ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 361.363

ПРОМЫШЛЕННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ В РАМКАХ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА: МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МАШИН В УЧЕБНЫХ ПРОГРАММАХ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ ВУЗОВ

А.Р. Горгодзе[1], руководитель направления внешней кооперации, М.А. Керимов[2], д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Технические системы в агробизнесе»

[1]АО «Петербургский тракторный завод», [2]ФГБУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена разработке методологии экспертно-аналитической оценки интеграции роботизированных систем машин в образовательный процесс агроинженерных вузов в контексте промышленно-образовательной интеграции Союзного государства. Предложенная система критериев направлена на синхронизацию требований реального сектора экономики с содержанием высшего образования и ускорение технологического трансфера в агропромышленный комплекс.

Abstract. The article develops a methodology for assessing the integration of robotic machine systems into the educational process of agroengineering universities within the industrial and educational framework of the Union State. The proposed criteria aim to synchronize economic sector demands with higher education curricula and accelerate technology transfer in the agro-industrial complex.

Ключевые слова: системы машин, экспертно-аналитическая оценка, методология образования, технологический трансфер, агропромышленный комплекс.

Keywords: robotic machine systems, expert and analytical assessment, educational methodology, technology transfer, agro-industrial complex.

Актуальность

Современный агропромышленный комплекс (АПК) находится на этапе четвертой промышленной революции, где ключевым фактором интенсификации производства становится глубокая роботизация и интеллектуализация материально-технической базы. Наш флагманский трактор «Кировец» сегодня – это продукт союзной интеграции: 22,8% его компонентной базы поставляется ведущими предприятиями Республики Беларусь, включая сверхпрочные ши-

ны «Белшина», электронные модули «Измеритель», гидравлические узлы «Салео» и радиаторные группы «Таспо».

Однако стремительный трансфер высоких технологий в реальный сектор экономики обнажил критическую проблему: темпы появления инновационных киберфизических систем на полях существенно опережают скорость адаптации и актуализации образовательных программ высшей аграрной школы. Выпускник агроинженерного вуза, приходя на производство, сталкивается не с изолированными машинами, а со сложными экосистемами машин, управляемыми искусственным интеллектом.

Результаты исследований

В статье представлено фундаментальное научно-методическое обоснование необходимости внедрения в учебные планы аграрных вузов сквозного учебного модуля по экспертно-аналитической оценке систем передовых машин и роботизированных технологий комплексной механизации, а также продемонстрировать математический аппарат и прикладные кейсы, которые должны лечь в основу подготовки инженеров нового поколения.

1. Декомпозиция сквозных технологий комплексной механизации и роботизации в АПК

Современная концепция комплексной механизации и роботизации базируется на переходе от единичного управления машиной к управлению распределенными гетерогенными группами (роботизированными отрядами). Будущий инженер-аналитик должен четко дифференцировать и уметь проводить экспертную оценку ключевых сквозных технологий, формирующих современный цифровой ландшафт АПК:

- Искусственный интеллект и компьютерное зрение (Computer Vision): Системы класса «Кировец-Агропилот» (на базе нейросетевых алгоритмов Cognitive Pilot), осуществляющие детекцию объектов (кромка поля, валок, препятствия, человек) с субсантиметровой точностью в реальном времени при полной потере видимости.
- Телеметрические экосистемы и предиктивная аналитика (Big Data): Платформы типа «Кировец-Коннект» и ОМНИМОДА, аккумулирующие до 150+ параметров работы узлов через CAN-шину с частотой дискретизации до 10 Гц.

- Сетевой протокол ISOBUS (ISO 11783): Стандартизированный интерфейс взаимодействия «трактор-орудие», обеспечивающий динамическое управление рабочими органами широкозахватных машин.
- Технологии VRA (Variable Rate Application): Дифференцированное внесение семян и агрохимикатов на основе карт-заданий, сформированных по индексам вегетации NDVI.
- Проведем многоатрибутный анализ ключевых роботизированных технологий, который должен войти в лекционный курс проектируемой дисциплины:

Наименование технологии и класс систем	Конкретные индустриальные решения / Системы	Ключевые анализируемые параметры эффективности для оценки студентами	Целевые технико-экономические маркеры внедрения
ИИ-пилотирование и техническое зрение	*«Кировец-Агропилот»* (база К-742М)	Погрешность курса δ_{AI} коэффициент снижения утомляемости K_{UT} загрузка рабочего времени.	Снижение перекрытий до < 2 см, рост сменной выработки на 25% за счет круглосуточной работы.
Телеметрия и предиктивный мониторинг	*«Кировец-Коннект»*, удаленный мониторинг дилера *«Автобис»*	Среднее время наработки на отказ *MTBF*, температура трансмиссии, давление в гидросистеме.	Исключение аварийных отказов узлов; экономия на ремонтах КПП до 45000 BYN на единицу.
Цифровой интерфейс взаимодействия	Протокол *ISOBUS* (терминалы *«Измеритель»* – комплексы *«АМКОДОР»*)	Скорость обмена данными (кбит/с), полнота интеграции профилей орудий (*UT, TC-BAS, TC-GEO*).	Бесшовная агрегатируемость разнородных парков машин Союзного государства.
Прецизионное дозирование (VRA)	Системы дифференцированного высева *«Лидагропромаш»*	Точность дозирования (*kg/ha*), время отклика актуаторов гидросистемы (*мс*).	Экономия минеральных удобрений до 15–18%, выравнивание плодородия почвы.

2. Математический аппарат экспертно-аналитического аудита в учебном процессе

Проектируемый учебный модуль должен базироваться на жестких математических моделях. Студент обязан оперировать крите-

риями оптимизации, переводя инженерное решение из плоскости «качественного описания» в плоскость «количественного расчета».

А. Критерий максимизации интегральной эффективности системы машин E_{sys}

Для выбора оптимального состава роботизированного парка в условиях конкретного белорусского хозяйства (например, ОАО «Гастелловское» Минского района) применяется целевая функция многокритериальной оптимизации:

$$E_{sys} = \sum_{i=1}^{m} \omega_i \cdot \frac{K_i}{K_i^{\max}} - \sum_{j=1}^{k} \lambda_j \cdot \frac{C_i}{C_i^{\max}} \longrightarrow \max,$$

где: ω_i – весовой коэффициент технико-технологической значимости *i*-го параметра, $\sum \omega_i = 1$? K_i , $K_i^{\max}$ – текущее и эталонное значение производительности комплекса (га/ч)? λ_j – весовой коэффициент значимости затрат, C_i , $C_i^{\max}$ – текущие и предельно допустимые эксплуатационные затраты (включая ТСО, BYN/га).

Б. Математическая модель оптимизации траектории и минимизации потерь площади (\(\Delta S\))

При оценке роботизированного сева с использованием широкозахватных комплексов «АМКОДОР» и тракторов «Кировец» с ИИ-пилотированием, экономия площади за счет исключения клиньев и перекрытий рассчитывается по детерминированной зависимости:

$$\Delta S = S_{tot} \cdot \left(1 - \frac{B_p - 2\delta_{AI}}{B_p - 2\delta_{man}}\right) \cdot \mathrm{K}_{rel},$$

где: S_{tot} – общая площадь контура поля (га), B_p – конструктивная ширина захвата агрегата (м), δ_{man} – среднеквадратичное отклонение от оси движения при ручном управлении установок механизатора (0,25–0,30 м), δ_{AI} – отклонение ИИ-автопилота с *RTK*-коррекцией (0,02 м) K_{rel} – коэффициент сложности рельефа поля (для холмистых зон Витебской области K_{rel} = 1,12).

В. Геомеханическая модель подпахотного уплотнения (Формула Фрёлиха-Зёне)

Инженер-аналитик обязан оценивать экологические риски роботизации. Распределение вертикальных напряжений σ_z в почвен-

ном профиле при проходе тяжелых энергонасыщенных тракторов весом более 16 тонн рассчитывается как:

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi \cdot z^2} \cdot \cos^{\nu}(\theta) \cdot \mathrm{K}_{tread},$$

где P – вертикальная нагрузка на колесо (кН), z – глубина почвенного горизонта (м), ν – коэффициент концентрации напряжений (для влажных суглинков $\nu = 4 \ldots 5$).

K_{tread} – коэффициент типа движителя (одиночное колесо = 1.0; спаренные шины «Белшина» = 0.54; гусеничный ход = 0.35).

Ниже представлена расчетная гистограмма снижения вертикального давления на почву на критической глубине z = 0,4 м (граница плужной подошвы) при различных конфигурациях ходовой части трактора «Кировец К-742М»:

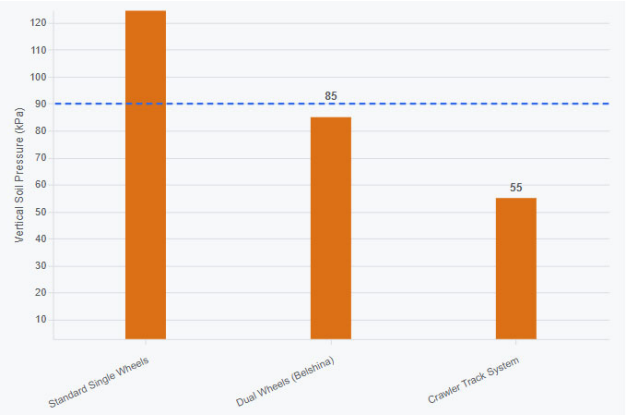


Рисунок 1 – Гистограмма снижения вертикального давления на почву на критической глубине z = 0,4 м (граница плужной подошвы) при различных конфигурациях ходовой части трактора «Кировец К-742М»

Из графика наглядно видно, что применение спаренных шин производства ОАО «Белшина» позволяет снизить давление ниже критического агротехнического порога в 90 кПа, предотвращая деградацию почвенной структуры.

3. Эмпирическая верификация: Результаты подконтрольной эксплуатации в хозяйствах

Чтобы продемонстрировать студентам практическую значимость экспертно-аналитической оценки, в учебный модуль внедряются

данные реальной подконтрольной эксплуатации роботизированных комплексов «Кировец» в передовых хозяйствах за последние сезоны.

График ниже иллюстрирует динамику снижения удельного расхода дизельного топлива на технологических операциях при переходе от традиционной механизации к роботизированным комплексам:



Рисунок 2 – Динамика снижения удельного расхода дизельного топлива на технологических операциях при переходе от традиционной механизации к роботизированным комплексам

Экономический эффект, выраженный в снижении энергоемкости операций, обусловлен ликвидацией непроизводительных гонов и строго оптимальной загрузкой двигателя $ICE_{load} = 82 - 86\%$, контролируемой интеллектуальной трансмиссией.

4. Архитектура сквозного учебного модуля и кластерный контур актуализации

Предлагаемая структура дисциплины «Системный инжиниринг и экспертно-аналитический аудит роботизированных комплексов» разворачивается в рамках сквозного проектирования, где сквозным вектором выступает цифровая модель конкретного хозяйства:

Входной аудит: Электронные карты полей → Математическое моделирование: Расчет траектории движения по алгоритмам →

[ИИ-оптимизация: Синтез парка машин по критерию Esys → Геомеханический контроль: Проектирование ходовых систем → Экономический верификатор: Расчет TCO и ROI в BYN/

Для преодоления проблемы морального устаревания знаний (когда цикл обновления технологий составляет 1,5–2 года, а цикл обновления учебных планов – 4–5 лет) мы предлагаем внедрить динамический трехсторонний контур актуализации знаний:

Промышленный сектор (АО «ПТЗ» совместно с белорусскими компонентными партнерами): Ежесеместровая передача в БГАТУ верифицированных массивов Big Data (объемом до 10 Гб/месяц) – логов телеметрии, карт отказов гидравлических систем, алгоритмических моделей компьютерного зрения.

Академический сектор (БГАТУ): Трансформация полученных промышленных данных в лабораторные кейсы, интеграция математических моделей в курсовое и дипломное проектирование.

Производственный сектор (Дилеры типа ООО «Автобис» и базовые хозяйства Минсельхозпрода): Выступают в роли независимых экспертов, проводящих оценку дипломных проектов студентов на предмет их реализуемости в условиях реального производства.

Выводы

В эпоху роботизации фундаментальность должна сочетаться с высокой адаптивностью. Внедрение материалов по экспертно-аналитической оценке инновационных систем машин в учебный процесс – это не просто изменение учебного плана, а переход к подготовке инженеров-аналитиков, способных проектировать технологический уклад союзного АПК на десятилетия вперед.

Список использованной литературы

1. Серебрякова, Н. Г. Анализ цикла дисциплин «Компьютерные науки» в инженерном образовании / Н. Г. Серебрякова // Вышэйшая школа : навукова-метадычны і публіцыстычны часопіс. – 2020. – № 4(138). – С. 39–43.

2. Попов, А. И. Проектирование системы обучения будущих инженеров сельскохозяйственного производства инновационной деятельности / А. И. Попов, В. М. Синельников, Н. Г. Серебрякова // Исследования и результаты. – 2017. – № 3. – С. 413–420.

3. Серебрякова, Н. Г. Приоритет инфосферы в современном инженерном образовании / Н. Г. Серебрякова // Педагогический журнал. – 2023. – Т. 13, № 11–1. – С. 575–584. – DOI 10.34670/AR.2023.59.14.078.