал вуза, школ и семей обучаемых);

2 – уникальный инновационный региональный или городской учебно-внедренческий координационный центр (при поддержке администрации), который позволит успешно использовать лучший опыт самых знаменитых университетов, постоянно получающих огромные дополнительные деньги за счет их участия в массовом внедрении в регионах различной продукции.

Это позволит создать уникальные возможности привлекать к такому сотрудничеству ведущие кадры университетов Белоруссии и России, ряда организаций и фирм и сильно повышать за счет этого результативность образовательной, методической и инновационной деятельности [1-4, 6].

Заключение. Научно обоснована и подготовлена [1-4] новая реальная возможность улучшать обучение на многих кафедрах за счет перехода от всегда малоэффективных и очень часто безрезультатных (по объективным причинам) попыток улучшать ситуацию на каждой кафедре в отдельности к самому реальному и доступному в любых регионах способу улучшать ситуацию сразу на ряде факультетов и кафедр, используя мировой опыт.

Быстрая организация этого международного сотрудничества [1-4] – это самый быстрый, перспективный и малозатратный для бюджетов способ:

- улучшать обучение в системе «школа-колледж-вуз» в любом регионе;
- улучшать подготовку кадров для сельского хозяйства, охрану труда и эффективность их работы с использованием любой современной техники, обеспечив лучшее изучение ими ее устройства и правил ее обслуживания;
- повысить роль университетов в решении важных проблем и их доход.

Список использованной литературы

1. *Радченко С. А.* Малозатратный способ улучшения обучения и охраны труда в АПК, используя лучший мировой опыт, международное сотрудничество и новые бюджетные хоздоговоры кафедр // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сб. научных статей по матер. XXVIII Межд. науч.-практ. конф. – Гродно: ГГАУ, 2025. – С.132-134

2. *Радченко С. А.* Способ улучшать обучение технологии и безопасности жизнедеятельности и профориентацию, используя опыт знаменитых университетов и хоздоговоры кафедр // Технологическое образование: достижения, инновации, перспективы. Материалы XXI Всеросс. науч.-практ. конф. с международным участием. – Тула : ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2025. – С. 259-268.

3. *Радченко С. А.* Многостороннее международное сотрудничество – лучший способ быстро использовать мировой опыт улучшения обучения и уникальные хоздоговоры // Педагогическое образование в условиях трансформационных процессов: обеспечение преемственности и непрерывности подготовки: Материалы XI междун. науч.-практ. конф. – Минск : БГПУ им. М. Танка, 2026. – С. 351-354.

4. *Радченко С. А.* Многосторонние договора о сотрудничестве – самый быстрый, реальный и малозатратный способ улучшить обучение технологии и доходы вузов и их ведущих кадров, используя лучший мировой опыт // Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития. Матер. IX Междун. науч.-методич. конф. – М.: ИППУ, 2023. – С. 215-220.

5. *Радченко С. А., Радченко С. С.* Портативный учебно-тренировочный комплекс для быстрого улучшения обучения, доходов вузов и их ведущих кадров и межрегионального сотрудничества // Проблемы и перспективы технологического образования в России и за рубежом: электронный сб. матер. VI Междун. науч.-практ. конф. – Ишим : ИПИ им. П.П. Ершова (филиал) ФГАОУ ВО «ТюмГУ», 2024. – С. 96-103.

6. *Радченко С. А.* Комплексная учебно-выставочная деятельность как эффективный метод обучения специалистов и населения современным способам энергосбережения и обеспечения их массового внедрения // Технология, предпринимательство, экономика.– Тула : ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 1999. – Ч. 2. – С. 63–70.

Summary. A real opportunity has been scientifically substantiated and prepared for the rapid and least expensive improvement of training for agriculture and the introduction of innovations, using the best experience of the most famous universities and multi-lateral international cooperation. This is the best way to organize cooperation between departments in order to improve training and obtain new budgetary contracts. A cooperation program has been developed to ensure this in the regions.

Толкач И.Ф., кандидат искусствоведения, доцент
*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ОСОБЕННОСТИ САМОУПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ПОВСЕДНЕВНОСТЬЮ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Аннотация. Статья посвящена изучению самоуправления цифровой повседневностью студентов технического университета. Определены средние значения по субшкалам управления цифровыми устройствами, переживания и оптимизации цифровой повседневности, цифровой социальности. Установлено преобладание показателей по субшкале управления цифровыми устройствами, наименьший показатель по субшкале цифровой социальности.

Abstract. The article is dedicated to the study of self-management of digital daily life of technical university students. The average values on the subscales of management of digital devices, experience and optimization of digital everyday life, digital sociality are determined. The prevalence of indicators on the subscale of management of digital devices, the lowest indicator on the subscale of digital sociality is established.

Ключевые слова: цифровая повседневность, студенты технического университета.

Keywords: digital daily life, technical university students.

Цифровая реальность современного мира весьма активна и требует умения и навыков взаимодействия с технологиями. Технологическая компетентность на сегодняшний день является важным требованием для специалиста любой отрасли деятельности. В связи с этим изучение особенностей управления цифровой повседневностью представляется необходимым и своевременным. Этим обусловлена актуальность данной темы.

Для изучения самоуправления цифровой повседневностью студентов технического университета была использована одноименная методика авторов Г. У. Солдатовой, С. В. Чигарьковой, С. Н. Илюхиной [1]. В исследовании приняли участие 39 студентов Белорусского государственного аграрного технического университета.

Данная методика содержит 20 утверждений, которые сгруппированы на три субшкалы: управление цифровыми устройствами, переживание и оптимизация цифровой повседневности, цифровая социальность. Каждое утверждение содержит пять вариантов ответа от «совершенно не согласен» до «полностью согласен».

Результаты проведенного исследования отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели значений самоуправления цифровой повседневностью студентов технического университета по субшкалам

	Границы значений	Средние значения	Средние значения в %
Управление цифровыми устройствами	8-40	30,69	70,91
Переживание цифровой повседневности	7-35	24,92	64
Цифровая социальность	5-25	13,14	42,05

Как видно из таблицы, преобладает среднее значение по шкале управления цифровыми устройствами (30,69 балла, 70,91%). Под цифровыми устройствами авторы методики подразумевают смартфоны, компьютеры, умные колонки, фитнес-браслеты, нейросети и др., формирующие целостную техносистему [2, с. 178]. Так, студенты отмечают, что управляют своими цифровыми устройствами; осознают риски, когда выкладывают информацию в интернет; контролируют личные границы и приватность в интернете; осведомлены о кибератаках; проверяют информацию, которую получают из интернета. При этом цифровые устройства не мешают им жить полной жизнью.

Среднее значение по шкале переживания и оптимизации цифровой повседневности составляет 24,92 балла, или 64%. Студенты в достаточной степени могут контролировать использование цифровых устройств в повседневной жизни: степень использования в ежедневных делах; уверенности при наличии цифрового устройства в руке; переживании при отсутствии интернета.

По шкале цифровой социальности студенты выявили среднее значение 13,14 балла, или 42,05%. В меньшей степени для студентов важен их образ в социальных сетях, актуальная и постоянно пополняемая социальная страница, наличие лайков и комментариев на их публикации, безупречная репутация в сетях.

Обобщая вышеизложенное, отметим, что студенты технического университета имеют средний уровень самоуправления цифровой повседневностью (59% проявленности). При этом более высокие значения студенты продемонстрировали по субшкале управления цифровыми устройствами, меньшие значения – по шкале цифровой социальности. Данные результаты свидетельствуют об уровне осознания и контроля за цифровой повседневностью. Очевидно, что полученные результаты требуют дальнейшего осмысления и корректировки с целью повышения уровня цифровой компетентности студентов технического университета.

Список использованной литературы

1. Шкала самоуправления цифровой повседневностью, СУЦП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://psytests.org/life/dumeolp.html>. – Дата доступа: 17.09.2025.
2. Солдатова, Г.У., Чигарькова, С.В., Илюхина, С.Н. Технологически расширенная личность: разработка и апробация шкалы самоуправления цифровой повседневностью [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://msupsyj.ru/articles/article/10221/>. – Дата доступа: 15.05.2026.

Summary. The article is devoted to the study of self-management of digital daily life of students of technical university. As a result of the conducted research, the average values were revealed on the subscales of management of digital devices (30,69 points), experience and optimization of digital daily life (24,92 points), digital sociality (13,14 points). These results indicate the average level of awareness and control of students over digital daily life and the average level of formation of digital competence.

УДК 321.01

Опарин А.Ю., старший преподаватель

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ДОСТУПНОЕ ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ ИДЕОЛОГИИ СОЦИАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВА

Аннотация. Социальное государство в целом является изобретением XX в. Оно решало задачи по стабилизации капиталистического общества и преодолению социально-классовых конфликтов. Система образования стала важным инструментом социального государства, который был направлен на рост доходов населения и преодоление социально-классовых границ.

Abstract. The welfare state, in general, is a 20th-century invention. It addressed the challenges of stabilizing capitalist society and overcoming social and class conflicts. The education system became an important tool of the welfare state, aimed at increasing incomes and transcending social and class boundaries.

Ключевые слова: социальное государство, система образования, высшее образование, общество потребления, социально-классовый конфликт, социальное равенство.

Keywords: welfare state, education system, higher education, consumer society, social class conflict, social equality.

К 1960-м гг. практически все развитые капиталистические страны сделали выбор в пользу социального государства, ставшего результатом последовательного сочетания «структурных реформ 30-х годов», повысивших степень государственного вмешательства социально-экономическую сферу, и основанной на прогрессивном налогообложении и редистрибутивной модели «налоговой политики послевоенного периода» [1, с. 256]. По сути, социальное государство стало результатом вынужденного послевоенного

компромисса между трудом и капиталом, гарантировавшим большинству социальных групп экономическую стабильность, а элитам – общественно-политическую, государственная же власть выступила медиатором и гарантом этого компромисса. Впрочем, на её уровне это ещё было и продолжением мобилизационной политики военного периода, проходившей постепенную адаптацию к условиям мирного времени, когда обществу были предложены сильные программы перераспределения с заметным увеличением государственного потенциала и продлением предоставления социальных пособий и льгот. В итоге, первоначально сводившееся в реформах германского канцлера О. фон Бисмарка и британского премьера Д. Ллойд Джорджа к системам социального страхования и соцобеспечения, впоследствии социальное государство стало претендовать на то, чтобы стать «государством благоденствия» для всех, где социальная политика больше не была сосредоточена исключительно на нуждающихся группах, но касалась большинства населения.

Республика Беларусь взяла курс на построение социального государства, когда страна находилась на руинах социалистической экономики, – с присущими прежней советской государственности специфическими практиками и институтами государственной заботы о гражданах. Но в условиях рецессии 1990-х принятая в СССР система всеобъемлющего социального обеспечения, предполагавшая исключительное государственное финансирование, стала неэффективной и экономически неустойчивой [2, с. 10]. Поэтому, с одной стороны, мы позаимствовали из конституции ФРГ интегральную формулу социального правового государства [3, с. 40], с другой – принятое решение первоначально носило декларативный характер, и его принятие было скорее ориентировано на ожидания граждан, чем на возможности экономики. Впрочем, подобные решения, носившие популистский характер, на фоне схожих процессов принимались и в других постсоветских странах.

Президент Республики Беларусь Александр Лукашенко говорил позднее, выступая на VI Всебелорусском народном собрании в 2021 г, что «принцип равноправного и равномерного распределения благ... всецело подкреплялся запросом общества»; «данная логика заложена в основу таких важнейших институтов, как солидарная пенсионная система, бесплатные для всех здравоохранение и образование...», – раскрыл тогда же он основные принципы белорусской социальной политики. Но в итоге согласимся с Главой белорусского государства, что теперь социальное государство – это уже «наш неизменный национальный бренд» [4].

Немецкий мыслитель Л. фон Штейн, которого считают автором идеи социального государства, живя в эпоху окончательного закрепления антагонистических капиталистических отношений и роста социально-классовых противоречий, писал, что функциональная несостоятельность государства в «гармоническом разрешении» этих противоречий может

привести к дезорганизации общества и закончиться гражданской войной, которая уничтожит это государство [5, с. 525]. Считая классовые противоречия в принципе непреодолимыми в рамках современного ему общества, он развивал идею социального государства как способного смягчить их негативные эффекты; для этого немецкий философ предложил использовать политические ресурсы самого государства для нивелирования их возможных катастрофических последствий. Для этого государство должно было взять на себя обязанность «поддерживать абсолютное равенство в правах для всех различных общественных классов, для отдельной самоопределяющейся личности благодаря своей власти» и «способствовать экономическому и общественному прогрессу всех своих граждан, ибо, в конечном счете, развитие одного выступает условием развития другого», – писал Л. фон Штейн; и именно в этом он видел «смысл социального государства» [6, с. XXVIII]. Он считал «закупку» каналов социальной мобильности (социальных лифтов) главной причиной социальных конфликтов, а путём решения – поддерживаемую государством социальную мобильность с открытым доступом труда к власти и капиталу. «В той степени, в которой возможна мобильность – и прежде всего между борющимися сторонами, интенсивность конфликтов уменьшается..., – напишет по этому поводу позднее Р. Дарендорф. – Вертикальная и горизонтальная мобильность, переход в другой слой... всегда способствуют снижению интенсивности конфликта» [7, с. 144].

Система образования – это один из важнейших каналов социальной мобильности и один из важнейших стратификационных и статусобразующих факторов, роль которого в жизни общества только растёт. «Образование в современном обществе является одним из важнейших и признанных механизмов», с помощью которых можно добиться «лучшей работы, более высоких заработков, более высокого уровня жизни», – пишет современный польский социолог П. Штомпка [8, с. 356.]. Одновременно – это важнейший общественный институт, направленный на формирование самого человека, делание, *образование* его. «Образование есть категория бытия, а не знания...», – утверждал М. Шелер [9, с. 21], считая, что образование задаёт границы самого человека, создавая условия для возникновения «благообразно сформированного», гармоничного человека, включившего все полученные знания в структуры своей личности [9, с. 32]. С такой философско-антропологической точки зрения образование относится к сущностным характеристикам человека так же, как к ним относится, например, с позиций марксистской антропологии труд; как далее пишет немецкий философ, образование представляет собой «образ совокупного человеческого бытия» [9, с. 21].

Высшее образование приобретает особую социальную значимость в послевоенный период, когда встала необходимость восстановления и

развития экономик европейских стран после Второй мировой войны [10, с. 498]. В этот период оно стало лифтом социальной мобильности для значительных масс людей и, в первую очередь, открыло двери в «средний класс» для выходцев из более низких слоёв общества. В США, например, тогда говорили, что «хорошо образованный сын рабочего имеет столько же шансов продвинуться, сколько плохо образованный выходец из среднего класса, хотя второму могут помогать родители» [11].

В СССР сходные процессы имели место, начиная с конца 1920-х гг., и были связаны с индустриализацией и форсированной социальной модернизацией постреволюционного общества, когда каналы социальной мобильности через образовательные институты оказались открыты преимущественно для прежних непривилегированных слоёв. Это сыграло свою роль в появлении советского «среднего класса», включавший в себя среднюю и мелкую бюрократию, интеллигенцию, высший и средний слой рабочих и крестьян, отличавшегося относительно высоким уровнем высшего и среднего профессионально-технического образования. Послевоенная разруха также внесла свои коррективы в необходимость восстановления и восполнения числа квалифицированных кадров, в связи с чем роль высшего образования как канала мобильности непрерывно возрастала; начиная с 1950-х гг. в этого способствовала ещё и разворачивающаяся научно-техническая революция.

В капиталистических странах изменение отношение политической власти к системе образования в этот период было связано с формированием социального государства «всеобщего благосостояния», которое исходило из установки на то, что государство не только имеет возможность обеспечить благополучие всех своих граждан, но и должно это делать. За счёт увеличения доступности профессионального образования государство предполагало решать задачи экономического роста, а это, в свою очередь, вызывало необходимость рекрутинга «на самые важные и технически сложные рабочие места» наиболее квалифицированных рабочих кадров вне зависимости от их социального происхождения [10, с. 499]. Дополнительно государство хотело экономически выиграть от создания и освоения новых высокотехнологичных рынков, появившихся в результате НТР, готовя квалифицированные рабочие и инженерные кадры для них. Всё это в совокупности должно было повлечь за собой рост доходов населения, поэтому для государства финансируемое им образование являлось не обременительными дополнительными расходами, а выгодным способом инвестиций – в национальную экономику и общественную безопасность. За счёт стимулирования потребления доходы возвращались к национальному производителю, при этом массовое потребление и

изобилие товаров потребления, ставших доступными благодаря серийному производству и существованию кредитной системы, рассматривались как способ разрешения социально-экономических конфликтов. Классовые противоречия в обществе потребления временно снимались с повестки дня или вообще отодвигались на «периферию» глобального мира, а на первом плане оказались статусные конфликты, но они не ставили под сомнение саму капиталистическую систему и не посягали на социальную стабильность общества. Как пишет С. Ермолаев, «если «средний класс» будет меньше... подвергаться эксплуатации и больше в ней участвовать сам, то этого будет вполне достаточно для «классового мира» на Западе. В середине XX века так и вышло» [12].

Кризис этого социального государства «всеобщего благоденствия», начавшийся в 1970-х гг. и длящийся до сих пор, который был связан с экономической глобализацией и приватизацией государства, кризисом кейнсианских моделей экономики (и идеологии экономического национализма вообще), не мог не сказаться и на системе образования. В неё всё упорнее вторгаются рыночные отношения, в то время как государство оставляет прежние позиции, ввиду чего теряется прежний эгалитарный характер её. В развитых капиталистических странах эти процессы были связаны с идеями «разгосударствления» экономики и образования, привнесёнными консервативными правительствами в 1980–90-х гг. [10, с. 515], в наших условиях это навязывалось национальным правительствам западными экспертами на фоне постсоветского экономического и социального кризиса. Сегодня ещё констатируется падение престижности высшего образования, связанное, в т.ч. с падением доходов квалифицированных специалистов, деградацией ряда секторов экономики и т.д., местами падает доступность его. В аграрной сфере, например, десять лет назад до 60% выпускников сельских школ поступали в средние специальные и высшие учебные заведения и после их окончания, как правило, работали в сельской местности, пополняя ряды сельской интеллигенции, то сейчас такое намерение наблюдается лишь у 10-15%. И это вызывает определённые социальные последствия, которые, по мнению Л. А. Семёновой, «очевидны: снижение уровня образования жителей села, уменьшение слоя специалистов с образованием, следовательно, изменение социальной структуры села в сторону её архаизации, духовная и технологическая стагнация» [11]. А это ещё и увеличение уровня преступности – деградация системы образования как доступного социального лифта уменьшает возможность для трудоустройства и легального увеличения доходов, и как следствие, создает больше причин для совершения преступлений, направленных против собственности.

Список использованной литературы

1. История марксизма : в 4 т. / пер. с итал. ; под общ. ред. Е. А. Амбарцумова. – М. : Прогресс, 1986. – Т. 4 : Марксизм сегодня, вып. 2. – 455 с.
2. Кук, Л. Посткоммунистические государства всеобщего благосостояния : политика реформ в России и Восточной Европе / Л. Кук ; пер. с англ. И. Николаевой. – СПб. : Библиороссика ; Бостон : Academic Studies Press, 2021. – 413 с.
3. Пугачев, А. Н. Заимствования, компиляции, отторжения как факторы конституционной модернизации / А. Н. Пугачев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D, Экономические и юридические науки. – 2014. – № 6. – С. 32–46.
4. Доклад Президента Беларуси на VI Всебелорусском народном собрании [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал Президента Республики Беларусь. – URL: <https://president.gov.by/ru/events/shestoe-vsebelorusskoe-narodnoe-sobranie> (дата обращения: 20.04.2026).
5. Штейн, Л. фон. Учение об управлении и право управления с сравнением литературы и законодательств Франции, Англии и Германии : руководство / Л. фон Штейн ; пер. с нем. под ред. И. Е. Андреевского. – СПб. : А. С. Гиероглифов, 1874. – XIV, 594, X с.
6. Штейн, Л. фон. История социального движения Франции с 1789 года / Л. фон Штейн. – СПб. : Тип. А. М. Котомица, 1872. – Т. 1 : Основное понятие общества и социальная история Французской революции до 1830 года. – [4], IV, CXXVI, 305 с.
7. Дарендорф, Р. Элементы социального конфликта / Р. Дарендорф ; пер. с нем. В. М. Степаненковой // Социологические исследования. – 1994. – № 5. – С. 142–147.
8. Штомпка, П. Социология. Анализ современного общества / П. Штомпка ; пер. с польск. С. М. Червонной. – М. : Логос, 2005. – 664 с.
9. Шелер, М. Формы знания и образования / М. Шелер // Избранные произведения / М. Шелер ; сост. А. В. Денежкин. – М. : Гнозис, 1994. – С. 15–56.
10. Шпаковская, Л. Л. Политика высшего образования в Европе в XX веке: от государства к рынку / Л. Л. Шпаковская // Журнал исследования социальной политики. – 2010. – Т. 8, № 4. – С. 495–518.
11. Образование как фактор социальной дифференциации и мобильности («круглый стол») / Д. Л. Константиновский [и др.] // Социологические исследования. – 2003. – № 5. – С. 89–99. – URL: https://www.isras.ru/files/File/Socis/2003-05/Edu_RT.pdf (дата обращения: 15.05.2026).
12. Ермолаев, С. «Классовая война» в «гипермаркете»: кто против кого? [Электронный ресурс] / С. Ермолаев // Скепсис. – URL: https://scepsis.net/library/id_2302.html (дата обращения: 14.05.2026).

Summary. Education is a crucial component of the modern welfare state, serving the function of preparing a highly educated workforce necessary for the effective functioning of the economy. Accessible education also creates social mobility, enabling individuals to move from economically and socially vulnerable positions into the middle class, giving them access to capital and political power. This directly addresses the functional objectives of the welfare state in stabilizing the socio-political and socio-economic life of capitalist society.

Ракова Н.Л.¹, кандидат технических наук, доцент;
Кемеш О.Н.¹, кандидат физико-математических наук, доцент;
Пантелеева Ж.И.¹, кандидат физико-математических наук; **Шкляревич Т.А.**²
¹ Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь
² ГУО «Средняя школа № 137», г. Минск, Республика Беларусь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧЕК-ЛИСТА КАК ИНСТРУМЕНТА ФОРМИРУЮЩЕГО ОЦЕНИВАНИЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Аннотация. В статье обосновывается переход от традиционного к формирующему оцениванию в рамках модульно-рейтинговой системы, а также возможность реализации этого подхода с помощью чек-листа.

Abstract. The article substantiates the transition from traditional to formative assessment within the framework of a modular rating system, as well as the possibility of implementing this approach using a checklist.

Ключевые слова. Модульно-рейтинговая система, формирующее оценивание, систематизация знаний, точность выставления баллов, чек-лист.

Keywords. Modular rating system, formative assessment, systematization of knowledge, accuracy of scoring, checklist.

БГАТУ практикует современный подход: знания студентов оцениваются на основе модульно-рейтинговой системы, где итоговая отметка формируется из поэтапных успехов в течение всего семестра. Данная система обеспечивает непрерывный контроль, объективность, повышает мотивацию студентов и позволяет получить итоговую оценку по сумме баллов за модули, текущую работу, а при необходимости – за экзамен.

Поэтому очень важно правильно оценивать прогресс каждого обучающегося. Это формирует у него уверенность, помогает понимать личные пробелы в знаниях и повышает мотивацию к систематической работе. Кроме того, система позволяет преподавателю максимально точно оценить достижения каждого студента на каждом этапе обучения».

Традиционная система оценивает не поэтапный прогресс каждого ученика в достижении цели, а конечный результат. Это очень важно, поскольку многие ученики часто теряют интерес к достижению своих целей. На смену традиционного оценивания, имеющего ряд недостатков, приходит формирующее оценивание. Цель формирующего оценивания – определить успехи каждого ученика в отдельности и сравнить результаты с другими учениками или провести административную оценку на основе результатов обучения. Формирующее оценивание – это непрерывный процесс мониторинга успеваемости и направлен на улучшение результатов обучения, выходящих за рамки итоговой оценки. Это дает

возможность обмениваться идеями между учениками и учителями, быстро корректировать учебный процесс, развивать самооценку и повышать мотивацию учеников.

Реализовать формирующую систему оценивания при изучении учебной дисциплины теоретическая механика на кафедре механики материалов и деталей машин возможно при использовании чек-листа (checklist) при проведении управляемой самостоятельной работы.

Чек-лист – это точная, пошаговая инструкция для выполнения сложной или объемной задачи. Он служит «внешней памятью», разбивая процесс на простые и исчерпывающие действия, чтобы ничего не упустить.

Основные преимущества использования чек-листа в процессе изучения учебной дисциплины:

1. Повышение продуктивности и эффективности, снижение ментальной нагрузки: четкий алгоритм действий, содержащийся в чек-листе дает понимание, что делать дальше и сокращает время решения данной задачи.

2. Улучшение качества работы и снижение количества ошибок: алгоритм чек-листа гарантируют, что важные шаги не будут пропущены, помогают придерживаться структуры, особенно в сложных многошаговых задачах (например, в математических вычислениях).

3. Психологические преимущества и мотивация: наглядность прогресса: физическое заполнение каждого пунктов дает чувство завершенности и мотивирует двигаться дальше. Снижает тревожность, так как большая, сложная задача, разбитая на мелкие пункты, перестает пугать и казаться невыполнимой. Возрастает уверенность в своих силах и понимание, что работа выполнена правильно и по пунктам, что в свою очередь существенно повышает уверенность студента в себе.

4. Систематизация знаний и навыков: структурирование материала помогает оформить знания в логической последовательности. Студенты учатся декомпозиции – разбиению крупных задач на маленькие подзадачи. Студент берет на себя ответственность за выполнение каждого шага, что способствует развитию ответственности в целом.

Приведем один из примеров выставления оценки при помощи формирующего оценивания с применением чек-листа (рисунок 1).

Использование чек-листов в учебном процессе помогает не только студенту, но и преподавателю. Это существенно сокращает время на проверку заданий и позволяет с максимальной точностью (до сотых) определить общий балл за работу. В процессе анализа чек-листов группы преподавателю становится понятно, на какие моменты данной темы следует обратить дополнительное внимание (решить дополнительные задачи, повторить теорию) [1, 2, 3, 4, 5].

ФИО, группа		балл
1. По баллу указать размеры, связи, силы и направление системы векторов. Дано:		1
Найти:		
2. По принципу освободившись от связей, определить величину и направление реакции в точке А тела.	В точке А сила, реакция _____	0,25
3. По принципу освободившись от связей, определить величину и направление реакции в точке В тела.	В точке В сила, реакция _____	0,25
4. По принципу освободившись от связей, определить величину и направление реакции в точке С тела.	В точке С сила, реакция _____	0,25
5. По принципу освободившись от связей, определить величину и направление реакции в точке D тела.	В точке D сила, реакция _____	0,25
6. По принципу освободившись от связей, определить величину и направление реакции в точке E тела.	В точке E сила, реакция _____	0,25
7. По принципу освободившись от связей, определить величину и направление реакции в точке F тела.	В точке F сила, реакция _____	0,25
8. По принципу освободившись от связей, определить величину и направление реакции в точке G тела.	В точке G сила, реакция _____	0,25
9. По принципу освободившись от связей, определить величину и направление реакции в точке H тела.	В точке H сила, реакция _____	0,25
10. По принципу освободившись от связей, определить величину и направление реакции в точке I тела.	В точке I сила, реакция _____	0,25
11. По принципу освободившись от связей, определить величину и направление реакции в точке J тела.	В точке J сила, реакция _____	0,25
Общий балл		

Рисунок 1 – Пример чек-листа для УСРС на тему: «Определение реакций опор плоской системы сил»

Список использованной литературы

1. Black, P. Inside the black box: raising standards through classroom assessment / P. Black, D. Wiliam : KAPPAN. Connecting education research, policy, and practice [bibliographic database]. – URL: <https://kappanonline.org/inside-the-black-box-raising-standards-through-classroom-assessment/>.
2. Яковлева, С. В. Что такое чек-лист: шпаргалка и примеры использования : [сайт]. – ROMI Center, 2026 – URL: <https://romi.center/ru/learning/article/what-is-a-checklist-and-how-to-use-it-info/> (дата обращения 07.05.2026).
3. Scriven, M. The logic and methodology of checklists / M. Scriven : [bibliographic database]. – Monitoring and Evaluation NEWS, 2026. – URL: http://www.mande.co.uk/wp-content/uploads/2007/2007%20Scriven%20logic%26methodology_dec07.pdf (date of access: 01.10.2025).
4. Составление чек-листа для размещения открытого онлайн курса / М. В. Мухина, О. В. Каткова, Т. А. Фокина, Т. Н. Васильева // Мир науки. Педагогика и психология. – 2019. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostavlenie-chek-lista-dlya-razmeshcheniya-otkrytogo-onlayn-kursa/viewer> (дата обращения: 07.05.2026).
5. Бадак, Б. А. Об активной оценке в методике преподавания математики в высшей школе // Университетский педагогический журнал Методика и современные образовательные технологии. – 2022. - № 2. – С. 53–60.

Summary. When studying the discipline "Theoretical Mechanics", the implementation of the formative approach is most possible through the use of a checklist: it structures the work, reduces the number of errors and helps the teacher to evaluate the results more accurately.

Использование чек-листов в учебном процессе помогает не только студенту, но и преподавателю. Это существенно сокращает время на проверку заданий и позволяет с максимальной точностью (до сотых) определить общий балл за работу. В процессе анализа чек-листов группы преподавателей становится понятно, на какие моменты данной темы следует обратить дополнительное внимание (решить дополнительные задачи, повторить теорию) [1, 2, 3, 4, 5].

Медведок Т.В.¹, старший преподаватель;

Кравчenea Э.М.², кандидат физико-математических наук, доцент

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

² Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И АПРОБАЦИЯ ЭУМК ПО СОЦИОЛОГИИ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ ЭКОНОМИСТОВ АГРАРНОГО ПРОФИЛЯ

Аннотация: В статье обосновывается необходимость перехода от традиционных статичных учебных материалов к интерактивным ЭУМК нового поколения. Описан опыт проектирования структурных разделов ЭУМК по социологии в БГАТУ.

Abstract. The article substantiates the need for a transition from traditional static teaching materials to interactive new generation EEMC. The experience of designing structural sections of the EEMC on sociology at BSATU is described.

Ключевые слова: ЭУМК, Цифровая Беларусь, интерактивные презентации, социология, АПК, инновационное обучение, педагогический дизайн.

Key words: EEMC, Digital Belarus, interactive presentations, automated testing, sociology, AIC, innovative learning, pedagogical design.

В условиях стремительной цифровой трансформации высшего образования Республики Беларусь подготовка специалистов аграрного профиля требует внедрения инновационных дидактических средств, способных интегрировать фундаментальные социальные знания в профессиональный контекст. Государственная программа «Цифровая Беларусь» на 2026–2030 годы детерминирует создание высокотехнологичной среды, где преподавание социологии выступает фундаментом формирования социальной ответственности и аналитических способностей экономистов АПК [1]. Одним из ключевых инструментов такой трансформации является электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК), который позволяет не только транслировать социологические знания, но и развивать цифровые компетенции студентов в процессе анализа социальных явлений.

Анализ практики преподавания социально-гуманитарных дисциплин в БГАТУ выявил проблему: традиционные цифровые ресурсы (PDF, DOC) носили репозитарный характер и не в полной мере отражали динамичную природу социологического знания. Они не стимулировали познавательную активность студентов в изучении сложных процессов развития общества. В связи с этим была начата разработка ЭУМК по социологии нового поколения, базирующаяся на принципах интерактивности и проблемно-ориентированного подхода.

Проектирование комплекса осуществлялось в соответствии с Положением об учебно-методическом комплексе [2] и включало качественную модернизацию следующих разделов:

1. Теоретический раздел: визуализация и структурирование.

Учитывая преобладание наглядно-образного мышления у современных студентов, теоретический контент по социологии был трансформирован в систему интерактивных презентаций. Средства мультимедиа позволили визуализировать абстрактные и многоуровневые социологические категории, такие как «социальная стратификация», «механизмы мобильности», «урбанизация», «социальные институты». Использование инфографики и динамических схем способствует более глубокому освоению социологического инструментария и пониманию структуры общественных отношений.

2. Практический раздел: контекстное обучение.

Содержание раздела было дополнено системой профессионально-ориентированных кейсов, релевантных актуальной социально-экономической повестке развития регионов. Моделирование ситуаций базируется на анализе социодинамики современного белорусского села и функционирования социальной инфраструктуры агрогородков. Обучающимся предлагаются задачи по мониторингу социально-трудового потенциала организаций АПК и прогнозированию демографических процессов в рамках реализации концепции «деревни будущего». Такой подход позволяет трансформировать теоретические знания в прикладные компетенции экономиста, необходимые для эффективного управления человеческим капиталом и обеспечения устойчивого развития сельских территорий Республики Беларусь.

3. Раздел контроля знаний: автоматизация и мониторинг.

Ключевым вектором модернизации диагностического инструментария стало создание расширенного банка тестовых заданий в среде LMS Moodle. Переход от традиционных форм контроля к автоматизированным системам позволил реализовать принцип оперативной верификации учебных достижений.

Фундаментальным отличием проектируемого ЭУМК является внедрение функции интерактивной обратной связи: система предоставляет обучающемуся не только количественный результат, но и развернутый методический комментарий к допущенным ошибкам. В контексте формирования образовательной субъектности в условиях цифровой повседневности, такая модель контроля критически важна для развития у будущих экономистов АПК способности к социально-профессиональной рефлексии и непрерывному самообразованию.

4. Вспомогательный раздел.

Включает в себя глоссарий социологических терминов, интерактивный список литературы и ссылки на официальные статистические данные Национального статистического комитета Республики Беларусь для проведения самостоятельного вторичного анализа социологических данных.

На текущем этапе проектируемый ЭУМК проходит фазу модульного развертывания. В 2025/2026 учебном году была проведена промежуточная

верификация его эффективности на базе кафедры социально-гуманитарных наук БГАТУ. Эмпирические данные, полученные в ходе опроса студентов экономических специальностей, отражают значительный рост интереса к социологической проблематике при использовании интерактивных модулей (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Оценка эффективности традиционных средств и ЭУМК по социологии (в % от числа респондентов)

Критерии оценки (параметры эффективности)	Традиционные материалы (текстовые репозитории)	Проектируемый ЭУМК (интерактивная среда)
Когнитивная визуализация учебного контента (презентации, инфографика)	9,1	92,7
Доступность инструментов оперативной самодиагностики (тесты в Moodle)	3,6	85,5
Эргономичность восприятия сложного теоретического материала	32,7	89,1
Стимулирование автономной познавательной активности студентов	27,3	76,4

Данные таблицы позволяют констатировать, что интеграция мультимедийного контента и систем автоматизированного тестирования является определяющим фактором повышения образовательных результатов. Отсутствие интерактивных элементов в прежних форматах обучения признано студентами сдерживающим фактором.

Важным аспектом проектирования является также учет психологических особенностей «цифрового поколения» студентов, для которых интерактивная форма подачи материала является естественной и наиболее эффективной.

Модернизация ЭУМК должна идти по пути усложнения педагогического дизайна, а не простого оцифровывания учебников. Современные технологические решения должны выступать не просто средством автоматизации, а «катализатором развития новых педагогических методик» [3, с. 30], обеспечивающих индивидуализацию обучения.

Разработка и внедрение ЭУМК по социологии нового типа в БГАТУ позволяет трансформировать преподавание гуманитарных дисциплин в технологичный процесс, адекватный запросам современной экономики.

Список использованной литературы

1. О Государственной программе «Цифровая Беларусь» на 2026–2030 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 дек. 2025 г., № 793 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500793> (дата обращения: 10.05.26).
2. Положение об учебно-методическом комплексе на уровнях профессионально-технического, среднего специального образования : постановление Министерства

образования Респ. Беларусь, 8 нояб. 2022 г., № 427 // Национальный образовательный портал. – URL: <https://adu.by/images/2022/11/post-MO-RB-427-2022.pdf> (дата обращения: 10.05.2026).

3. Медведок, Т. В. Интеграция искусственного интеллекта в преподавание социологии для студентов экономических специальностей / Т. В. Медведок // Высшая школа: проблемы и перспективы : материалы XVII Международной научно-методической конференции, Минск, 20 нояб. 2025 г. – Мн., РИВШ, 2025. – С. 29–33.

Summary. The article details the development and implementation of an interactive electronic educational complex (EEMC) in sociology designed to provide professionally oriented training for future agrarian economists at BSATU. Empirical results demonstrate that replacing static resources with multimedia content and automated feedback systems significantly enhances students' cognitive engagement and develops their capacity for socio-professional reflection in a digital environment.

УДК 796

Аношко В.Г., старший преподаватель;

Федоришина Ю.В., студент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОКИНЕЗИОЛОГИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ НА ЗАНЯТИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ СТУДЕНТОВ

Аннотация. В статье обосновывается актуальность внедрения нейрокинезиологических упражнений в занятия физической культурой студентов высших учебных заведений. Раскрываются теоретические основы нейропластичности и практические эффекты использования двигательных методик для развития когнитивных функций и психофизической устойчивости.

Abstract. The article substantiates the relevance of introducing neurokinesiological exercises into physical education classes for university students. It reveals the theoretical foundations of neuroplasticity and the practical effects of using motor techniques for the development of cognitive functions and psychophysical stability.

Ключевые слова: нейрокинезиология, студенты, физическая культура, когнитивные функции, нейропластичность, психоэмоциональная нагрузка.

Keywords: neurokinesiology, students, physical education, cognitive functions, neuroplasticity, psycho-emotional load.

Современное высшее образование в Республике Беларусь сталкивается с вызовом интенсификации учебного процесса, что неизбежно ведет к росту психоэмоциональной нагрузки на студентов. В этих условиях физическая культура перестает быть дисциплиной, отвечающей исключительно за развитие физических качеств, приобретая статус инструмента управления психофизическим состоянием будущего специалиста. Одним из перспективных направлений модернизации занятий является внедрение

нейрокинезиологических упражнений, основанных на принципе взаимосвязи движения и высшей нервной деятельности [1].

Теоретическим фундаментом использования нейрокинезиологии служит концепция нейропластичности, согласно которой целенаправленные двигательные акты способны стимулировать образование новых нейронных связей. Как справедливо отмечается в современных исследованиях, кинезиология – это наука о развитии головного мозга через движение [2]. Основополагающие идеи о трех функциональных блоках мозга А.Р. Лурия и теории построения движений Н.А. Бернштейна формируют методологическую базу, объясняющую, как специально организованное движение влияет на когнитивные функции: внимание, память, пространственную ориентацию и саморегуляцию. Таким образом, физическое упражнение выступает не просто как механическое действие, а как осмысленный акт, синхронизирующий работу полушарий и оптимизирующий протекание психических процессов.

В контексте занятий со студентами нейрокинезиологические упражнения решают широкий спектр задач. В отличие от традиционных подходов, делающих акцент на кардиореспираторной системе или мышечной силе, нейроупражнения направлены на преодоление двигательных стереотипов. Главный принцип здесь – выполнение привычных действий непривычным образом, что заставляет мозг активно работать, выстраивая новые нейрокомандные цепочки. Например, задания на перекрестные движения (разноименные конечности), глазодвигательные упражнения в сочетании с дыхательными ритмами или использование элементов мозжечковой стимуляции активизируют вестибулярный аппарат и сенсорную интеграцию [3]. Это особенно важно для студентов первого курса, переживающих период адаптации к вузовским нагрузкам, когда наблюдается снижение стрессоустойчивости и когнитивной продуктивности.

Эмпирические данные, полученные в ходе педагогических экспериментов, убедительно доказывают эффективность включения таких упражнений в учебный процесс. Исследования, проведенные на базе высших учебных заведений, демонстрируют, что у студентов, регулярно выполняющих нейростимулирующие комплексы, значительно улучшаются показатели внимания и скорости реакции [4]. В частности, результаты пробы Ромберга, характеризующей статокINETическую устойчивость и координацию, могут улучшаться более чем на 70%, а показатели переключения внимания по тесту Шульте – на 30% и более. Эти изменения напрямую коррелируют с успешностью освоения технически сложных элементов спортивных игр, требующих высокой концентрации и точности дифференцировок, что подтверждается и практикой психологических тренингов в спорте.

Внедрение нейрокинезиологического компонента в учебную программу по физической культуре в белорусских вузах требует методической гибкости. Наиболее органично такие упражнения встраиваются в подготовительную или заключительную часть занятия.

Они не требуют специального оборудования и могут выполняться в любых условиях, что соответствует принципам доступности и практико-ориентированности. Важно, что нейрокинезиология не заменяет традиционные средства физического воспитания, а дополняет их, создавая синергетический эффект. Как показано в анализе передового педагогического опыта, комплексное использование двигательных и когнитивных методик позволяет гармонизировать развитие психофизических качеств, повышая не только физическую работоспособность, но и общую академическую успеваемость студентов.

Таким образом, использование нейрокинезиологических упражнений на занятиях физической культурой со студентами представляет собой научно обоснованный и практически реализуемый способ повышения качества образовательного процесса. Для системы высшего образования Республики Беларусь, ориентированной на подготовку конкурентоспособных специалистов, развитие психофизического потенциала студентов через движение открывает новые горизонты. Физическая культура, обогащенная знаниями о работе мозга, превращается в универсальную дисциплину, обеспечивающую не только соматическое здоровье, но и когнитивное благополучие молодежи, их готовность к высокоинтеллектуальному труду.

Список использованной литературы:

1. Влияние физической активности на когнитивные функции организма / Р. Р. Пихаев, Д. М. Гаджиев, Э. Р. Цицкиев [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9, № 3. – С. 45–53.
2. Кинезиология как основа оздоровительной и адаптивной физической культуры: курс лекций для студентов и магистрантов ФФКиС / Н. М. Медвецкая; М-во образования Республики Беларусь, Витеб. гос. ун-т. - Витебск: ВГУ, 2023. – 60 с.
3. Кинезиология как основа оздоровительной и адаптивной физической культуры: метод. рекомендации для магистрантов / Н. М. Медвецкая; Витеб. гос. ун-т. - Витебск: ВГУ, 2020. – 48 с.
4. Методические и практические основы нейрогимнастики в физическом воспитании студентов / Е. Н. Ратова, А. М. Садыкова, Н. Ю. Камалиева, А. А. Фахертдинова. - Казань : КФУ, 2024. – 55 с.

УДК 355.233.11

Крюковский В.Д., кандидат исторических наук, доцент
*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ВЫУЧКА КОМАНДИРОВ ЗАПАСА РККА В УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ БССР (1924–1928 гг.)

Аннотация: Раскрывается работа государственных органов, военных комиссариатов, красноармейских частей, правления академии сельского хозяйства по выучке командиров запаса РККА, отображается накопленный опыт. Анализиру-

ются обстоятельства препятствовавшие обучению, связанные со слабой технической базой, нехваткой денежных средств, бездейственностью руководства некоторых средних образовательных учреждений в налаживании военной выучки студентов, недостаточной квалификацией некоторых военруков.

Abstract: The work of government agencies, military commissariats, Red Army units, and the board of the Academy of Agriculture in training reserve commanders of the Red Army is revealed, and accumulated experience is displayed. The circumstances that hindered training are analyzed, including a weak technical base, a lack of funding, the inaction of some secondary educational institutions in establishing military training for students, and the insufficient qualifications of some military instructors.

Ключевые слова: учебные заведения, материально-техническая база, военный руководитель, инструкторы, студенты.

Key words: educational institutions, material and technical base, military leader, instructors, students.

Образование СССР, укрупнение ССРБ за счет восточных территорий создали благоприятные условия дальнейшего развития социально-политической и культурно-национальной жизни белорусского народа, укрепления обороноспособности государства.

Выучка большого количества резерва личного состава РККА за счет вневойсковой подготовки молодежи, тренировка красноармейцев, находящихся в долгосрочном отпуске, военнотружущих запаса вскрыли перед руководством страны проблему нехватки низших командных чинов. Требовался способ подготовки достаточного количества младшего, среднего начсостава запаса без больших расходов на их обучение. Такой вариант был найден.

С наступлением 19-летнего возраста студенты вузов и учащиеся средних специальных образовательных заведений по приказу Главкома РККА № 28-1923 г. проходили допризывную подготовку в пунктах обучения отдельными группами согласно типовой 420 часовой (210 часов в год) программе. После прохождения допризывной подготовки лица, окончившие гражданские институты, рабфаки, техникумы, школы второй ступени ежегодно осенью направлялись в части РККА вместе с очередным пополнением. Срок действительной военной службы для данной категории молодежи устанавливался в один год и исчислялся с 1 октября года призыва. Успешное освоение курса высшей допризывной военной подготовки приравнивалось к окончанию войсковой школы определенного рода войск, где готовили младший комсостав. Выпускники вузов и ссузов по прибытии в армию, как правило, назначались на соответствующие должностные категории [1, с. 1].

В соответствии с приказом РВС СССР № 1274-1924 г. по истечении годичного срока службы лица, окончившие гражданские высшие и средние специальные учебные заведения, должны были выдержать экзамен по военным предметам (сокращенный вариант) для среднего начсостава. Для этой цели они командировались в ближайшие командные школы рода войск, в котором они состояли. Для проведения испытания приказами войскам Западного военного округа (ЗВО) образовывались специальные комиссии в школах команд-

ного состава, а также при штабах корпусов и полков. Выдержавшие экзамен, освобождались от срочной службы в постоянных войсках и зачислялись в переменный средний начсостав территориальных частей, где они служили на общих основаниях в качестве командиров взводов и рот [2, с. 2].

Успешно проходило военное обучение молодежи в Белорусской государственной академии сельского хозяйства (БГАСХ) имени Октябрьской революции. В октябре 1925 года прошло заседание правления академии под председательством ректора, профессора Н.Т. Козырева. На встрече присутствовали представители четвертого отдела штаба Западного военного округа (ЗВО), территориального управления 4 пехотного корпуса, местных партийных, советских органов, комсомола, милиции, спортивного совета, патриотических обществ. Учитывая большую загруженность парней и девушек академической работой, на заседании решено проводить часть военных уроков с молодежью на территории вуза.

Приказом ЗВО ответственность за проведение высшей допризывной военной подготовки (ВДВП) в академии сельского хозяйства и Горьком рабфаке была возложена на 192 полк 64 территориальной дивизии. Приказом командования части утвержден план высшей допризывной подготовки, один из ротных, несколько взводных и отделенных командиров третьего батальона в соответствии с графиком направлялись в Горки для обучения студентов. Занятия проводились в районном сборном пункте и на вузовской базе. Часть инструкторов привлекалось из комсостава запаса, политруки выделялись РК КП(б)Б и ЛКСМБ из партийного и комсомольского актива [3, лл. 114, 114 об.].

Постановлением ЦИК и СНК СССР от 20.08.1926 г. определялся порядок прохождения боевой учебы со слушателями институтов, техникумов, школ второй ступени. В учебных заведениях вводились должности военных руководителей (ВР), организовывались кафедры высшей допризывной подготовки, в вузовскую учебную программу включались военные занятия в объеме 180 часов на изучение теории, предусматривалась летняя двухмесячная практика в войсках [4, л. 70].

Высшая допризывная подготовка в БГАСХ введена с октября 1926 года. Военным руководителем академии по представлению 4 отдела штаба ЗВО приказом РВС СССР назначен старший командир запаса Михаил Иванович Немченков. Перед началом занятий открылась кафедра Высшей допризывной военной подготовки (ВДВП). Штат учебной единицы включал руководителя (заведующий кафедрой) М.И. Немченкова, преподавателей армейских дисциплин Бориса Владимировича Гульденбалка, Ивана Андреевича Новикова и заведующего военным кабинетом Валентина Владимировича Самохвалова [5, с. 89].

Подлежали выучке 1223 мужчин и 168 женщин. Запланированный образовательный курс первого года ВДВП освоен в полном объеме. Лекции, практические занятия, зачеты проводились без срывов и переносов, опла-

та труда педагогов осуществлялась за счет остатков от соответствующих кредитов. Военный кабинет и летний стрелковый тир оборудованы в соответствии с требованиями управления военно-учебных заведений ГУ РККА. Методические пособия, учебники приобретены в количестве 10 – 20 процентов от общего количества занимающихся из расчета 100 процентного обеспечения каждой учебной подгруппы в 50 человек. Учет молодежи, проходящей ВДВП, налажен хорошо.

Учитывая значительную численность групп военной выучки (до 90 человек), преподавание главным образом проходило в форме лекций. Если явка на занятия в осенние месяцы протекала неустойчиво, то посещаемость во втором триместре доведена до 75 процентов. Для лучшего усвоения материала практиковалась увязка военных знаний со смежными предметами. Профессорско-преподавательский состав кафедр общественно-правовых дисциплин, аналитической, агрономической и органической химии, сельскохозяйственного машиноведения, производственной механики приглашались на уроки ВДВП для чтения лекций, докладов, проведения бесед, имеющих прикладное значение для подготовки младших командиров РККА.

Для изучения военной техники, инженерной, топографической подготовки использовались кабинеты кафедр гидравлики, машиноведения сельского хозяйства, механики производственной и теоретической, двигателей, геодезии, топографического рисования. Часть занятий проходили в химических лабораториях. Широко эксплуатировалась материально-техническая база Горьцкого пункта обучения, физкультурных и патриотических организаций.

В 1927/1928 учебном году военная кафедра решала очередные задачи: добиться 100 процентной посещаемости занятий, сокращение численности групп до 40–50 человек, перестройка методики преподавания, дальнейшая увязка боевой учебы с общественными науками и техническими дисциплинами, организация научно-исследовательской работы. Боевую подготовку осваивали 1417 парней и девушек. Важное внимание придавалось управляемой самостоятельной работе студентов. В вечерние и воскресные часы молодежь по заданиям педагогов изучали теорию военного искусства, упражнялись в выполнении строевых, тактических, стрелковых приемов. Результаты индивидуальной работы закреплялись в ходе практических занятий [6, с. 3; 16, с. 90].

В летний период обучения часть студентов второго и третьего курса проходили учебную практику младшими командирами в войсках: 192 пехотном полку 64 стрелковой дивизии, кавалерийском эскадроне (Орша) 27 Омской пехотной дивизии имени итальянского пролетариата, других войсковых частях. Практиковался выезд групп слушателей в войсковой лагерь «Советская Белоруссия» (станция Дретунь, Полоцкий район). Остальные студенты второго, третьего года обучения, выпускной курс выполняли трехнедельные выходы в поле при БГАСХ.

Как отмечал ректор, профессор Н.Т. Козырев: «не смотря на имеющиеся сложности, кафедра ВДВП в 1926 – 1928 годы полностью сформировалась, усилилась и имеет в дальнейшем хорошие перспективы для развития» [7, с. 12, 16, 17].

Эффективно, как показало исследование, проходил военная учеба студентов в БГУ, Белорусском государственном ветеринарном институте, Витебском кооперативном, политехническом, педагогическом, Минском архитектурно-дорожно-строительном, медицинском, Гомельском железнодорожного транспорта, Полоцком лесного хозяйства техникумах, Горьком, Оршанском рабочих факультетах [8, с. 50, 51, 53; 9, л. 66].

На качество подготовки младших командиров территориальных частей и запаса негативное воздействие оказывало слабое техническое оснащение пунктов и мест обучения молодежи.

Финансирование военной выучки студентов осуществлялось наркомпросом, окружными, районными исполкомами советов, военными комиссариатами, патриотическими и спортивными организациями. Часть средств изыскивали правления вузов, советы техникумов, руководство школ второй ступени за счет сбережения выделяемых государственных ресурсов для строительства учебных корпусов, другой базы образовательного процесса. Так обстояли дела во всех высших, ряде средних специальных учебных заведений республики.

В большинстве случаев, как свидетельствуют архивные и другие материалы, образовательный комплекс ВДВП был представлен убого, в виде обычных земельных участков для строевых упражнений, необорудованных классов военных занятий, отдельных гимнастических лестниц, параллельных брусьев, одного – двух турников, иногда деревянного коня. В схожем виде находилась учебная база Буда-Кошелевского, Жорновского лесных, Воронежского животноводства и молочного хозяйства, Витебского еврейского, Могилевского Белорусского педагогических техникумов, Лужеснянской сельскохозяйственной школы крестьянской молодежи [10, лл. 155; 11, л. 25; 12, с. 205].

Негативно влияло на постановку учебного процесса скудное финансирование комиссариатом просвещения оплаты труда преподавателей армейских дисциплин. Это вынуждало руководство заведений образования увеличивать численный состав студентов в группах ВДВП. Так, в Белорусских государственных академии сельского хозяйства, ветеринарном институте количество обучающихся в группах допризывной подготовки достигало 75 – 90 человек, что, конечно, не способствовало качественному усвоению военных знаний. Чрезмерное наращивание численности групп военной выучки имели место во всех средних специальных учебных заведениях БССР [8, с. 52].

Сложность в налаживании системы военной учебы студенчества определялась новизной решаемых задач, отсутствием опыта организации такой дея-

тельности. Как результат руководство ряда техникумов, школ второй ступени проявляли медлительность, чрезмерную осторожность при налаживании военно-спортивной выучки слушателей, при этом свою бездеятельность объясняли отсутствием подробных указаний со стороны союзного и республиканского руководства в организации военной выучки студенчества на местах. Такая практика наблюдалась в Витебском художественном, Гомельском Белорусском педагогическом, Минском музыкальном техникумах, Краснобережской школе сельскохозяйственного ученичества [13, с. 68].

Остро стояла проблема с нехваткой квалифицированных кадров боевой выучки студентов. Во всех высших учебных заведениях республики на должностях ВР трудились лучшие представители старшего комсостава запаса. Для техникумов, школ второй ступени опытных кадров военруков не хватало. Руководителями боевой подготовки обычно здесь назначались командиры взводов или политруки рот территориальных частей, причем за ними закреплялись несколько организаций, многие военные руководители временно прикомандировывались к учебным заведениям. Теоретические знания, организаторские способности, методические компетенции данных специалистов зачастую не соответствовали компетенциям, предъявляемым для военно-педагогических кадров. Подобная ситуация была характерна для Борисовского педагогического, Марьиногорского садово-огородном техникумов, Белицкой сельскохозяйственной школы совхозовских рабочих [14, л. 8; 10, л. 120].

Изучение показало, что во всех высших, большинстве средних специальных образовательных учреждений республики, несмотря на существовавшие отрицательные факторы, удалось обеспечить высокую результативность высшей допризывной выучки слушателей, что обеспечило хорошую подготовку достаточного числа резерва младшего, среднего командного состава для Вооруженных Сил страны.

Список использованных источников

1. Военная служба для окончивших ВУЗы // Звезда. – 1924. – 5 окт. – С. 1.
2. Ответ строевого отдела Управления ЗВО // Красноармейская правда. – 1925. – 16 окт. – С. 2.
3. Государственный архив Витебской области (ГАВт). – Ф. 1611. Оп. 1. Д. 76.
4. ГАВт. – Ф. 1611. Оп. 1. Д. 23.
5. Записки Белорусской государственной академии сельского хозяйства им. Октябрьской революции. – Горки, 1928. – Т. 6. – 254 с.
6. Зборнік прысвечаны дзесяцігодзью Кастрычнікавае рэвалюцыі : зб. арт. / Беларус. дзярж. акад. сел. гаспадаркі ; рэдкал.: М. Ц. Козыраў (гал. рэд.) [і інш.]. – Горкі : БДАСГ, 1927. – 32 с.
7. Козырев Н.Т. Обзор деятельности академии / Н.Т. Козырев // Записки Белорусской государственной академии сельского хозяйства им. Октябрьской революции. – Горки, 1928. – Т. 6. – С. 1–24.
8. Алону, Я. П. Да гісторыі Беларускага дзяржаўнага вэтэрынарнага інстытуту імя Кастрычнікавае рэвалюцыі (1924–1927 гг.) / Я. П. Алону. – Віцебск : Беларус. дзярж. вет. ін-т, 1928. – 79 с.

9. ГАВТ. – Ф. 1611. Оп. 1. Д. 46а.
10. ГАВТ. – Ф. 1611. Оп. 1. Д. 61.
11. ГАВТ. – Ф. 1611. Оп. 1. Д. 71.
12. Записки Белорусского государственного института сельского хозяйства в память Октябрьской революции. – Минск : [б. и.], 1923 – 1924. – Вып. 1. – 274 с.
13. Записки Белорусской государственной академии сельского хозяйства им. Октябрьской революции. – Горки, 1928. – Т. 6. – 254 с.
14. ГАВТ. – Ф. 1611. Оп. 1. Д. 79.

УДК 378.1

Сокол О.В., старший преподаватель;
Мулярова О.В., старший преподаватель

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск (Республика Беларусь)*

КОМПАС-GEARS – СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТ САМОРАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРА

Аннотация. В данной статье рассматривается подход к формированию «жестких» навыков (hard skills) будущего инженера через применение инструментария КОМПАС-GEARS. «Жесткие» навыки составляют техническую основу профессии инженера, позволяя грамотно проектировать, рассчитывать и внедрять решения в соответствии с современными стандартами.

Abstract. This article discusses an approach to the formation of «hard» skills of a future engineer through the use of the COMPASS-GEARS toolkit. "Hard" skills form the technical basis of the engineer's profession, allowing for the competent design, calculation, and implementation of solutions in accordance with modern standards.

Ключевые слова. «Жесткие» навыки, саморазвитие, мышление, технические знания.

Keywords. Hard skills, self-development, thinking, technical knowledge.

Инженер в аграрной промышленности – это не просто технический специалист, а связующее звено между теоретическими разработками и их практической реализацией. Инженерная мысль стоит за каждым производственным процессом: от проектирования новых продуктов до оптимизации существующих технологических цепочек [1].

Современный инженер – это разносторонний профессионал, который умеет решать сложные задачи, работать в команде и адаптироваться к изменениям. Чтобы оставаться востребованным, важно в процессе обучения в ВУЗе сформировать устойчивый набор профессиональных навыков и умений, связанных с технической стороной деятельности, так называемые «жесткие» (hard skills) навыки.

Без постоянного совершенствования профессиональных компетенций инженер рискует утратить конкурентоспособность на рынке, где технологии стремительно развиваются [2].

Инженер должен уметь проектировать изделия, применять современные инструменты, знать математический аппарат (как провести расчёт, как решать дифференциальные уравнения) и уметь делать чертеж того или иного изделия. Это база, которая практически не меняется десятилетиями. В современном мире требуется пропускать через себя много информации и извлекать из неё идеи. Объём входящих данных растёт, а значит, и потребность в более быстрой их обработке [3].

Этому способствует изучение программ для 3D-моделирования и применение CAD-моделирования на практических занятиях по таким дисциплинам как «Прикладная механика» и «Детали машин». Одной из таких программ является КОМПАС-3D, которая имеет встроенное приложение КОМПАС-GEARS.

КОМПАС-GEARS современный программный комплекс, предназначенный для автоматизированного проектирования, прочностного анализа и производства механических передач (рисунок 1). Это мощный инженерный инструмент для освоения теории зацепления, кинематики и Dynamics.

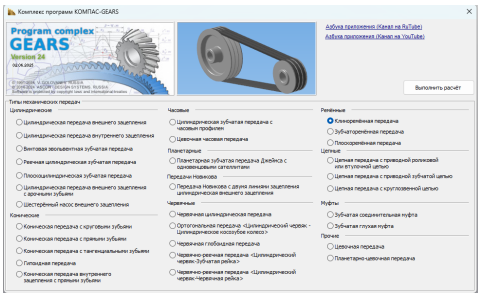


Рисунок 1 – Варианты расчетов механических передач в КОМПАС-GEARS

КОМПАС-GEARS позволяет не только создавать визуальные модели (рисунок 2), но и проводить инженерные расчеты (рисунок 3), симуляции (рисунок 4) и подготовку к производству.

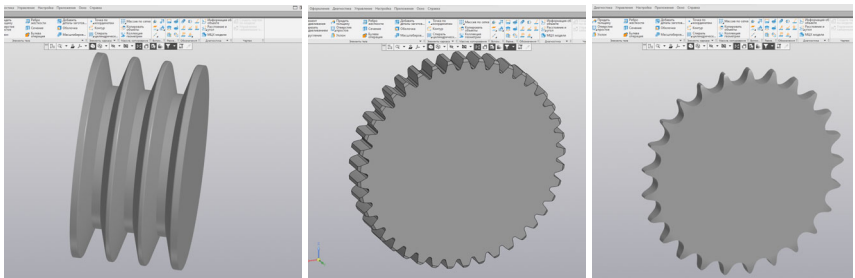


Рисунок 2 – Модели механических передач, созданных в КОМПАС-3D

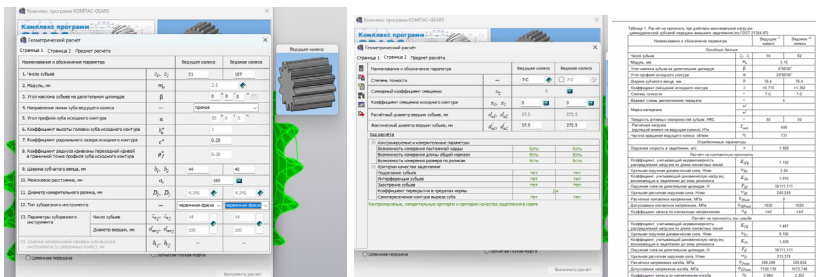


Рисунок 3 – Пример геометрического и прочностного расчетов зубчатой передачи с внешним зацеплением, выполненного в КОМПАС-3D

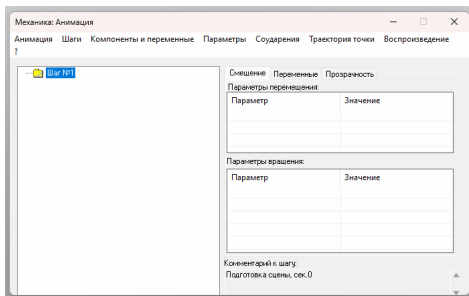


Рисунок 4 – Визуализация вращения конической зубчатой передачи

Изучение КОМПАС-GEARS способствует самаразвитию инженера и позволяет совершенствовать:

- пространственное воображение (умение мысленно представлять детали в трех измерениях, понимание их пропорции, глубины и взаимодействия в пространстве);
- инженерная логику и алгоритмическое мышление (понимание того, как строится геометрия объекта. Это важно для создания правильного «дерева построения» – последовательности операций);
- чтение и создание чертежей (трансляция плоских 2D-эскизов в объемные формы и, наоборот, умение извлекать точные рабочие чертежи из готовой 3D-модели);
- навык сборок и кинематики (способность соединять отдельные компоненты в единый механизм, задавать связи и проверять детали на взаимные пересечения и подвижность);
- виртуальное тестирование (подготовка к проведению симуляций (нагрузки, прочность, теплообмен), что позволяет проверять работоспособность до создания реального прототипа);
- оптимизация производства (умение проектировать изделия с учетом технологий их изготовления: литья, фрезеровки, токарной обработки или 3D-печати) [5].

Таким образом КОМПАС-GEARS помогает инженеру развиваться из обычного инженера во всесторонне развитого специалиста, способного глубоко понимать производственные процессы.

Список использованных источников

1. Агроинженер: что это за профессия, обязанности и перспективы карьерного роста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sky.pro/wiki/profession/agroinzhener-chto-eto-za-professiya-obyazannosti-i-perspektivy-kariernogo-rosta/>. – Дата доступа 10.05.2026.

2. Какие навыки развивать инженеру [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://4brain.ru/blog/kakie-navyki-razvivat-inzheneru/>. – Дата доступа 10.05.2026.

3. Анучина, М. Современный инженер — каким он должен быть, населением [Электронный ресурс] // Сириус. – 2025. № 4 (18.04.2025). – URL: <https://siriusmag.ru/articles/2965-sovremennyy-inzener-kakim-on-dolzen-byt/>. (дата обращения: 10.05.2026).

4. Князьков, В. В. Технологии CAD-систем в инженерном графическом образовании // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2012. – № 4 (Апрель). – С. 46–50. – URL: <http://e-koncept.ru/2012/1242.htm>.

5. Специалист по инженерному 3D-моделированию: будущее со всех сторон. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/861666/>. – Дата доступа 10.05.2026.

Summary. Regular work with calculation systems like KOMPAS-GEARS teaches engineers to think systemically: to integrate theoretical mechanics, materials science, production technology (gear cutting), and operational loads into a single workflow. This is the transition from flat drawings to digital twins.

УДК 378.147:32

Мартынчук И.В., старший преподаватель

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ ПОЛИТОЛОГИИ СРЕДИ ДИСЦИПЛИН СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНОГО ЦИКЛА

Аннотация В статье рассматриваются основные проблемы преподавания политологии в высшей школе. Приведены различные формы занятий в рамках преподавания дисциплин социально-гуманитарного цикла. Перечислены основные трудности, с которыми сталкиваются преподаватели и студенты на занятиях.

Abstract The article is devoted to the teaching of politology in the high school. Problems of teaching process are covered in the article. Different types of classes are mentioned in the text.

Ключевые слова: политология, методика преподавания, политическое сознание.

Keywords: politology, teaching, political awareness.

На протяжении последнего времени политология заняла прочное место среди дисциплин социально-гуманитарного цикла вузовских программ обучения студентов. Ее преподавание позволяет решать целый ряд задач: формировать у студентов научные знания о политической системе общества, способствовать овладению навыками анализа политических отношений, знакомить с принципами классификации политических институтов. Кроме того, существенным является воспитательный потенциал учебной дисциплины: она способствует формированию гражданской позиции.

При отборе учебного материала и составлении рабочего плана проведения занятий по политологии необходимо четко представлять себе специфику студенческой аудитории. Она проявляется в том, что в 18–20 лет собственного опыта участия в политической жизни у студентов практически не имеется: в лучшем случае они один-два раза принимали участие в выборах органов власти какого-либо уровня. Но при этом достаточно сильно проявление сложившихся в обществе стереотипов политического сознания и политической культуры [1, с.127].

Лекции и семинары неразрывно связаны между собой. Каждая из этих форм учебного процесса занимает свое определенное место, дополняют друг друга и делают процесс приобретения знаний содержательным и целостным. Важнее всего добиться эффективного взаимодействия между ними. При проведении лекционных и практических занятий по политологии целесообразнее использовать наряду с другими методами компаративный, позволяющий сравнивать определенные политические явления, события из прошлого с настоящим определенного государства [2, с.37].

При несомненной значимости курса политологии возникает ряд сложных методических проблем в процессе его преподавания.

1. Крайняя ограниченность аудиторного времени: 18 ч лекций и 18 ч семинарских занятий. За это время преподаватель должен дать студентам краткое, но целостное представление о специфике политологии как науки, ознакомить с этапами развития политической мысли, дать теоретические основы главных тем курса, раскрыть типологию явлений политической жизни, научить студентов грамотно использовать понятийный аппарат политологии.

2. Необходимость избегать излишнего теоретизирования курса. Изучение теоретических основ дисциплины не является самоцелью, оно должно способствовать формированию у студентов навыков анализа и сопоставления явлений политической жизни в разных странах. При этом необходимо акцентировать их внимание на специфике политических процессов в современной Беларуси.

3. Выбор наиболее эффективных способов и форм организации учебного процесса с целью повышения познавательной активности студентов. Для реализации этих задач необходима продуманная методика преподавания дисциплины, которая должна активизировать восприятие студентами учебной информации и обеспечить перевод ее в навыки политического поведения.

Формы самостоятельной работы студентов по изучению курса политологии достаточно разнообразны: подготовка докладов и содокладов, подготовка к деловой игре, работа над понятиями, библиографический поиск литературы по заданной теме, аннотирование научных статей и др. Кроме того, применяется проведение учебных исследований по разным темам курса [1, с.128].

Студентами выполняется, например, сравнительный анализ программ политических партий современной Беларуси или методов проведения избирательных кампаний, анализ решений органов местного самоуправления по конкретным вопросам политической жизни, изучение форм деятельности организаций гражданского общества. Чтобы студент осознал себя не только потребителем, но и распространителем нового знания, ощутил общественную значимость своих усилий, целесообразно использовать групповую форму организации работы. В рамках небольшой группы (3–4 чел.) студенты работают над решением одной задачи. Каждый выполняет часть общей работы и в законченном виде эти части объединяются.

В освоении дисциплины должны также помогать активные формы: олимпиада, студенческая научная конференция, дискуссии. Одним из популярных форм проведения занятия по политологии становятся занятия с элементами дискуссии. Как показывает практика, такие занятия придают «живой» характер усвоению материала, повышают политическое сознание студентов, обучают ораторскому искусству, а также активизируют процесс политической социализации [2, с.38].

Безусловно, такие формы самостоятельной работы требуют хорошей информационной базы. Для проведения, например, сравнительного анализа программ политических партий необходимо располагать их текстами. Большую помощь в этом студентам оказывает созданное коллективом кафедры электронное учебное пособие, размещенное на жестком диске и позволяющее использовать компьютерные технологии в процессе обучения.

Главной целью обучения политологии является формирование системного подхода к политической сфере общества, что способствовало бы активизации политического участия, формированию политического мировоззрения, умению проведения анализа политических явлений, развитию интеллектуальных способностей человека [2, с.38].

Таким образом, сейчас совершенно очевидным становится тот факт, что политология приобретает важную роль, так как процесс создания и развития демократического государства, невозможно понять без соответствующего уровня политического сознания и политического поведения.

Список использованной литературы

1. Борзихина, И. В. Преподавание политологии в ВУЗе: приоритеты и методика / И. В. Борзихина, Т. Е. Эйдис // Известия УрГЭУ; под общ. ред. В. М. Камышова – Екатеринбург, 2005. – С. 126–130.

2. Мухамбеткалиева, Г.М. К вопросу о методологии преподавания политологии в высшем учебном заведении / Г. М. Мухамбеткалиева // World Science. 2016. Т.4. № 4(8). – С. 36–38.

3. Поливаева, И. П. Методика преподавания политологии в высшей школе: учебное пособие / И. П. Поливаева: Воронежский институт экономики и социального управления – 2-е изд., Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2024. – 114 с.

Summary Politology has a great role in university program because of its big role in the political life of each country.

UDC 378

Umar Abubakar Sokoto¹, Ph.D.
Muhammad Bello Garba², Ph.D.
Zainab Usman Sa'ad¹

¹ *Department of Business Education, Shehu Shagari College of Education,
Sokoto, Nigeria*

² *Department of Technical Education, Shehu Shagari University of Education,
Sokoto, Nigeria*

**INFLUENCE OF ENTREPRENEURSHIP EDUCATION
ON ACQUISITION OF EMPLOYABLE SKILLS COMPETENCIES
AMONG BUSINESS EDUCATION STUDENTS
OF USMANU DANFODIYO UNIVERSITY, SOKOTO**
**ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА
НА ПРИОБРЕТЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ НАВЫКОВ И
КОМПЕТЕНЦИЙ, НЕОБХОДИМЫХ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ,
СРЕДИ СТУДЕНТОВ, ИЗУЧАЮЩИХ БИЗНЕС-ОБРАЗОВАНИЕ
В УНИВЕРСИТЕТЕ УСМАНУ ДАНФОДИЙО, СОКОТО**

Abstract. The study was aimed at exploring the effect of entrepreneurship education on acquisition of employable skills and competencies among business education students in Usmanu Danfodiyo, University Sokoto. It was premised as two research objectives and corresponding two questions, employing a survey research design approach. The target population comprised 300 students and 30 lecturers of the University with 45 participants selected through a simple random sampling technique Data collection was carried out via a structured Likert scale questionnaire, measuring responses on a continuum from Strong Agreement to Strong disagreement measuring Strong agreement. Descriptive statistics was used for analysis. The findings indicated there Disagreement. Entrepreneurship education as significant influence on acquisition of employable skills among students. Based on the results of the findings, it was recommended that students should be encouraged by entrepreneurship education teachers or lecturers to put into practice the knowledge acquired during their studentship in order to be self-reliant and that sheets should pursue further training and acquisition of skills even after graduation from college ho further develop their skills and competencies

Keywords: Entrepreneurship Education, Employable skills and competencies Acquisition, Usmanu Danfodiyo University of Education Students.

Introduction. In the past after graduating from tertiary institutions, people did not have to wait for long period of time before finding their first jobs. Drifting of the youth from rural areas to urban centers to work for non-existent jobs has accentuated the rate of urban unemployment and underemployment. Nigeria's unemployment rate according to Akande (2014) is growing at a very fast pace Joseph (2015) observed that Nigeria's has one of the highest rates of youth employment in the world of about 60% The unemployed mostly encompass young adults who have graduated from tertiary educational institutions. Duru (2017) indicated that every year, about 3.8million young people who have dropped out of tertiary institution or have not received any higher education beyond secondary school flood the already over saturated labor market

Statement of the Problems

Presently, there is a huge challenge of increase in unemployment in the country. There is need for creation of jobs and also acquisition of skills by the youth to be useful to themselves and their communities in order to reduce the rate of unemployment in the society. Employers of labor lament of graduates not possessing the needed competencies to be employable in the labor market. This may be as a result of graduates not having employable skills. Many graduates are moving around the streets of major cities in search for white-collar jobs which are not available Acquisition of entrepreneurial skills would make graduates job creators and not job seekers, to mitigate the unemployment situation in the country. Introduction of entrepreneurial education into tertiary institutions was meant for graduates to acquire technical skills and to become self-employed with business creation capacities acquired through entrepreneurial education It was against this background that this study examined the influence of entrepreneurship skills acquisition on employability among entrepreneurship education students of Usmanu Danfodiyo University Sokoto.

Research Questions

In pursuance of the objectives, the following research questions were raised to guide the study.

1. To what extent has technical skills acquisition of entrepreneurship education students of Usmanu Danfodiyo University Sokoto enhanced their employability potentials?
2. To what extent has communication skills acquisition influenced employability potentials of entrepreneurship education students in Usmanu Danfodiyo University, Sokoto?

Methodology

The study used a survey research design aimed at determining the effect of entrepreneurship education on acquisition of employable skills and competen-

cies among students of Usmanu Danfodiyo University Sokoto. It was a cross sectional study to establish the relationship between entrepreneurship education and acquisition of employable skills and competencies, the population comprised all undergraduate students of entrepreneurship education numbering 300 and all lecturers numbering (30 of Usmanu Danfodiyo University, Sokoto. According to Alamu and Olukosi (2010), the major concern in a research is an unbiased sample. The study therefore used pure random sampling technique to select 30 students running entrepreneurship education and 15 lecturers of different subjects in the department to ensure that every member of the population had equal probability of being included in the sample thereby ensuring an unbiased representation of the population. The sample size was 45 in total. The instrument for the study was a researcher-designed questionnaire titled: Effect of Entrepreneurship Education on Acquisition of Employable Skills and competencies. Assessment Questionnaire (IEEAESAQ). The instrument for the study was fashioned after a four-point likert rating on dimensions of agreement and disagreement of respondents. The respondents were required to express their opinions in terms of strong agreement (SA), Mere Agreement (MA), Mere Disagreement (MD) and Strong Disagreement (SD).

Based on the weights, weighted means were computed for each response variable and the resultant index used to decide agreement or otherwise among respondents regarding the propositions in the response variables.

Discussion of Findings

The study has revealed that acquisition of technical skills in entrepreneurship education enhances employability potentials of students. This is evidenced by the that having a change of attitude from being a job seeker to being a job provider, ability to write a business plan, keeping of confidential documents secret through data processing and understanding the socioeconomic and political framework of the business environment have been shown to influence acquisition of employable skills among businesses education students of Usmanu Danfodiyo University, Sokoto. This finding is in line with Ojo, et al. (2022) who opined that entrepreneurship education plays an important role in equipping trainees with requisite technical skills that combine to make a graduate of entrepreneurial education a provider of jobs rather than being a job-seeker, the study also indicated that acquisition of communication skills enhances employability potential of students on graduation. Effective communications in the workplace among co-workers promote understanding and cohesion if there should be progress. Leadership skills, motivational skills and innovative skills as components of communication skills ensure team spirit in the workplace and achievement of objectives. This is corroborated by Azih and Wagbara (2018) who reported that communication skills acquisition is a very necessary condition to acquire and maintain positions in employment environments.

Conclusion

The study established that acquisition of technical skills has positively influenced the chances of gaining employment on graduation. Acquisition of appropriate skills in communication ensures team spirit and understanding among co-workers and therefore enhances the probability of securing employment when one is proficient in communicating.

Recommendations

Based on the findings, the following recommendations were made.

1. Teachers/lecturers entrepreneurship education are enjoined to encourage students to put into practice the knowledge acquired during their studentship by starting, operating and running of their own business ventures in order to be self-reliant and independent of other for sustenance
2. Students are encouraged to pursue further training and acquisition of skills even after graduation from college to further develop their skills and competencies in a rapidly-changing employment landscape so as to be continuously relevant in the world of work.

References

1. Abubakar S. G. (2020). Refocusing Education System Towards Entrepreneurship Development in Nigeria: A Tool for Poverty Eradication *European Journal of Social Sciences*, 15(11), 140-150
2. Akande, T. (2014). Nigeria's Unemployment Rate Growing at a Very Fast Pace: *Journal of Economic Development*, 45(2), 75-89.
3. Adamu O.J & Olukosi Y.A. (2010). Methodology Approach in Educational Research *Journal of Educational Research* 12(13),45-56
4. Azih, N & Wagbara. S.O. (2018) Leveraging on Modern Instructional Delivery Strategies for Development of Employability Skills of Business Education Students. *Nigeria Journal of Business Education*. 3(1),1-10
5. Banabo, E & Ndiomu K. (2021) Entrepreneurial Education: Strategy for Sustainable Development *Asian Journal of Business Management*, 3(3)192-202.
6. Duru, P. (2017). Labor Market Saturation: The Challenges of Youth Unemployment in Nigeria. *International Journal of Social and Economic Studies*, 12(3), 22-35.
7. Federal Government of Nigeria. (2014). National Policy on Education. Federal Ministry of Information
8. Joseph, A. (2015). Youth Unemployment in Nigeria: A Critical Review, *Journal of African Studies*, 10(1), 48-62.
9. National Bureau of Statistics. (2024). Labor Force Statistics: Unemployment and Underemployment Report. Daily Trust.
10. Ojo, M.O., Akinola, O.T. & Gotip. N.W. (2022). Assessing the Importance of Education in Entrepreneurship Development in Nigeria. *International Journal of Innovative Research and Development*, 11(2),169-174.

Меньчеля С.В., старший преподаватель;

Павлова С.Ю., студент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКОГО ТУРИЗМА В БЕЛАРУСИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы развития сельского туризма в Беларуси, его значение для экономической отрасли в целом и для сельских территорий в частности. Для повышения эффективности отрасли необходимы развитая инфраструктура, упор на самобытность и специализированная подготовка кадров.

Abstract: This article examines the development of rural tourism in Belarus, its importance for the economy as a whole and for rural areas in particular. To improve the industry's effectiveness, developed infrastructure, a focus on distinctive features, and specialized training are essential.

Ключевые слова: туризм, сельский туризм, подготовка кадров

Key words: tourism, rural tourism, personnel training.

30 декабря 2025 г. Совет Министров Республики Беларусь утвердил государственную программу «Туризм» на 2025 - 2030 гг. Государственная программа направлена на решение задач государственной политики в сфере туризма и достижение приоритета «Реализация туристического потенциала», основное внимание планируется уделить созданию современных объектов туристической индустрии, комфортных и доступных для всех категорий туристов; а также развитию международного въездного туризма и внутреннего туризма [1].

Одной перспективных отраслей туризма Беларуси может стать сельский туризм - сектор туристской индустрии, ориентированный на использование природных, культурно-исторических и других ресурсов сельской местности и её особенностей для создания комплексного туристского продукта. Привлекательными чертами сельского туризма является его уютная атмосфера, чистая природа и воздух, натуральные продукты, а также тихая и умиротворённая жизнь. Особенно удобен такой вид отдыха для тех туристов, которые по различным причинам не могут позволить себе другие виды туризма. Данный вид туризма позволяет городским жителям приобщаться к традициям и жизненному укладу сельских жителей, отдохнуть от динамичного ритма жизни, сменить обстановку на более спокойную, пообщаться с природой [2, с. 33].

Данный вид туризма может пользоваться спросом у потребителей с детьми. Здесь есть вариант ностальгической мотивации (значительная часть граждан Беларуси, да и ближнего зарубежья имеет сельские корни,

и вариант сельского туризма может рассматриваться как возвращение в прошлое), или же образовательно-воспитательной мотивации (взрослые стремятся показать детям сельский быт, дать возможность пообщаться с животными, увидеть, как растут овощи и фрукты).

На современном этапе развития идеи и объектов агротуризма все более проявляется использование в их деятельности результатов научных работ, как по изучению истории и культуры белорусского народа, по анализу успешности или неудачности экономической деятельности объектов агротуризма, по разработке приёмов оптимальной функциональной организации территории и объектов агротуризма, по использованию потенциала рекламы и менеджмента [с. 160].

Сегодня в Беларуси более 1,3 тыс. агроэкоусадб, на которых отдыхает свыше полмиллиона человек. Развитие сельского туризма в Беларуси регламентируется рядом законодательных актов. Субъекты агротуризма могут оказывать агротуристам следующие услуги: ознакомление с природными, сельскохозяйственными и архитектурными объектами, национальными традициями соответствующей местности; предоставление жилых комнат в агроэкоусадбе для проживания; обеспечение питанием с использованием сельскохозяйственной продукции, произведённой и (или) переработанной на земельных участках, предоставленных субъектам агротуризма; проведение презентаций, юбилеев, банкетов; оказание услуг бань, саун и душевых; проведение мастер-классов; катание на животных, за исключением диких, и гужевом транспорте; транспортное обслуживание; проведение спортивно-массовых, физкультурно-оздоровительных и культурных мероприятий; предоставление инвентаря для спорта и отдыха [4].

Важность развития сельского туризма связана не только с туристическим сектором экономики, но и с развитием сельских территорий в целом. Туристические объекты в сельской местности создают рабочие места, позволяют закреплять кадры, способствуют развитию инфраструктуры. При этом, безусловно, необходимы первоначальные финансовые вложения, информационная поддержка и кооперация с иными субъектами туристической сферы, однако особенности налогового обложения сельского туризма и опора на природные ресурсы, позволяют предполагать достаточно скорую окупаемость проекта.

В то же время ряд субъектов сельского туризма Беларуси не в полной мере используют его потенциал, ведя, по сути, деятельность сельских гостиниц и банкетных залов. Такая деятельность имеет право на существование и обладает определённым спросом со стороны потребителя, но не является чем-то уникальным, способным стать туристическим брендом Беларуси. Именно опора на историко-культурное наследие и традиционную культуру белорусов позволяет решить данную проблему. Ведь предложение о ночлеге в комфортабельном доме, даже в живописном уголке по-

среди нетронутой природы, можно найти в любой стране мира, но если сделать ставку на аутентичность, то услуга станет уникальной. Аутентика не означает обязательный отказ от благ цивилизации и экстремальный туризм, который хотя и пользуется популярностью в определённых кругах, но может «отпугнуть» целевую аудиторию. Эффект погружения в историю может дать мастер-класс, использование традиционных предметов быта, инструментов и т.д. В качестве примера такой деятельности можно привести усадьбу Родевичи Ошмянского района Гродненской области. Являясь сама по себе местом историческим, она используется как одна из локаций для экскурсий компании «Страна Замков», а на её территории туристы могут ознакомиться с миниатюрными копиями различных архитектурных достопримечательностей Беларуси.

Сельский туризм обладает также значительным потенциалом в сфере промышленного туризма. В процессе экскурсий на предприятия туристы знакомятся с историей, производственным циклом, участвуют в дегустациях, мастер-классах, тестировании продукции. Если крупные промышленные предприятия уже давно практикуют проведение таких мероприятий, то предприятия малых городов, а также сельской местности только начинают систематически включаться в работу. Так, регулярные гастрономические туры проводит крафтовая сыроварня «ГрандМилк» (GrandMilk), расположенная в агрогородке Полочаны Молодечненского района Минской области и специализирующаяся на производстве выдержанных твердых сыров и сыров из овечьего молока. Предприятие включено также в различные туристические маршруты.

Всё это делает сельский туризм специфической сферой, а субъектов его накладывает определённые обязательства и необходимость развития компетенций и знаний в области истории, традиционной культуры и сельского хозяйства. Подготовкой специалистов в области туризма занимается ряд высших и средних специальных учебных заведений Республики Беларусь. БГУ, БГУКИ, ВГУ имени П. М. Машерова готовят менеджеров по культурному наследию и туризму, в БГПУ имени Максима Танка и БГУФК акцент делается на спортивное направление, в ПолесГУ и БГЭУ на предпринимательскую деятельность в сфере туризма. Со сферой туризма связаны географические факультеты ряда ВУЗов. В это же время ниша подготовки специалистов в сфере агротуризма является незанятой. Вполне логичной выглядит идея подготовки или переподготовки таких специалистов в аграрном ВУЗе.

На базе Белорусского государственного аграрного технического университета такую деятельность можно было бы организовать либо в рамках Института повышения квалификации и переподготовки кадров для работников АПК, либо как специализацию для специальностей «Менеджмент» или «Агробизнес». Для этого имеется и определённая база. На Гуманитарно-экологическом отделении общественных профессий при Студенческом клубе БГАТУ существуют кружки и отделения «Экскурсионная деятель-

ность», «Агробизнес» и «Этнография Беларуси». Ранее, до реорганизации одноимённого факультета и создания отделения, обучение по данным направлениям засчитывалось студентам как общественная практика, обязательная для всех первокурсников, а в случае успешного освоения программы, они получали свидетельства государственного образца. Кафедрой социально-гуманитарных дисциплин был разработан и внедрён в учебный процесс курс «Историко-культурное и духовное наследие белорусского народа», в рамках которого студенты могли ознакомиться с объектами историко-культурного наследия Беларуси, нормативными актами, регламентирующими их охрану и эксплуатацию, объектами нематериального наследия (национальный костюм, кухня, народные промыслы, фольклор). Преподавание данной дисциплины велось более 10 лет, однако в новых учебных планах БГАТУ она отсутствует. Таким образом, методическая база для подготовки специалистов в области сельского туризма в БГАТУ имеется.

Сельский туризм в Беларуси обладает значительным потенциалом и может стать туристическим брендом нашей страны. Он пользуется популярностью как в сфере внутреннего, так и въездного туризма. Для повышения качества предоставляемых услуг и привлечения туристического потока необходимы упор на самобытность практика лицензирования деятельности и организации непрерывного образования и повышения квалификации кадров, развитая инфраструктура, кооперация с туристическими операторами и включение объектов сельского туризма в республиканские туристические маршруты.

Список использованной литературы

1. О Государственной программе «Туризм» на 2026–2030 годы / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 17.01.2026, 6-1/55659: [сайт]. – URL: <http://pravo.by> (дата обращения: 14.05.2026).
2. Полякова, И. Л., Григорьева, М. П. Сельский туризм: классификации и особенности организации // Сервис в России и за рубежом. 2017. Т. 11. Вып. 5. – С. 31-43.
3. Киселева, М. С. История агроэкотуризма в условиях Беларуси / М. С. Киселева // Сельское хозяйство Беларуси сквозь призму научных исследований (XIX – начало XXI в.) : докл. Междунар. науч. конф., Минск, 23 сент. 2021 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Белорус. с.-х. б-ка им. И. С. Лупиновича, Ин-т истории ; редкол.: Ю. О. Каракулько (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2021. – С. 155–162.
4. Указ Президента Республики Беларусь от 4 октября 2022 г. № 351 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь : [сайт]. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=11031&p0=P32200351> (дата обращения: 14.05.2026).

Summary Rural tourism in Belarus has significant potential and could become a tourism brand for our country. It is popular in both domestic and inbound tourism. To improve the quality of services provided and attract tourists, it is necessary to emphasize distinctive licensing practices, organize continuous education and professional development for staff, develop infrastructure, cooperate with tour operators, and include rural tourism attractions in national tourist routes.

Dr. Ibrahim Muhammad Yabo¹;

Hafiz Ibrahim Yabo²

¹ Department of Educational Management,

Shehu Shagari University of Education, Sokoto, Nigeria,

² Department of Computer Studies, Government Science Secondary School Yabo

**AN ASSESEMENT OF THE EDUCATIONAL PROVISION
FOR THE CHILDREN OF NAMADS IN SOKOTO STATE- NIGERIA
ОЦЕНКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ ДЕТЕЙ КОЧЕВНИКОВ В ШТАТЕ СОКОТО, НИГЕРИЯ**

Abstract. Nomadic pastoralism is a centuries-old livelihood system characterized by the seasonal movement of people and livestock in search of pasture and water. In Sokoto State, Nigeria, nomadic communities often Fulani pastoralist play a central role in rural economies but face disparities in educational access. Traditional formal schooling, defined by static classroom attendance, often fails to accommodate children who migrate with their herds. This peculiar misrepresentation has created a gap in the nomads' children making education inaccessible. This paper examines educational provision for the children of pastoral nomads in Sokoto State, identifying the challenges and inclusion opportunities that shape access, participation, and learning outcomes. The paper recommends context-responsive education policies that will respond positively to the lifestyle of the pastoral nomads in Sokoto State. This includes provision of teacher training in nomadic pedagogy, use of community engagement, and access to improved funding to enhance educational inclusion.

Introduction

Nomadic pastoralism is a centuries-old livelihood system characterized by the seasonal movement of people and livestock in search of pasture and water. In Sokoto State, Nigeria, nomadic communities often Fulani pastoralist play a central role in rural economies but face disparities in educational access. Traditional formal schooling, defined by static classroom attendance, often fails to accommodate children who migrate with their herds. This peculiar misrepresentation has created a gap to the nomads' children making education inaccessible to them, mainly due to their cultural lifestyle and engagement with the animals.

Despite federal and state Governments educational policies intended to promote Universal Basic Education (UBE), enrollment access and completion rates among nomadic children remain low in Sokoto State. This has implications for social inclusion, economic participation, and human development. Nomadic pastoralist communities in Sokoto State remain marginalized in access to formal education due to mobility, poverty, socio-cultural norms, and policy weaknesses. This paper examines educational provision for the children of pastoral nomads in Sokoto State, identifying the challenges and inclusion opportunities that shape access, participation, and learning outcomes. The paper suggests that although mobile schools and boarding facilities have not been

provided by the Sokoto State Government, critical gaps persist in infrastructure, teacher preparedness, curriculum relevance, and policy implementation.

Literature Review

This section reviews existing literature on educational provision for nomadic populations, with specific focus on nomadic pastoralist in Northern Nigeria and Sokoto State respectively. The review examines conceptual clarifications, nomadic education policy frameworks in Nigeria, socio-cultural dynamics affecting school participation, and empirical studies relevant to the study. The purpose is to situate the present research within existing scholarship, identify knowledge gaps, and provide a foundation for analysis which will influence effective decision that will support Sokoto State Government to review current nomadic policies to suit the nomadic pastoral cultural life style by having access to formal education in order to participate in National development.

Nomadic Education in Africa

Nomadic education in Africa, particularly in Nigeria, provides tailored, flexible basic education opportunity to nomadic pastoralist, migrant fisher-folk, and farmers to improve literacy and livelihoods. Programs such as the use of mobile schools, radio, and flexible calendars to accommodate seasonal migration has proven effective although the efforts have been bedeviled with certain challenges such as funding, lack of teachers, and cultural resistance, distance and insecurity in some cases.

Nomadic education in Africa, particularly prominent in Nigeria, Kenya, and Somalia, is a specialized system designed to provide basic education to communities whose livelihoods such as pastoralism, fishing, or seasonal farming require frequent migration. This situation and its attendant cultural practices for the nomads had excluded them from active participation in formal education. It is important to stress that, as of 2026, Nigeria remains a focal point for these efforts, aiming to integrate 50% of nomadic children into formal schools by 2027. National Commission for Nomadic Education in Nigeria (NCNE,2026).

In Kenya, nomad continuous resistance to conventional education, especially for girls mainly due to cultural belief have contributed to their low turnout in formal schooling hence grossly low enrolment. Nguigi (2017) noted that, the nomadic pastoralist community is one such a group that has remained out of school due to its palpetic lifestyle. Generally, formal education is appropriate for people leading a sedentary lifestyle, thereby making nomadic pastoralist community be persistently excluded from accessing formal education. Nevertheless, in efforts to promote access to education among communities that are mainly nomadic pastoralist, the Government of Kenya has established mobile schools in Turkana County.

Nguigi (2017) further stressed that several studies have been conducted on factors contributing to low participation of nomadic pastoralists in education, but very little research has been done on mobile schools. Using mixed methods research design, various County Government documents and official documents found in schools were reviewed to obtain information concerning Mobile

schools in study. His study found out that although mobile schools have promoted access to education among Turkana nomadic pastoralist, their level of participation in education is still significantly low.

Study of Nguidi (2017). established that some of the conditions that enhance participation in education through mobile schools include awareness and sensitization, community involvement and multi grade and multi shift approaches in education provision. Also importantly is adopting a multifaceted approach whereby there is both provision of education, food and security.

In Somalia, although available literature was inaccessible, the situation is similar although the pastoral nomads of Somalia have agreed to contribute 26% of their income to educate the children in formal school.

Nomadic Education in Nigeria

Nomadic education in Nigeria is a specialized, government-run program designed and echoed by the National Commission for Nomadic Education (NCNE) (established 2004) to provide functional, basic literacy to nomadic pastoralist, migrant fisher-folk, and farmers. It utilizes mobile schools, on-site schools, and distance learning programs to accommodate the nomadic lifestyle, aiming for social integration and skill development, but faces challenges like insecurity and funding. The National Commission of Nomadic Education (NCNE) was established via an Act Cap N 20 Laws of the Federation of Nigeria (LFN) of 2004 with the mandate of providing qualitative and functional basic education to the educationally disadvantaged nomadic groups in the Country. The National Policy on Education recognizes the need for special educational provisions for marginalized groups, including nomads. It emphasizes equity, inclusiveness, and curriculum relevance.

The neglect of any segment of the population of a country can be a potential time bomb, especially if that population contributes significantly to the nation's economy just as the nomads' deed (Idris, 2025). He further stress that, education is the birth right of any Nigerian child and this right has been enshrined in the nation's constitution.

Some studies conducted by UNICEF report modest success in areas where:

- Community leaders participate in school management.
- Flexible school hours are adopted.
- Incentive programmes (e.g., feeding schemes) are implemented.

Peculiarity of the Nomads

High Dropout Rate: Many nomadic children drop out of school before proceeding to the junior secondary school level. The few that gained admission continue to disappear from school. This was contained in the report of. (Sokoto state Agency for Nomadic Education, 1999) in Sokoto State in 1998 about 98 pupils gained admission but at the end of first term only about 509% of them were in secondary schools. This shows that only small percentage of the children could probably complete secondary schools.

(i) Socio-Cultural Factors Affecting Education of Nomadic Children

Mobility: Frequent movement disrupts school attendance and continuity of learning. Traditional school calendars rarely align with migration cycles.

Economic Considerations: Children often contribute to livestock management. Parents may perceive formal education as competing with economic responsibilities.

Cultural and Religious Perceptions: Some nomadic families prioritize Islamic education over Western-style formal education. Integration of Qur'anic studies with formal curricula has been proposed as a strategy to enhance acceptance.

Gender Norms: Girls' education faces additional challenges due to cultural expectations and early marriage practices. Research suggests that community sensitization improves female enrollment.

Teacher-Related Challenges

Teacher availability and preparedness significantly influence educational outcomes.

- Teachers are often unwilling to serve in remote areas.
- Limited incentives reduce retention.
- Few teachers are trained specifically in nomadic pedagogy.
- Language differences may affect classroom interaction.

Infrastructure and Funding Constraints

Nomadic schools often operate with:

- Temporary structures
- Limited furniture
- Insufficient textbooks
- Lack of sanitation facilities
- Funding inconsistency

Nomadic Education in Sokoto State

Nomadic pastoralist communities in Sokoto State remain marginalized in access to formal education due to mobility, poverty, socio-cultural norms, and policy weaknesses. This study examines educational provision for the children of nomads in Sokoto State, identifying the challenges and opportunities that shape access, participation, and learning outcomes. The National Policy on Education document spelt out clearly government's commitment to ensure that Education is not only a birthright but must be brought and made accessible within affordable reach to all children, irrespective of their geographical influences like the children of displaced persons.

State-Level Implementation in Sokoto

• Sokoto State Agency for Nomadic Education (SANE): This dedicated body manages approximately 80 nomadic schools in the state, ensuring they adhere to NCNE-approved programmatic approaches.

• Sokoto State Education Strategic Plans: Outlines long-term goals to enhance the participation of pastoral nomads in formal development programs.

• Free Basic Education Policy (2025/2026): Under Governor Ahmad Aliyu Sokoto, the State has Abolished School levies and prioritized the recruitment of qualified teachers to reduce the out-of-school population, which includes nomadic children.

3. Specialized Educational Strategies

- Curriculum Development: The Nomadic Education Centre at Usmanu Danfodiyo University, Sokoto is legally mandated to develop tailored curricula, teacher training programs, and outreach materials to suit and address the peculiarity of the nomadic context, and appeal to their cultural lifestyle.

- Flexible Schooling Models:

- o Mobile Schools: Use of collapsible classrooms and mobile teachers who travel with moving communities were introduced to respond to the needs of the nomadic lifestyle.

- o Distance Learning: Implementation of Interactive Radio Instruction (IRI) to reach out to remote herding areas where nomadic herds could be found.

- o Targeted Interventions: Collaborations with UNICEF and the EU to strengthen Early Child Care and Education (ECCE) focusing on the most vulnerable 25% of out-of-school children identified through state mapping have been quite appealing to the needs of the nomads in Sokoto State.

Key Challenges in Educational Provision for the Nomads in Sokoto State

- Migratory Lifestyle and Isolation: Constant movement in search of pasture and water makes it difficult to maintain consistent attendance in formal schools. Many nomadic communities are in isolated, inaccessible areas.

- Poor Infrastructure and Inadequate Facilities: Many nomadic schools in Sokoto are in dilapidated conditions, lacking proper classrooms and learning materials, which makes them non-conducive to learning.

- Shortage of Qualified Teachers: There is a scarcity of teachers willing to work in remote, underserved nomadic areas.

- Cultural and Economic Factors: Parents often prioritize child labor (cattle rearing) over formal education, viewing schooling as less relevant to their way of life.

- Inadequate Funding: The nomadic education program suffers from insufficient government funding, leading to unpaid staff and lack of school repairs.

- Gender Disparity: Nomadic girls face additional barriers, including cultural norms and, in some cases, early marriage.

- Irrelevant Curriculum: The current curriculum is sometimes viewed as not tailored to the specific needs of nomadic communities.

Proposed Recommendations and Future Directions

- Improved Infrastructure: Upgrading school structures to make them more inviting and functional.

- Incentives for Teachers: Providing better incentives to encourage qualified teachers to work in rural areas.

- Culturally Relevant Curriculum: Developing educational content that blends with the pastoral lifestyle.

- Community Involvement: Engaging nomadic parents in school management to foster ownership.

- Use of Mobile Schools: Implementing flexible, mobile, or distance learning solutions to match the migratory lifestyle. Provision of Education and

Handcraft for classes I -6. This giant stride was followed by a critique workshop held in Sokoto between March 4 -7 1992; this exercise was preceded by primary school curriculum adaptation undertaken by the Sokoto Centre approved by the National Council on Education.

- Mobilization using FRCN Kaduna, in order to provide necessary enlightenment for men and women as well provide basic information on veterinary health services.

References

1. Idris, K.L (2025). Nomadic Education and Its Implication on National Development in Nigeria. Research. May 2025.
2. Journal of Applied Psychology: Selected Readings Volume 5. Number 1. May 2008. Bayero University Kano.
3. Nguigi. M. (2017). Participation of Kenyan Nomadic Pastoralist in Non-Formal Education. European Journal of Education Studies. Vol.3 no 10.ISSN-2501-1111.
4. National Commission for Nomadic Education, (2022) Annual Report Kaduna (NCNE)
5. Sokoto State Agency for Nomadic Education (2026) 'State Progress Report' submitted to the National Commission for Nomadic Education.
6. Suleiman.D. (2015). Developmental Psychology (A Practical Approach). Good Times Publications. Suite 9 Neighborhood Centre. Opposite University of Abuja Continuing Education Centre. Area III Garki, Abuja.
7. UNICEF. (2019). Girls Education Annual Report for Sokoto, Kebbi, Zamfara.
8. University of Sokoto (1989) Nomadic Education in Sokoto State: A proposal report submitted to Sokoto Ministry of Education.
9. Yabo, I.M. & Abubakar, I. (2023). Survey of the Educational Needs for the Children of Fisherman in Riverine Areas of Kebbi State, Nigeria, in African Journal of Humanities & Contemporary Research. Institute of African Studies, University of Ibadan, Nigeria, West Africa. Manuscript Ref. Number: APJ/2023/DEC/AJHCER/0033 PP-282

УДК 629

Ваулин В.И.¹, кандидат педагогических наук, доцент;

Сингеев С.А.¹, кандидат технических наук, доцент;

Филончик Н.И.¹, кандидат педагогических наук;

Ваулин С.В.², заместитель начальника отдела сопровождения
комплексных проектов

¹ Филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,
г. Сызрань, Российская Федерация

² АО «ТЯЖМАШ», г. Сызрань, Российская Федерация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ПРИКЛАДНЫХ НАУК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация: в статье проводится анализ математического аппарата используемого в гидрогазодинамике. Целью исследования является аналитический обзор

элементов математического аппарата изучаемого в ходе дисциплины гидрогазодинамика, необходимого для выполнения расчетов, курсового проектирования и научных исследований. Позволяет использовать потенциал законов гидрогазодинамики в решении практических задач, оптимизировать технические процессы и явлений защиты окружающей среды, позволяют создать новое оборудование для агропромышленного комплекса.

Abstract: the article analyzes the mathematical apparatus used in hydrogas dynamics. The purpose of the study is an analytical review of the elements of the mathematical apparatus studied in the course of the discipline of hydrogasdynamics, necessary for performing calculations, course design and scientific research. It allows us to use the potential of the laws of hydrogas dynamics in solving practical problems, optimize technical processes and environmental protection phenomena, and create new equipment for the agro-industrial complex.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, предприятие, гидрогазодинамика, высшая математика, математический аппарат гидрогазодинамики, машины и аппараты охраны окружающей среды

Keywords: agro-industrial complex, enterprise, hydro-gas dynamics, higher mathematics, mathematical apparatus of hydro-gas dynamics, machines and environmental protection devices

Введение. Агропромышленный комплекс (АПК) – это совокупность отраслей сельскохозяйственной системы, направленных выращивание, переработку сырья сельскохозяйственной продукции и получение широкого спектра товаров для потребителя [1]. Применение законов гидрогазодинамики позволяет осуществлять проектирование процессов, машин и агрегатов, математических выражений позволяют моделировать процессы и явления, машины и механизмы, учесть особенности разрабатываемого изделия, снизить количество независимых параметров [6 С.34-38]. Знание гидрогазодинамики требуется для изучения таких важных дисциплин, как гидроприводы машин, двигатели и базовые машины, водоснабжение, отопление и вентиляция, гидротехника и др.

Математический аппарат (МА), или математическая модель, представляет собой математическое представление реальности, предназначенная для прогнозирования поведения реального объекта в идеализированном формате. Например, модель сплошности среды, позволяет реализовать алгоритм выполнения прикладных научных исследований позволяющих решить проблемы деятельности агропромышленного комплекса в целях повышения эффективности деятельности предприятий [3, 5]. Методом Эйлера, в пространстве изучают характеристики изменений жидкости в точке фиксации при их переходе в другие точки. Переменные Эйлера x , y , z , t , являются функциями скорости и давления. Характерным примером использования теоретических положений является исследование ученых Вдовина Д.С., Сидорова А.А., Васина Р.А. [2] рассмотревших определение моментной характеристики гидромфты в стоповом режиме с помощью численного моделирования и провели сравнение двух методов по-

строения моментной характеристики гидротормоза – аналитическое решение уравнения Эйлера для турбомашин и решение методом конечных объемов в трехмерной постановке с учетом турбулизации потока.

$$\begin{cases} u_x = u_x(x, y, z, t) \\ u_y = u_y(x, y, z, t) \\ u_z = u_z(x, y, z, t) \end{cases} \quad (1) \quad \begin{cases} x = f_1(x_0, y_0, z_0, t) \\ y = f_2(x_0, y_0, z_0, t) \\ z = f_3(x_0, y_0, z_0, t) \end{cases} \quad (2)$$

В ходе исследования ученые показали, что расход, проходящий через гидромфту, оказывает существенное влияние на моментную характеристику, в результате чего сделан вывод о целесообразности применения конечно-объемного расхода для решения данного типа задач, при необходимости учета протекания рабочей жидкости через полость гидротормоза [3]. Расчеты конкретных механизмов и машин строятся на основных уравнениях и законах гидрогазодинамики. Уравнение Бернулли для потока жидкости, дает связь между P , V и пьезометрической высотой в элементарной струйки при установившемся движении жидкости и выражает закон сохранения энергии движущейся жидкости.

$$z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = H = const, \quad (3)$$

Закономерности гидрогазодинамики процессов отстаивания лежат в основе аппаратов очистки сточных вод от различных видов примесей. Песколовки, отстойники, илоуловители, нефтеловушки, смоло-жиромаслоуловители, параметры которых целесообразно рассчитывать. Так основным параметром для расчета отстойника и его элементов служит скорость осаждения различного вида частиц [4]:

1. Расчет скорости осаждения частиц примесей под действием центробежной силы проводится по формуле:

$$w_{ц} = \frac{k^{0,385} \cdot d_{ч}^m \cdot \rho_0^{(m-2)/3} \cdot \Delta \rho^{(m+1)/3} \cdot J^{(m+1)/3}}{\mu_0^{(2m-1)/3}} = 1,6. \quad (4)$$

2. Коэффициенты пропорциональности k и показатель степени m зависящий от гидродинамического режима, в случае ламинарного режима при числе Рейнольдса определяются по формуле:

$$Re = \frac{w_x d_x \rho_0}{\mu_0} = 1,6. \quad (5)$$

$m = 2$; $A = 1,7 - 10^{-4}$; для переходного режима при $Re = 16 \dots 420$; $m = 1,2$; $k = 2,49 \cdot 10^{-3}$; для турбулентного режима $Re > 420$; $m = 5,36$; $k = 0,5$.

Теоретические положения гидрогазодинамики могут быть использованы в расчётах установки аспирации с использованием расчетного метода потерь давления по воздухопроводной длине. Расчетные данные по отдельному участку заносятся в таблицу. Целесообразно начать расчет с

аспирации участка гибкого воздухопровода ряда мест для вытяжки вредных или пыльных мест мукомольной промышленности. Рассматривая пищевое и сельхозпроизводства, следует отметить, что их производство связано с процессами обмена тепла и массы, где вещество при использовании процесса диффузии переходит в другое состояние. В результате процессов абсорбции, сушки, перегонки и ректификации, экстрагирования и кристаллизации появляется продукция. Для учета экологического благополучия в аграрно-промышленном производстве [1], для машинотракторного парка и рыбхоза может быть разработана: система очищения сточных вод в комплексе, в составе корпусов, в которых осуществляется удаление загрязнений твердых примесей (песка, камней и др.) путем оседания, очистка от веществ взвешенных и продуктов нефти, вод хозяйственного назначения [3]. Для этого целесообразно рассчитать: пескоуловитель, маслобензоотделитель, сорбционный фильтр, колодцы различного назначения и др.

Уравнение Бернулли составляет сущность расчета водопроводных систем и действия приборов:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_{1cp}^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_{2cp}^2}{2g} + h_w \quad (6)$$

для определения расхода жидкости и ее скорости создан расходомер Вентури. С ее помощью конструируют устройства измерения напора жидкости, например, трубки Пито.

Практическая значимость математического аппарата гидрогазодинамики заключается также и в расчетах моделирования и проектирования машин и аппаратов, направленных на защиту окружающей среды. Технологическое и техническое преобразование сельхозпроизводства России целесообразно осуществлять используя научно-технические результаты, учитывая энерго- и ресурсосберегающие технологии, эффективность деятельности и т.д. В данных условиях развитие техники для сельхозпроизводства является разработка сельхозмашин, реализующих возможность эффективности производства сельхозхоза, обеспечить экологическую и трудовую безопасность. Моделируя задачу, возможно решить задачи квадратичной интерполяции [2]. Так, сетчатые номограммы можно быть продемонстрированы как плоское сечение поверхностей общего вида, которые определены функциями $F(x,y,z)=0$, а метод Монжа применить для конструирования плоских эквивалентов сложных пространственных номограмм, процесс эмпирической обработки математических данных, как элемент конструирования поверхностей в машинах, оборудовании и др. Исходная зависимость может быть задана в табличном виде. В системе декартовых координат $(0 \text{ и } v)$ трем парам значений переменных $(u_1 v_1)$,

$(u_2v_2), (u_3v_3)$, соответствует интерполяционная кривая $v = au^2 + bu + c$ (15), параметры для которой определяют из системы уравнений:

$$\begin{vmatrix} u_1 & u_1^2 & v_1 & 1 \\ u_2 & u_2^2 & v_2 & 1 \\ u_3 & u_3^2 & v_3 & 1 \\ u & u & v & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (7)$$

Метод графических преобразований, применяемый при конструировании криволинейных поверхностей, позволяет получать плавно скругленные, обтекаемые формы [1]. Например, модель очистки воздуха. Фильтры-поглотители воздуха используются в резервуарных парках питьевой воды для очистки от пыли воздуха, который попадает в один или группу резервуаров при снижении уровня воды в них.

В практике расчета трубопроводов промышленных предприятий, систем полива и др. может быть использована формула Павловского и др.:

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (8)$$

где n - коэффициент шероховатости (табл.);

R - гидравлический радиус, м ($0,1 \text{ м} < R < 3 \text{ м}$);

y - показатель степени $y \approx 1,5\sqrt{n}$ (при $R < 1 \text{ м}$) и $y \approx 1,3\sqrt{n}$ (при $R > 1 \text{ м}$).

Для расчета открытых русел для водополива может быть использована формула *Форгеймера* (для открытых земляных русел)

$$C = \frac{1}{n} R^{0,2} \quad (9)$$

Движение жидкости обусловлена трением (вязкостью), а также изменением конфигурации потока. Поэтому гидравлические сопротивления подразделяются на потери напора на трение по длине потока и потери от местных сопротивлений. При расширении трубы местные потери напора возможно найти по *формуле Борда*

$$h_{\text{расш}} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (10)$$

или по формуле

$$h_{\text{расш}} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g} = \zeta_{\text{вп}} \frac{v_1^2}{2g}. \quad (11)$$

Течение скорости в диффузоре сопровождается ее уменьшением и увеличением давления, а следовательно, преобразованием кинетической энергии жидкости в энергию давления. В диффузоре, так же, как и при внезапном расширении русла. Полную потерю напора в диффузоре рассматривают как сумму двух слагаемых:

$$h_{\text{диф}} = h_{\text{тр}} + h_{\text{расш}} \quad (12)$$

где $h_{\text{тр}}$ и $h_{\text{расш}}$ - потери напора на трение и расширение (вихреобразование).

В выражении (13)

$$h_{\text{тр}} = \frac{\lambda_T}{8 \cdot \sin(\alpha / 2)} \cdot \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \cdot \frac{v_1^2}{2g}, \quad (13)$$

где $n = u_2 / u_1$ – степень расширения диффузора.

Таким образом, рассматривая эффективность деятельности предприятия агропромышленного комплекса как совокупность показателей: экономическая, социальная, технологическая, экологическая, финансовая, институциональная, инновационная, инвестиционная следует использовать потенциал естественных и прикладных наук для инноваций работы предприятий. В рамках науки гидрогазодинамики может быть реализован потенциал совершенствования инженерно-технического обслуживания производства в сельскохозяйственных предприятиях [6]. Например, очистки сточных вод машинотракторного парка предприятия агрокомплекса. Мойка и дезинфекция молочного оборудования, очистки от бактериально-го загрязнения молока [5]. Расчета систем водообеспечения и полива.

Анализ взаимосвязи прикладных наук в решении практических задач позволяет предложить алгоритм использования потенциала наук для повышения эффективности предприятий агропромышленного комплекса: проблема, анализ законов гидрогазодинамики, математическая модель, моделирование решения проблемы, создание машины или оборудования, технологий решающей проблему [6].

Список использованной литературы

1. Ваулин В.И. Реализация законов гидрогазодинамики в машинах и аппаратах защиты окружающей среды//Формирование культуры безопасности жизнедеятельности и здорового образа жизни студенческой молодежи: материалы II Международной научно-практической интернет-конференции, 23–24 марта 2023 г., Минск, Беларусь / БГУ, Фак. социокультурных коммуникаций. – Минск: БГУ, 2023. – С.34-38. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/297928>.
2. Вдовин Д.С., Сидоров А.А., Васин Р.А. Определение моментной характеристики гидромфты в стоповом режиме с помощью численного моделирования. Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2023;(2): 16-28.
3. Добринов А.В. Методологический подход к современному проектированию сельскохозяйственных машин//журнал АгроЭкоИнженерия. 2008. ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. 2008. Вып. 80.С.177-185.
4. The improvement of the technology of winter wheat GRHN production for the purpose of energy saling / G.G. Maslov [et al.] //Biosciences biotechnology research asia. – 2015. – Vol. 12 (3). – pp. 2071-2080.
5. Toomsalu L., Tolmacheva S., Vlasov A., Chernova V. Determinants of innovations in small and medium enterprises: a european and international experience. 46 Terra Economicus. 2019. 17 (2). pp.112–123. DOI 10.23683/2073-6606- 2019-17-2-112-123
6. Шуханов С.Н., Кузьмин А.В., Болоев П.А., Моделирование рабочих процессов машинно-тракторных агрегатов агропромышленного комплекса//журнал Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019.С.74-75.

Summary. The purpose of the study is an analytical review of the elements of the mathematical apparatus studied in the course of the discipline of hydrogasdynamics, necessary for performing calculations, course design and scientific research. Materials and methods. In the course of the research, methods of system analysis, theory and practice, statistics and comparison, structural analysis and data comparison were in demand. Result. The analysis of the hydrogasdynamic apparatus allows it to be used in solving practical problems, optimize technical processes and environmental protection phenomena, and make it possible to comprehensively use the mathematical apparatus in calculating applied research, including the design of environmental protection machines and mechanisms, and equipment for the agroindustrial complex.

УДК 631.158

Мухля О.О., аспирант, эксперт по оборудованию «ПОТОК»
*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ РАЙАГРОСЕРВИСОВ: ОПЫТ ИНТЕГРАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ПОТОК В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС БГАТУ

Аннотация. В статье рассмотрена практика многолетнего партнёрства Белорусского государственного аграрного технического университета (БГАТУ) и компании ПОТОК (официальный представитель www.stream-diesel.by). Показана роль многолетнего стратегического партнерства в подготовке высококвалифицированных инженеров-диагностов для системы райагросервисов в условиях импортозамещения (уход брендов Bosch, Hartridge).

Приведено техническое описание стенда SMART CRI 2F для одновременного тестирования и кодирования двух легковых или одного грузового инжектора Common Rail. Освещены возможности модернизации устаревшего парка оборудования (СДМ, ДД, Motorpal, 12PSB) с использованием компонентов ПОТОК. Отдельно подчеркнута роль лабораторной базы кафедры «Технология и организация технического сервиса» (корпус 2, ауд. 130), где представлена вся линейка оборудования производителя для подготовки высококвалифицированных кадров АПК.

Ключевые слова: БГАТУ, ПОТОК, SMART CRI 2F, райагросервис, импортозамещение, Common Rail, кодирование инжекторов, модернизация стендов.

Abstract. This article examines the long-standing partnership between the Belarusian State Agrarian Technical University (BSATU) and POTOK (official representative www.stream-diesel.by). It demonstrates the role of this long-term strategic partnership in training highly qualified diagnostic engineers for the regional agricultural service system in the context of import substitution (the departure of Bosch and Hartridge brands).

A technical description of the SMART CRI 2F test bench for simultaneously testing and coding two passenger car or one truck Common Rail injector is provided. The pos-

sibilities of upgrading legacy equipment (SDM, DD, Motorpal, 12PSB) using POTOK components are highlighted. The role of the laboratory facilities of the Department of Technology and Organization of Technical Service (Building 2, Room 130) is highlighted, where the manufacturer's entire line of equipment is on display for training highly qualified agricultural technicians.

Keywords: BSATU, POTOK, SMART CRI 2F, district agricultural service, import substitution, Common Rail, injector coding, test bench modernization.

Белорусский государственный аграрный технический университет на протяжении многих лет является кузницей инженерных кадров для агропромышленного комплекса. Однако подготовка конкурентоспособного специалиста сегодня невозможна без прямого контакта с реальным высокотехнологичным оборудованием, которое будет ждать его в райагросервисе или на машинном дворе.

Именно здесь выстроена стратегическая цепочка взаимодействия: «БГАТУ → ПОТОК → Райагросервис».

Университет обеспечивает фундаментальную подготовку, компания ПОТОК (резидент инновационного центра) предоставляет актуальную лабораторную базу и промышленные образцы оборудования. В свою очередь, райагросервисы получают готового специалиста, владеющего конкретным оборудованием (стендами с функцией кодирования), что исключает период «доучивания» на рабочем месте.

Ситуация ухода с рынка мировых гигантов Bosch и Hartridge создала серьёзную угрозу для бесперебойной работы сельхозтехники, оснащённой сложными дизельными топливными системами Common Rail. Оригинальные запчасти стали недоступны, фирменное ПО перестало обновляться.

Однако этот вызов был превращён в возможность. Компания ПОТОК оперативно предложила линейку диагностического оборудования, которая по точности и функционалу не уступает ушедшим аналогам, но при этом:

- локализована - весь цикл производства, сервисной поддержки и обновлений находится в Беларуси;
- экономически выгодна - стоимость по сравнению с ушедшими конкурентами в 2-4 раза ниже импортных предшественников;
- обучение специалистов происходит не только в рамках учебного процесса БГАТУ, но и организованы дополнительные курсы и обучающие семинары на базе университета. Также специалисты БГАТУ проводят выездные семинары и в других учебных заведениях Беларуси.

Центральное место в лаборатории кафедры «Технология и организация технического сервиса» (корпус 2, ауд. 130) занимает стенд «SMART CRI 2F». Данное оборудование предназначено для углублённой диагностики и прецизионного кодирования форсунок Common Rail (рисунок 1).



Рисунок 1 – Стенд «SMART CRI 2F»

Лабораторная база кафедры «Технология и организация технического сервиса» (корпус 2, ауд. 130) служит не только учебной площадкой для подготовки бакалавров и специалистов. Оборудование ПОТОК активно используется аспирантами и магистрантами БГАТУ для проведения научно-исследовательской деятельности.

В частности, на базе лабораторного стенда SMART CRI 2F выполняются экспериментальные исследования:

- Износ прецизионных пар и его влияние на показатели работы дизельной аппаратуры;
- Разработка методик ускоренной диагностики и прогнозирования остаточного ресурса инжекторов.

Наличие реального промышленного оборудования позволяет аспирантам получать достоверные экспериментальные данные непосредственно в лаборатории университета, не выезжая на производственные площадки, что значительно ускоряет выполнение диссертационных исследований по специальностям, связанным с технической эксплуатацией и ремонтом машинно-тракторного парка.

Технические ключевые особенности: тип тестируемых форсунок: электромагнитные и пьезоэлектрические (Bosch, Delphi, Denso, Siemens/Continental); режим работы (ключевой): одновременная проверка и кодирование 2-х легковых инжекторов (рисунок 2) или 1 грузового инжектора; максимальное давление: до 2200 бар (создаётся насосом Bosch CP1H3).

Измерение подачи: безмензурочный блок FM-4 (весовой метод измерения с математическими алгоритмами обработки данных собственного производства); мощность привода: 5.5 кВт (380 В).

Программное обеспечение: DIESEL Studio © – осциллограммы тока, график времени отклика (response time), кастомизация тест-планов.

Стенд позволяет выполнять процедуры кодирования, обязательные при замене форсунки без которых новый инжектор не будет корректно работать с блоком управления двигателя (ECU): IMA (Bosch); QR (Denso); C2I / C3I / C4I (Delphi); IIC (Siemens); F2x (Delphi truck); CRIN 4.2 (Bosch truck).

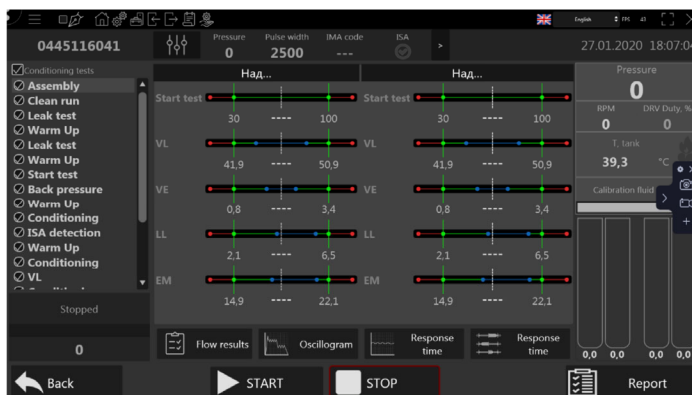


Рисунок 2 – ПО «Diesel studio» меню тестирования 2-х инжекторов Common Rail

Особого внимания в контексте экономии средств райагросервисов заслуживает возможность не только покупки нового, но и глубокой модернизации устаревшего оборудования. На базе БГАТУ совместно с ПОТОК отработаны регламенты модернизации:

1. Стенды СДМ и ДД (советского и российского производства): Замена механической системы измерения на цифровой модуль PF от ПОТОК для полной автоматизации процесса диагностики ТНВД Common Rail с выводом данных на ПК.

2. Стенды Motorpal (Чехия) и 12PSB (Китай): Интеграция современной электронной системы управления приводом и датчиков давления и впрыска топлива. Это позволяет использовать оборудование для тестирования современных насосов и инжекторов Common Rail, что даёт экономию сотен тысяч рублей на утилизации и покупке нового стенда.

Мастерская получает «вторую жизнь» для тяжёлого механического оборудования, сохраняя капитальные вложения, и выходит на современный цифровой уровень диагностики.

Важнейшим подтверждением высокого метрологического уровня оборудования ПОТОК является тот факт, что весь выходной контроль продукции на АЗПИ (Алтайский завод прецизионных изделий, г. Барнаул, Российская Федерация) производится исключительно на стендах собственного производства с использованием Блока управления CR4 и блока измерения FM8 (ПОТОК).

Напомним, что АЗПИ – одно из крупнейших предприятий на постсоветском пространстве по производству прецизионных деталей

топливной аппаратуры (плунжерные пары, распылители, форсунки). Использование оборудования ПОТОК на этапе выходного контроля готовой продукции означает, что оборудования этого производителя обеспечивают точность измерений, признанную на уровне одного из ведущих отраслевых заводов – изготовителей компонентов Common Rail.

Этот факт снимает любые сомнения в объективности диагностики при ремонте: если барнаулский завод доверяет ПОТОК проверку качества собственных деталей перед отправкой потребителю, то и райагросервис может полностью положиться на результаты тестирования, полученные на оборудовании белорусского производителя.

Как неоднократно подчёркивал Президент Республики Беларусь А.Г. Лукашенко, ставка на развитие райагросервисов — это приоритет продовольственной безопасности. Техника не должна простаивать в сезон из-за невозможности отремонтировать сложную техническую топливную систему в том числе. «Агросервисам – быть!».

Наличие в каждом райцентре хотя бы одного специалиста, обученного в БГАТУ на оборудовании ПОТОК SMART CRI 2F, способно закрыть до 80% проблем с диагностикой и ремонтом дизельной аппаратурой импортной и отечественной техники (МТЗ, Гомсельмаш, John Deere, Claas). Более того, возможность кодирования инжекторов (процедура, требующаяся при каждой замене форсунки) избавляет хозяйства от необходимости оплачивать дорогостоящий выездной фирменный сервис.

Партнёрство БГАТУ и ПОТОК создало уникальный прецедент практического взаимодействия образования и реального сектора экономики. Лаборатория в корпусе 2 (ауд. 130) является не просто учебным классом, а действующей технологической площадкой, где студенты осваивают работу на стендах SMART CRI 2F и учатся модернизировать морально устаревшие стенды. Такой подход гарантирует, что кадровый потенциал райагросервисов будет соответствовать вызовам импортозамещения.

Список использованных источников

1. Техническая документация и каталог оборудования. ПОТОК. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stream-diesel.by>. – Дата доступа: 10.05.2026.
2. О развитии системы районных агросервисов в Республике Беларусь : выступление Президента Республики Беларусь А.Г. Лукашенко на совещании по вопросам развития села. – Минск, 2026.
3. Common Rail System for Diesel Engines / R. Bosch GmbH. – Stuttgart : Bosch, 2019. – 156 с.
4. Hartridge CR Diagnostic Equipment: Technical Overview / Hartridge Ltd. – UK, 2020. – 48 с.

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ
И ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА В АПК

Материалы Международной
научно-практической конференции

(Минск, 3–4 июня 2026 года)

Ответственный за выпуск *В. Н. Еднач*
Компьютерная верстка *О. В. Сокол*
Дизайн обложки *Д. О. Михеевой*

Подписано в печать 18.06.2026. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 32,09. Уч.-изд. л. 25,09. Тираж 50 экз. Заказ 303.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.