

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – ВАЖНЕЙШЕЕ УСЛОВИЕ  
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ АПК**

Материалы  
Международной научно-технической конференции,  
посвященной 65-летию агроэнергетического факультета  
и 100-летию И. Ф. Кудрявцева

*(Минск, 21–22 декабря 2022 года)*

Минск  
БГАТУ  
2023

**Энергосбережение** – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посв. 65-летию агроэнергетич. факульт. и 100-летию И. Ф. Кудрявцева (Минск, 21–22 декабря 2022 года) / под ред. И. В. Протосовицкого. – Минск : БГАТУ, 2023. – 344 с. – ISBN 978-985-25-0198-9.

Обобщены материалы конференции, посвященной рассмотрению перспектив и направлений развития энергетики, энергообеспечению, нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии, применению электротехнологии и электрооборудования, автоматизации технологических процессов в АПК и др.

В докладах отражены теоретические и практические достижения ученых Беларуси, России, Польши, КНР, Узбекистана, дается анализ состояния энергетики АПК и представлены перспективы ее развития.

Материалы будут интересны и полезны для научных сотрудников, занимающихся энергетикой АПК, других специалистов, а также студентов.

Под редакцией кандидата технических наук,  
доцента И. В. Протосовицкого

**Редакционная коллегия:**

*Протосовицкий И. В.*, канд. тех. н., доц. (научный редактор);

*Герасимович Л. С.*, акад. НАН Беларуси, д-р тех. н., проф.;

*Прищепов М. А.*, д-р тех. н., доц.;

*Заяц Е. М.*, д-р тех. н., проф.;

*Гируцкий И. И.*, д-р тех. н., проф.

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

## ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

**Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ФАКУЛЬТЕТУ – 65 ЛЕТ**

Агроэнергетический факультет университета обеспечивает подготовку квалифицированных кадров в сфере энергетики АПК. Первый выпуск студентов состоялся в 1959 году, а на сегодняшний день факультетом подготовлено более 20 тысяч инженеров. В состав факультета входят 5 кафедр: автоматизированных систем управления производством; энергетики; электрооборудования сельскохозяйственных предприятий; электроснабжения и электротехники; практической подготовки студентов. Кафедры обеспечивают образовательный процесс по 12 общенаучным и общеобразовательным дисциплинам, 42 специальным дисциплинам.

Агроэнергетический факультет начинался с пятидесяти студентов, принятых на первый курс в 1957 году на специальность «Электрификация сельского хозяйства». Первым его деканом был Борис Дмитриевич Дойников. В 1963 году началась подготовка по специальности – «Автоматизация сельскохозяйственного производства», а в 1970 году – «Электроснабжение сельского хозяйства». На каждую из них приняли по 25 человек. В 1978 году на базе специальности «Автоматизация сельскохозяйственного производства» был создан факультет с одноименным названием. Потом факультет автоматизации был объединен с факультетом электрификации и получил название «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства». 15 июля 1997 года он был переименован в агроэнергетический. В разные годы его возглавляли Иван Федорович Кудрявцев, Борис Васильевич Карасев, Лев Андреевич Калинин, Леонид Степанович Герасимович, Генрих Иосифович Янукович, Виктор Андреевич Коротинский, Олег Борисович Карасев. Особо необходимо отметить, много сил и энергии отдали для успешного функционирования факультета в разные годы деканы Калинин Л.А. и Янукович Г.И.

С первого сентября 1955 года ведет свое летоисчисление кафедра электротехники в числе первых преподавателей были Шуми-

лин Г.Д., Сапун Г.А., Дорошевич Т.М., Чуркин В.А., Деев Б.А., Василькован Г.А.. В разные годы кафедру возглавляли Дорофеев Д.В., Кудрявцев И.Ф., Сапун Г.А., Кочетова Э.Л., Лисовский В.В., Карко В.С., Крутов В.А., Ковалев В.А.. В этом году в результате реформирования структурных подразделений университета кафедру объединили с кафедрой электроснабжения и получила название «Электроснабжения и электротехники» и ее возглавляет Збродыго В.М.. Кафедра внесла большой вклад в развитие влоготметрии, ее сотрудники активно занимались научно-исследовательской работой по этой тематике Бензарь В.К., Дубина В.В., Лисовский В.В., Солопов Г.Г., Ловеров В.Н., Ценципер Б.Л., Дайнеко В.А., Василькован С.Г., Коледа А.А. внедрили в производство свыше 20 различных типов СВЧ влагомеров и индикаторов влажности. На основе работ, выполненных на кафедре, защищены 8 кандидатские диссертации. Нельзя не вспомнить еще раз о ветеранах кафедры, которые создавали базу кафедры, формировали коллектив, благодаря работе и творчеству которых кафедра получила признательность и авторитет это Ярошевич Ю.Н., Сапун Г.А., Кочетова Э.Л., Лисовский В.В., Карко В.В., Крутов А.В. и др. Следует отметить, что лаборантом на кафедре начинал свою работу в вузе и академик НАН Беларуси, доктор технический наук, профессор, заслуженный работник высшего образования, бывший ректор университета Леонид Степанович Герасимович.

В 1957 году была создана кафедра «Производство и распределение электрической энергии в сельском хозяйстве» которую возглавил бывший главный энергетик Минского тракторного завода Дойников Борис Дмитриевич, первыми преподавателями на кафедре были Чуркин В.А., Цыбульский П.П., Деев В.А., Поворотный В.Ф., в последствии она называлась «Электроснабжения». Кафедрой руководили Сердешов А.П., Шевчик Н.Е., Протосовицкий И.В., Янукович Г.И., Збродыго В.М.. 20 лет кафедру возглавлял Сердешов А.П.. При нем была создана научная школа по вопросу повышения качества электроэнергии 9 кандидатов технических наук выходцы из этой школы. На основании научно-исследовательских работ сотрудников кафедры на Минском электротехническом и ряде российских заводов в серийном производстве поставлены трансформатор У/Ун с симметрирующим устройством.



Большую работу по организации материальной базы кафедры и созданию на ней дружного работоспособного коллектива проделали Поворотный В.Ф., Чучман Г.П., Чуркин В.А., Янукович Г.И., Шевчик Н.Е., Усов Г.Г., Кожарнович Г.И., Филипович А.М. и др.

Свою историю кафедра энергетики ведет с 1956 года. Первоначально она называлась «Теплотехники и гидравлики» руководил ею Дмитриевич Александр Демьянович, преподавателями работали Карасев Б.В., Дунский В.Д. Тарасевич Л.И., Варнаков К.М. В последующие годы кафедру возглавляли, Карасев Б.В., Михайлов Л.Д., Цубанов А.Г., Герасимович Л.С., Коротинский В.А., Гаркуша К.Э., Кравцов А.М.

Десять лет ее возглавлял Л.С. Герасимович в это время его научная школа успешно развивалась, в результате чего было защищено 3 докторские диссертации и 12 кандидатских.

Длительно и продуктивно на кафедре в различные годы преподавали, Холодок Л.А., Цубанов А.Г., Костюченко В.Э., Коротинский В.А. и др.

Кафедра «Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий» является наследницей традиций кафедры «Применение электроэнергии в сельском хозяйстве», которая была создана 1958 году под руководством Ивана Федоровича Кудрявцева, заслуженный работник высшей школы Республики Беларусь, доктор технических наук, профессор. Он подготовил 11 кандидатов наук, трое его учеников защитили докторские диссертации. С 1958 по 1991 год он был заведующим кафедрой. 35 лет – членом экспертного совета ВАК при Совете Министров СССР. Он является одним из основоположников Белорусской школы электрификации сельского хозяйства. Кафедру возглавляли, Калинин Л.А., Гурин В.В., Дайнеко В.А., Прищепов М.А. На кафедре работали и вносили значительный вклад в научную и учебно-методическую работу Маныкин А.Н., Шипуль П.Т., Сериков В.К., Карасев О.Б., Шестерень В.Е., Забелло Е.П. и др.

Бурный рост технической и энергетической вооруженности сельскохозяйственного труда, переход на промышленную основу производства животноводческой и полеводческой продукции потребовал подготовки инженеров по автоматизации сельскохозяйственного производства. Так в 1975 году создается кафедра автоматизации сельскохозяйственного производства во главе с Николаем

Ивановичем Боханом. Первыми штатными преподавателями были Матюнина Л.Н., Николаева А.Ф., Дробышев Ю.В., Труханов В.И., Фурсенко С.И., Дайнеко В.А., Бензарь В.К., Синяков А.Л., Минковский В.Д. Большой вклад в развитие лабораторной и методической работу кафедры внес Владимир Владимирович Гурин. Кафедрой в различные годы руководили Фурсенко С.Н, Грабауров В.А., Гурин В.В., Сидоренко Ю.А., Ролич О.Ч., Гируцкий И.И., Сеньков А.Г. в настоящее время Матвейчук Н.М.

Кафедра «Электротехнология сельскохозяйственного производства» была организована в 1978 году, когда была поставлена задача подготовки специалиста, который должен знать тонкости технологии сельскохозяйственного производства. Первым его заведующим стал Владимир Алексеевич Карасенко, он успешно справился с поставленными задачами: была им создана школа по научному направлению, электротехнологические процессы и оборудование в сельскохозяйственно производстве, сформирован штат преподавателей. Следует отметить, что в ней было подготовлено 10 кандидатов наук и двое защитило докторские диссертации. В разные годы кафедру возглавляли Заяц Е.М., Николаенок М.М., Пашинский В.А., Корко В.С., Дубодел И.Б., Степанцов В.П., Кардашов П.В. В этом году в результате реформирования структурных подразделений университета кафедру объединили с кафедрой энергетике и возглавляет ее Кравцов А.М.

Широкое использование электрифицированного технологического оборудования в агропромышленном комплексе в конце 80-х значительно повысило требования к уровню практической подготовки выпускников факультета, поэтому в 1989 году была образована кафедра «Практической подготовки студентов». Первым заведующим кафедры был назначен Нехвядович Геннадий Степанович, имевший большой опыт практической работы в области эксплуатации и монтажа электроустановок. Первоначальными сотрудниками кафедры были, Ворона Г.Ю., Шедько А.М., Макадун В.Н., Довнар И.В. В последующие годы кафедрой руководили Баран А.Н., Русан В.И., Лисовский В.В. В настоящее время кафедру возглавляет Барайшук С.М., который ведет работу по совершенствованию и модернизации учебной и лабораторной базы, разработке новых методических материалов. Под руководством Лисовского В.В. были

реализованы ряд проектов прикладных научных исследований совместно с республиканскими и российскими предприятиями.

Среди выпускников факультета есть руководители крупных предприятий промышленности, энергетики, агрокомплекса республики. Среди них: генеральные директора энергосистемы Мишук Е.С., Кондратьев М.П., Шатерник В.В., Петух А.А., Жук В.С., Остроух Ю.С., Анищик Н.Н. И отрадно, что первый «Заслуженный энергетик Республики Беларусь» наш выпускник Лобан П.П.

**Полещук Л.Л., заместитель директора Департамента  
по энергоэффективности Госстандарта  
«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ» ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
КАК ВЕКТОР СИСТЕМНОЙ ПОЛИТИКИ  
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

В мировой экономике в очередной раз сложилось напряженное финансово-экономическое положение. Оно серьезным образом сказывается и на состоянии экономики Беларуси, прежде всего промышленного, аграрного комплексов с их сильно выраженной экспортной ориентацией (около 80 % продукции реализуется за рубежом). Естественно, что в такой ситуации необходим глубокий анализ и поиск новых ключевых решений, направленных на оперативное упрочение устоев экономики страны.

Так, в целях повышения конкурентоспособности продукции, наряду с обеспечением энергетической безопасности, диверсификацией топливно-энергетического баланса и снижением энергоемкости ВВП, обостряется тема дальнейшего ориентирования энергетики Беларуси на повышение энергоэффективности с акцентом на внедрение IT технологий (как новейшие цифровые технологии), цифровизации, автоматизации и роботизации процессов в различных отраслях экономики, обеспечивая переход традиционных и вновь создаваемых производств в «неиндустриальные», основанные на принципах Индустрия-4.0.

Кроме того, сегодня обсуждается тема дальнейшей энергетической трансформации, создания «умных» энергетических сетей, устойчивой системы обеспечения энергоресурсами, продвижения современных и эффективных решений по интеграции различных

видов энергии в энергосистему страны за счет широкомасштабного распространения современных инновационных технологий, систем и решений в различных секторах экономики.

В новых экономических условиях, энерго- и ресурсосбережение в различных отраслях экономики является значимой задачей. В целях обеспечения надежной работы национальной экономики необходимо продолжить работу, направленную на рациональное использование традиционных энергоресурсов, расширение направлений использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), активнее развивать «умные» сети, на их базе внедрять автоматизацию управления технологическими процессами, а также использовать технологии аккумулирования тепловой и электрической энергии. При этом необходимо соблюдать баланс, с одной стороны – экономической выгоды, с другой – сохранения природной красоты родной Беларуси, ее биологического разнообразия, экологической чистоты.

С каждым годом тема создания «интеллектуальной» системы энергоэффективности в различных отраслях экономики становится все более актуальной.

Уже сегодня мы все становимся строителями новой цифровой реальности, которая является основой всех процессов будущего. В вопросах повышения энергоэффективности страна ориентирована на достижение уровня развитых стран и обеспечение конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках. Беларусь последовательно шаг за шагом приближается к лучшим мировым стандартам по энергоемкости ВВП.

Строятся современные энергоэффективные предприятия. При реконструкции и модернизации применяются наилучшие энергоэффективные технологии. Благодаря государственной поддержке и развитию инвестиционной привлекательности использование ВИЭ в стране к концу 2022 года составит 7,5 процента в валовом потреблении топливно-энергетических ресурсов (свыше 600 МВт электрогенерирующих установок работает в стране с использованием возобновляемой энергии).

В 2021–2025 годах за счет реализации мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности и укрепление энергетической самостоятельности и безопасности государства,

планируется добиться снижения энергоемкости ВВП не менее чем на 7 % и выйти на уровень 330,5 кг. у. т/млн. рублей ВВП.

Следует отметить, что в последнее время рост ВВП страны обеспечивается со значительной экономией топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), в том числе за счет применения «умных» энергоэффективных технологий.

Современная политика энергосбережения Республики Беларусь и в дальнейшем будет строиться на развитии «интеллектуальной» энергоэффективности во всех отраслях экономики.

В настоящее время при строительстве комбинированных котельных на биотопливе и природном газе, возведении крупных систем холодоснабжения (с применением природных хладагентов, таких как  $\text{CO}_2$ , аммиак, газы и др.) применяются современные технологии производства энергии на базе «умных решений», позволяющие значительно повысить энергоэффективность. Внедряемое оборудование (конденсационные котлы и экономайзеры, тепловые насосы) соответствует требованиям энергоэффективности, оснащаются автоматизированной системой регулирования и контроля процессов производства тепловой энергии и холода, в том числе с учетом изменения температуры наружного воздуха. Процессы управления таким оборудованием, где это возможно, осуществляются без присутствия человека.

Наряду со строительством современных котельных проводится оптимизация систем теплоснабжения с модернизацией тепловых сетей, реконструкцией центральных и строительством новых индивидуальных тепловых пунктов, а также внедрением поквартирного регулирования потребления тепловой энергии и эффективного учета.

До конца 2025 года планируется ввести в эксплуатацию 91 теплоисточник, работающий на древесном топливе, суммарной тепловой мощностью 540 МВт, что позволит заместить использование импортируемого природного газа на 145 тыс. т у.т., сократить потребление природного газа на 126 млн. м<sup>3</sup>, выбросы парниковых газов на 232 тыс. тонн  $\text{CO}_2$  ежегодно.

В сфере жилищно-коммунального хозяйства автоматизация и удаленное регулирование процессов теплоснабжения и водоснабжения, контроль основных параметров на входе и выходе давно стали привычными процессами.

В нефтехимическом комплексе дальнейшая цифровизация процессов позволяет увеличить глубину переработки нефти и обеспечить получение новых видов товарной продукции.

Создание качественно новой информационной системы расчетов населения за жилищно-коммунальные и другие услуги, единство, унификация и совместная работа систем и программного обеспечения банков и производителей услуг, хранение банка данных, обслуживание населения на базе единой информационной системы АИС «Расчет-ЖКУ» способствуют повышению качества услуг и уровня бережливого отношения граждан к потребляемым ресурсам.

Электротранспорт и зарядная инфраструктура – один из векторов стратегического развития страны, реализация которого позволит увеличить долю экологически чистого и энергетически эффективного транспорта, способствовать эффективной загрузке БелАЭС.

В Беларуси создана крупнейшая в странах ЕАЭС сеть быстрых зарядных станций для электромобилей (486 станций), обеспечивающая возможность беспрепятственного перемещения электромобилей по всей стране. На основных автомагистралях установлены также быстрозарядные станции, обеспечивающие зарядку аккумуляторной батареи электромобиля на 100 км за 6 минут.

Интеллектуальная энергоэффективность в промышленности позволит обеспечить внедрение в производство современных энергоэффективных электротехнологий и модернизацию действующих производств, а также получить порядка 25 процентов экономии энергоресурсов от общей экономии ТЭР в целом по республике.

В сельскохозяйственном производстве интеллектуальные системы по управлению процессами в животноводстве, такие как цифровая платформа по управлению стадом (ферма-организация-регион), роботизированное доение животных, интеллектуальный контроль физического состояния животных от рождения и др., в растениеводстве – «Точное земледелие» (цифровые технологий сбора, обработки и использования массива данных о состоянии почв, растений и окружающей среды, а также выбор технологий обработки полей), автоматизированный контроль сушки сельскохозяйственных культур по таким параметрам, как температура теплоносителя и зерновой массы с одновременным контролем влажности. Это уже обеспечивает стабильный рост производства

сельскохозяйственной продукции и снизило энергетические затраты в животноводстве и растениеводстве на 70% и 1,8 раза на тонну производимой продукции соответственно.

Уже сегодня в рамках повестки дня обсуждаются такие вопросы как: интеграция установок ВИЭ в энергетическую сеть за счет цифровизации, использование цифровых подстанций и виртуальных хранилищ мощности;

балансирование электроэнергетического рынка и «умной» зарядки электромобилей;

системное интегрированное управление спросом за счет дигитализации (оцифровки);

формирование единого цифрового пространства на базе развитой транспортной инфраструктуры сети передачи данных;

использование технологии «Блокчейн» для торговли электроэнергией в пределах одного дома, района, квартала;

построение «умных» сетей, домов, кварталов в городах, позволяющих использовать рационально не только энергетические ресурсы, но и утилизировать отходы;

использование технологий аккумулирования электрической энергии, позволяющих отделить генерацию от потребления;

использование тепловых насосов в процессах получения тепла и холода требуемых характеристик;

внедрение технологий получения водорода из избыточной электроэнергии и ВИЭ, и обратно, из водорода получение энергии;

переход на электрохимическую и химико-термическую обработку металлов и сплавов;

автоматизация, цифровизация и роботизация технологических процессов.

Проводимая системная политика в сфере энергосбережения, основанная на положениях Директивы Президента Республики Беларусь №3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства», Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь, Программы социально-экономического развития Беларуси на 2021–2025 годы, иных директивных документов, в основу которой положена «интеллектуальная» энергоэффективность, позволит комплексно и успешно решать задачи энергетической независимости и безопасности страны и повышать конкурентоспособность белорусской экономики.

**Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, академик НАНБ  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПОЧЕТНЫЙ ПРОФЕССОР И.Ф. КУДРЯВЦЕВ –  
ОСНОВОПОЛОЖНИК БЕЛОРУССКОЙ ШКОЛЫ  
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Заслуженный работник высшей школы Республики Беларусь, Почетный профессор БГАТУ Иван Федорович Кудрявцев – видный ученый, высококвалифицированный специалист и педагог, 100-тие которого мы отмечаем в этом году, ушедшего 10 лет назад. До конца жизни он был и остается образцом для подражания не одного поколения профессорско-педагогического и студенческого коллектива нашего университета.

Иван Федорович Кудрявцев в возрасте 35 лет начал свою активную научно-педагогическую деятельность в БИМСХ в составе «творческого десанта», прибывшего к нам из Москвы для оказания помощи в становлении факультета трех специалистов – россиян, кандидатов наук по электрификации сельского хозяйства (вместе А.Н. Сердешновым и Э.Л. Кочетовой).

В 1957 году И.Ф. Кудрявцев возглавил специальную кафедру электротехники факультета электрификации сельского хозяйства. Через год он стал заведующим основной профилирующей кафедры «Применение электроэнергии в сельском хозяйстве», а через три года по совместительству – деканом нашего факультета. Поэтому ему пришлось создавать не только новые профилирующие и специальные кафедры, но организовывать учебно-методическую, научно-исследовательскую и воспитательную деятельность на факультете, формируя профессорско-преподавательский коллектив единственного в Республике агроэнергетического факультета. К слову сказать, на сегодня АЭФ существенно расширил свои возможности и достойно встречает свой 65-летний юбилей в составе Белорусского государственного аграрного технического университета (БГАТУ). Все эти годы И.Ф. Кудрявцев принимал активное участие в создании творческих коллективов кафедр и научно-исследовательских лабораторий, организации, личном руководстве и поддержке научных устремлений студенческой творческой моло-



дежи и в создании студенческих научных кружков и УНИЛ. Собственно, в эту пору (с 1965 г.) меня, тогда студента 4-го курса факультета заочного образования, конструктора и инженера-исследователя отдела автоматики в минском СКБ Минавтопрома навсегда свела судьба с Иваном Федоровичем. Под его научной опекой защищены мой диплом, кандидатская, а через десять лет и докторская диссертации. Ему как наставнику я обязан дальнейшей учебно-научно-исследовательской и организационной деятельностью. Тогда я осознал, насколько важно привлекать и готовить студенческую молодежь к активной студенческой исследовательской работе, начиная с 3–4 курса, создавать студенческие творческие коллективы единомышленников, готовить из них будущих ученых-электриков. Это во многом определило мою судьбу: первого выпускника БИМСХ–БГАТУ, удостоенного степени доктора наук и звания профессора, избрания ректором нашего вуза, а позже и академиком НАН Беларуси. Поэтому университет – это моя судьба, любовь и вдохновение.

Однако речь идет не обо мне. Это штрих к портрету Учителя и Наставника, повлиявшего на мою творческую судьбу. Поэтому я бережно храню брашюру к 80-летнему юбилею Ивана Федоровича с его личной дарственной подписью со словами «...учителю и другу». Это дорого стоит. Однако намного дороже стоит творческая судьба самого Ивана Федоровича.

В 1967 году И.Ф. Кудрявцев был первым, кто из преподавателя факультета защитил докторскую диссертацию по теме «Бесконтактные цепи управления в автоматизации электроустановок и процессов», а для меня тогда как конструктора 1-й категории отдела автоматики с 9-летним стажем практической работы стало ясно, что это «первая ласточка» в кардинальном решении проблемы повышения надежности и работоспособности проектов сложных систем автоматизации агропромышленных производственных процессов и установок, и в первую очередь, из-за особенностей поведенческого управления биологическими объектами труда (с.-х. растения и животные) в высоко агрессивной среде производственных зданий и сооружений. Заслуга И.Ф. Кудрявцева как ученого-первооткрывателя состояла в необходимости отказа от релейно-контактных и постепенному переходу к микроэлектронным системам управления в АПК.

Уже в 1969 году И. Ф. Кудрявцеву по совокупности результатов в учебно-научной и методической работе была присуждено ученое звание профессора. Этому предшествовало публикация около 15 научно-методических работ, 17 авторских свидетельств на изобретение, 10 учебников, учебных пособий и монографий. И.Ф. Кудрявцевым подготовлено 11 кандидатов наук. Его учениками защищено 3 докторских диссертации (Л.С. Герасимович, Л.А. Воробьев, Е.П. Забелло). Оказана помощь в подготовке к защите докторских диссертаций преподавателям факультета М.А. Прищепову, П.П. Цыбульскому, Е.М. Зайцу, В.И. Русану.

В 1987 году по инициативе И.Ф. Кудрявцева возглавляемая им кафедра была своевременно преобразована в кафедру «Автоматизированный электропривод» в связи с тем, что к этому времени такие электроустановки занимали около 80 % в балансе электрических нагрузках агропромышленного производства. Характерно, что возглавляемые им профилирующие кафедры по результатам учебной, методической и научно-исследовательской работы всегда занимала призовые позиции институте. Вместе с этим в течение около 10 лет (1978–1988 гг.) И.Ф. Кудрявцев успешно выполнял обязанности декана заочного факультета.

В течение 39 лет он был членом ученого Совета университета и продолжительное время – членом ученых Советов БПИ и ЦНИИМЭСХ. Более 15 лет И.Ф. Кудрявцев состоял членом Экспертного совета ВАК при Совете Министров СССР и членом двух научно-методических секций: электрификации сельского хозяйства и заочного образования Главка МСХ СССР.

За высокие показатели в работе И.Ф. Кудрявцев награжден двумя грамотами Верховного Совета БССР, пятью почетными грамотами МСХП РБ девятью медалям, в том числе и особенно: За победу над Германией в ВОВ, За оборону Москвы в ВОВ, За доблестный труд в ВОВ, Ветеран труда и другими правительственными наградами, в том числе в 1980 его имя занесено в книгу Почета БИМСХ, а в 1987 году ему присвоено почетное звание «Заслуженный работник высшей школы Республики Беларусь».

Следует подчеркнуть, что Иван Федорович как отец уделял большое внимание своей семье и детям. Вместе с супругой Ниной Даниловной они оказывали большое влияние на становление сына и дочери как достойных личностей и ученых.

Сын Владимир Иванович пошел по стопам отца: он выпускник БИМСХ с отличием, доктор технических наук по одинаковой с отцом научной специальности. Мне как куратору его студенческой группы было интересно наблюдать за становлением неординарного креативного мышления и особого характера сына под влиянием отца. Дочь Вероника Ивановна также отлично окончила БУИР, сейчас она доцент БГЭУ, имеет ученую степень кандидата социальных наук. Круг ее также неординарных научных изысканий – эксклюзивные космономические информационные технологии.

Трудолюбие и успешная научно-педагогическая деятельность, объективность педагога и ученого, открытость и дружелюбие - неотъемлемые для Ивана Федоровича черты характера, постоянная готовность оказания помощи коллегам снискали высокий авторитет и глубокое уважение всего коллектива университета на протяжении более чем 65 лет общения с ним.

И.Ф. Кудрявцев заслуженно и по праву является достоянием университета и основоположником Белорусской школы электрификации и автоматизации сельского хозяйства.

**Кудрявцева В.И., к.социол.н., доцент  
УО «Белорусский государственный экономический  
университет» г. Минск, Республика Беларусь  
НЕОРДИНАРНЫЙ УЧЁНЫЙ И ЛЮБИМЫЙ ОТЕЦ**

Заслуженному работнику высшей школы Республики Беларусь, основоположнику белорусской школы электрификации и автоматизации сельского хозяйства, члену экспертного совета и эксперту ВАК при Совете Министров СССР, ветерану Великой Отечественной войны, ветерану труда, доктору технических наук, профессору, любимому отцу Ивану Фёдоровичу Кудрявцеву – 100 лет. Целый век его присутствия в мире и ощущение света, которые подарила мне судьба.

Я его помню в университете, и это был мой первый опыт осознания, что такое уважение к личности, авторитет и достоинство. После этого я не могла получать средние оценки в школе, а потом и в БГУИР, мне нужно было быть на высоте.

Отец приехал в Белоруссию работать в молодом вузе - БИМСХе, когда потребовалось создавать материальную базу учебного процесса и науки, формировать специальности. Для этого нужно было проявить не только профессионализм, но и трудолюбие, и чувство долга, и сильную волю, и выдержанность, и умение отстаивать своё мнение. Он всегда был спокоен, никогда не повышал голос. И очень знал жизнь, как она происходит «на земле».

Его биография впитала в себя отголоски целой советской эпохи и по-человечески, глубоко и по-живому, отразила её значимые события, являясь фактически культурным образцом. А его научное творчество заслужило уважение не только в Беларуси, но и за её пределами.

Мой отец, кроме многочисленных заслуг в университете и известных учеников, более 15 лет являлся членом экспертного совета и экспертом ВАК при Совете Министров СССР, у него были именитые и интересные друзья во всех уголках Советского Союза. Помню, как перед любым большим праздником он целый день, а то и два, посвящал тому, чтобы подписать своим друзьям открытки с поздравлениями и как я доставала из почтового ящика целый ворох ответных открыток, раскладывала их на столе и любовалась картинками. В нашей семье присутствовали друзья, взаимопомощь, интересное общение и отдых.

Отец был членом двух научно-методических секций электрификации сельского хозяйства и заочного образования Главка ВССО МСХ СССР, и при его активном участии разрабатывались учебные планы и программы для сельскохозяйственных вузов по механизации и электрификации сельского хозяйства для всего СССР, а по его учебникам училось не одно поколение студентов.

Я помню, как он скрупулёзно и детально обсуждал с аспирантами содержание их диссертаций, умел объяснить и обосновать, разбудить мысль, открыть новое. Как он преображался в компании друзей и коллег: увлекал рассказом или анекдотом, тонко подмечал ходы беседы, не балагурил, но мог вовремя и к месту сказать именно те слова, которых не хватало. И это было не банально, а как-то неожиданно и в точку. И даже сказки для меня, своей дочери, он придумывал сам, рассказывая их по ночам и веселясь вместе со мной.

Никогда не думала, что в жизни буду заниматься наукой. Но увлеклась совершенно новым направлением, нашла научное объясне-

ние тому, как влияет «планетарная механика» на нашу земную жизнь. И мой отец, твёрдо стоящий ногами на земле и занимающийся сельским хозяйством, смело посмотрел со мной в небо. Он внимательно слушал мои научные идеи, вселяя уверенность, и окзался тем близким по духу человеком, который принял и поддерживал мои дерзновения. И мне пришлось в какой-то мере начать утверждать «новый путь» в науке, защитив диссертацию, как когда-то в молодости мой отец формировал новую специальность.

Наука – это заразительный способ существования, когда в сердце живёт любимый и добрый образ масштабной личности, которой был мой отец. И этот его юбилей – 100 лет неодинокства.

**Прищепов М.А., д.т.н., доцент,  
Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент,  
Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., к.т.н.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ  
В АПК ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАНСФОРМАТОРОВ  
СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СХЕМАМИ СОЕДИНЕНИЯ  
ОБМОТОК**

В системах электроснабжения электрооборудование, аппараты и другие технические средства находятся в общей для них электромагнитной среде. Одновременно с производством, трансформированием и передачей электрической энергии происходит генерирование, распространение и воздействие электромагнитных помех. Все технические средства, находящиеся в общей электромагнитной среде, могут являться источниками электромагнитных помех, и одновременно на них влияют помехи, создаваемые другими источниками. Поэтому возникает задача их электромагнитной совместимости, под которой понимается способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

В электроснабжающих сетях предприятий АПК особое значение имеют кондуктивные помехи, которые обуславливаются искаже-

ниями синусоидальной формы кривых напряжения и тока, провалами напряжения и импульсными напряжениями. Показателями, характеризующими степень электромагнитной совместимости или показателями качества электроэнергии (ПКЭ), называются значения этих электромагнитных помех.

Наиболее сложно технически и дорого экономически поддерживать уровни таких ПКЭ, как несимметрия и несинусоидальность напряжения. Основными источниками ухудшения ПКЭ в части несимметрии и несинусоидальности напряжения являются потребители с электрическими нагрузками, создающими токи высших гармоник и токи обратной и нулевой последовательности, которые, распространяясь по всей электрически связанной сети, ухудшают ПКЭ на вводах других электропотребителей.

Нормализация качества электрической энергии повысит эффективность производства, создаст комфортные условия жизни для населения. При решении задачи обеспечения требуемого уровня качества электроэнергии необходима техническая и экономическая оценка эффективности от применения мероприятий и технических средств для улучшения качества электроэнергии.

Проблеме обеспечения ПКЭ в системах общего электроснабжения посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных ученых.

В сельскохозяйственных электрических сетях для обеспечения симметрии и синусоидальности напряжений рационально использование силовых трехфазных трансформаторов со специально разработанными схемами соединения обмоток, обладающими более высоким уровнем невосприимчивости к искажающим воздействиям со стороны потребителей с несимметричным и несинусоидальным характером нагрузок.

В рамках научной школы, основанной на кафедре электроснабжения БГАТУ Сердешновым А.П. и Януковичем Г.И. [1-2] и получившей развитие в работах Шевчика Н.Е., Счастливого В.П., Протоусовицкого И.В., Збродыги В.М., Зеленкевича А.И. [3-7], разработаны рекомендации о применении силовых трансформаторов, компенсирующих в магнитопроводе магнитные потоки нулевой последовательности и высших гармоник. Для сельских электрических сетей это наиболее целесообразно вследствие малой капиталоемкости и низких текущих издержек на эксплуатацию.

Схема соединения обмоток «звезда-звезда-нуль-разомкнутый треугольник» содержит дополнительные компенсирующие витки, расположенные на всех трех стержнях магнитопровода трансформатора и соединенные в разомкнутый треугольник. Один из свободных концов разомкнутого треугольника подключен к нейтрали обмотки низшего напряжения, другой через фарфоровый ввод, закрепленный на крышке трансформатора, выведен наружу (рисунок 1).

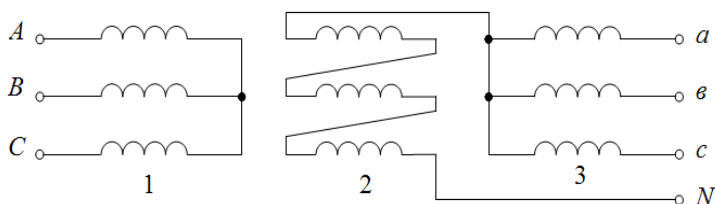


Рисунок 1 – Схема соединения обмоток трансформатора «звезда-звезда-нуль-разомкнутый треугольник»: 1 – обмотка высшего напряжения трансформатора; 2 – компенсирующие витки; 3 – обмотка низшего напряжения трансформатора.

Компенсирующие витки уложены и включены таким образом, чтобы ток нулевого провода, равный утроенной величине тока нулевой последовательности, проходя по виткам, создавал встречные компенсирующие потоки нулевой последовательности в той же магнитной цепи, в которой протекают потоки нулевой последовательности, создаваемые токами рабочих обмоток. При равенстве потоков от компенсирующих витков и рабочих обмоток будет иметь место полная компенсация.

Трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-звезда-нуль с симметрирующим устройством» ( $Y/Y_nCY$ ) содержит обмотки высшего напряжения 1, обмотки низшего напряжения 2 и компенсационную обмотку 3, охватывающую все основные обмотки. Один конец компенсационной обмотки подключен к нейтрали обмоток низшего напряжения, а другой конец выведен наружу (рисунок 2).

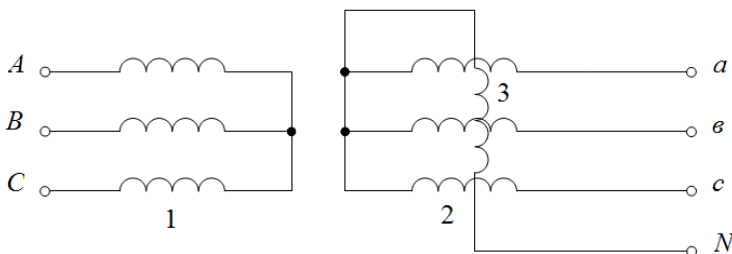


Рисунок 2 – Схема соединения обмоток трансформатора «звезда-звезда-нуль с симметрирующим устройством»: 1 – обмотка высшего напряжения трансформатора; 2 – обмотка низшего напряжения трансформатора; 3 – компенсационная обмотка

Компенсационная обмотка уложена и включена таким образом, чтобы ток нулевого провода, равный утроенной величине тока нулевой последовательности, проходя по виткам, создавал бы встречные компенсирующие потоки нулевой последовательности в той же магнитной цепи, в которой протекают потоки нулевой последовательности, создаваемые токами рабочих обмоток. Полная компенсация потоков выполняется при равенстве ампервитков рабочей обмотки и дополнительных компенсирующих витков.

Сопротивление нулевой последовательности данного трансформатора уменьшается более чем в десять раз, при этом существенно улучшается качество напряжения.

Трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-звезда-нуль с симметрирующим устройством» обладает всеми достоинствами трансформатора со схемой «звезда-звезда-разомкнутый треугольник с нулем». Однако он более удобен при изготовлении. Данный трансформатор улучшает также форму кривой напряжения, так как компенсирует высшие гармонические напряжения кратные трем, имеющие нулевую последовательность.

Способностью улучшать качество напряжения обладает также предложенная и разработанная схема соединения обмоток трансформатора «звезда-треугольник с зигзагом» (рисунок 3).

Первичные фазные обмотки 1 трансформатора соединены в звезду без нулевого провода. Вторичные обмотки состоят из двух одинаковых половин 2 и 3. Причём на каждой из стержней магнитопровода 4 размещены половины вторичных обмоток двух разных фаз. Вторичная обмотка фазы «а» состоит из двух половин  $a_3$  и  $b_2$ ,



Трансформатор с такой схемой компенсирует магнитные потоки нулевой последовательности в стержнях его магнитопровода при несимметричной нагрузке и магнитные потоки высших гармоник при нелинейном характере нагрузки.

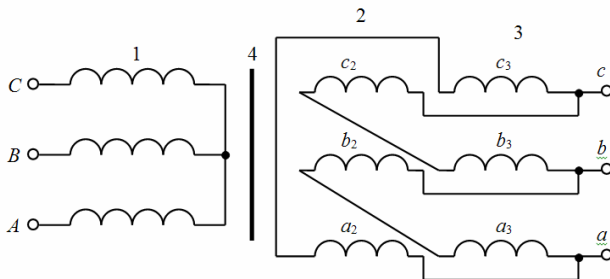


Рисунок 3 – Схема соединения обмоток трехфазного трансформатора «звезда-треугольник с зигзагом»: 1 – первичные фазные обмотки; 2, 3 – половины вторичных обмоток; 4 – магнитопровод

Трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» состоит из магнитной системы, обмоток высшего (ВН) и низшего (НН) напряжения с их изоляцией, бака и armатуры. Обмотки ВН 1, расположены на стержнях трехстержневого магнитопровода 2 и соединены по схеме «звезда» (рисунок 4). Обмотки НН состоящие из трех частей 3, 4 и 5, которые размещены на стержнях разных фаз и соединенных последовательно. При этом одна половина фазной вторичной обмотки 5 располагается на том же стержне трехстержневого магнитопровода трансформатора, что и первичная обмотка этой же фазы, а другая половина, которая состоит из одинаковых частей 3 и 4 – на двух других стержнях трехстержневого магнитопровода. Соотношение числа витков в частях фазных обмоток  $a_1/a_2/a_3$ ,  $b_1/b_2/b_3$ ,  $c_1/c_2/c_3$  будет – 0,5/0,25/0,25. Вторичное напряжение трансформатора будет равно векторной сумме напряжений трех частей вторичной обмотки, которые находятся на разных стержнях магнитопровода трансформатора.

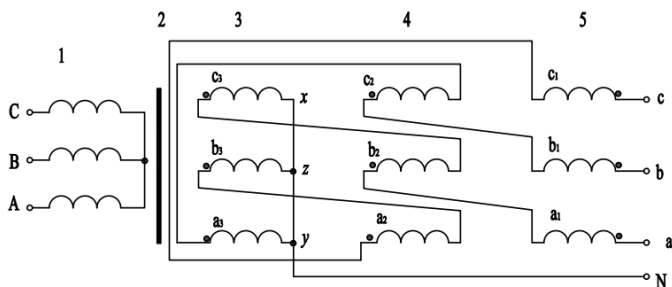


Рисунок 4 – Схема соединения обмоток силового трансформатора «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»: 1 – обмотки высокого напряжения, 2 – трехстержневой магнитопровод, 3, 4 – четверти обмотки низкого напряжения, 5 – половины обмотки низкого напряжения

Данный силовой трансформатор является устойчивым к воздействиям со стороны нагрузки искажающим качество напряжения и способен обеспечить высокий уровень симметрии и синусоидальности напряжения, что обеспечивается эффективной компенсацией магнитных потоков нулевой последовательности и высших гармоник, кратных трем, в магнитоприводе.

Использование разработанного силового трансформатора со схемой соединения «звезда – двойной зигзаг с нулевым проводом» ( $Y/2Z_n$ ) с нулевой группой соединения обмоток, позволяет также параллельную работу с серийно выпускаемыми трансформаторами марок ТМГ и ТМГСУ.

Работа выполнена в соответствии с программой «Повышение эффективности сельского электроснабжения путем улучшения качества и надежности сельских электроустановок» (№ госрегистрации 20220341).

**Выводы.** В распределительных сельских электрических сетях сравнительно низкая плотность электрических нагрузок, большая протяженность и разветвленность ЛЭП 0,4 и 10 кВ. В таких условиях для повышения ПКЭ рационально применение простых и надежных по конструктивному исполнению устройств с невысокой стоимостью, которые не предъявляют высоких требований при текущей эксплуатации. К таким устройствам относится трехфазные трансформаторы со специальными схемами соединения обмоток, особенностью которых является практически полная компенсация магнитных потоков нулевой последовательности и магнитных потоков высших гармоник, кратных трем, в стержнях магнитопривода.

### Список использованных источников

1. Сердешнов, А.П. Нагрузочная способность потребительских трансформаторов при несимметричной нагрузке фаз в сельских электрических сетях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03/ А.П. Сердешнов; ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1969. – 25 с.
2. Янукович, Г.И. Исследование трансформатора со схемой соединения обмоток  $Y/Y$ -разомкнутый треугольник с целью использования его в сельских электрических сетях 380/220 В для повышения качества напряжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ Г.И. Янукович; ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1975. – 20 с.
3. Протосовицкий, И.В. Использование трансформаторов  $Y/Y_n$  с общестержневой симметрирующей обмоткой в сельских электрических сетях: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ И.В. Протосовицкий. – Минск, 1995. – 156 л.
4. Счастный, В.П. Обеспечение качества напряжения в сельскохозяйственных электроустановках с трёхфазными однотактными выпрямителями: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ В.П. Счастный. – Минск, 1987. – 185 л.
5. Шевчик, Н.Е. Повышение качества напряжения в сельских сетях путём использования в них трансформаторов с дополнительными обмотками: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03/ Н.Е. Шевчик; ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1985. – 16 с.
6. Збродыга, В.М. Улучшение показателей несинусоидальности и несимметрии напряжений в электроустановках сельскохозяйственного назначения применением трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ В.М. Збродыга. – Минск, 2010. – 20 с.
7. Зеленькевич, А.И. Снижение несинусоидальности и несимметрии напряжений в сельских электрических сетях применением трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ А.И. Зеленькевич. – Минск, 2022. – 25 с.

**Гируцкий И.И.<sup>1</sup>, д.т.н., доцент, Сеньков А.Г.<sup>2</sup>, к.т.н., доцент,  
Загинайлов В.И.<sup>3</sup>, д.т.н., профессор**

**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь,**

**<sup>2</sup>ГП «Центр радиотехники Национальной академии наук  
Беларуси», Минск, Республика Беларусь,**

**<sup>3</sup>РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева, РФ**

## **ЭТАПЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Разработка и внедрение автоматики в управление производственным оборудованием насчитывает более сотни лет. Регуляторы Ползунова и Уатта появились в 18-м веке в период 1-й промышленной революции и обеспечивали безопасную эксплуатацию паровых машин. Но долгие годы автоматика базировалась на механике, гидро- и пневмоэлементах. Внедрение электрической базы связано с использованием электромеханических реле, затем транзисторов и логических микросхем.

Первый электромеханический компьютер – машина Тьюринга, появилась в начале Второй Мировой войны и сыграла выдающуюся роль в дешифрации немецких военных сообщений. По мнению Норберта Винера, такие машины «должны состоять из электронных ламп, а не из зубчатых передач или электромеханических реле. Это необходимо, чтобы обеспечить достаточно быстрое действие». Кроме того, в них «должна использоваться более экономичная двоичная, а не десятичная система счисления». Машину, полагал Норберт Винер, нужно наделить определенной самостоятельностью для корректировки своих действий и самообучения, она должна стать «думающей» [1-3]. И первая вычислительная машина, на базе электронных ламп, появилась в США в конце 1945 г.

А началом автоматизации технологических процессов с помощью вычислительной техники можно считать появление в 1969 году, по заказу американской фирмы GM, программируемого логического контроллера (ПЛК). Первый ПЛК был разработан на обычных микросхемах транзисторно-транзисторной логики. Но благодаря своей универсальности и возможности изменения алгоритма управления путем перепрограммирования без необходимости перемонтажа стал эффективной альтернативой релейно-контактным схемам. Но только

изобретение в 1971 г. микропроцессора, вследствие, прежде всего, своей низкой стоимости, привело к массовому внедрению компьютерной техники во все области человеческой деятельности, включая автоматизацию технологических процессов и производств [4].

Сельское хозяйство, представляющее собой сложный биотехнический объект управления, предъявляет к системам управления ряд высоких требований, таких как надежность, многофункциональность, возможность построения распределенных систем управления, низкая стоимость и другие, которым и соответствуют микропроцессорные программируемые контроллеры.

Первым массовым внедрением ПЛК в сельское хозяйство Беларуси можно считать разработку автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) кормления свиней [5]. В качестве устройства управления был использован микропроцессорный контроллер КМС-1, производства НПО «Гранат». Несмотря на свои скромные, по современным меркам, свои характеристики, такие как 4 КБ для размещения управляющей технологической программы, по 16 дискретных входов и выходов, ПЛК позволил создать высокоэффективную АСУ ТП, внедренную на ряде свинокомплексов РБ. Было обеспечено распределенное дозирование по групповым кормушкам, осуществлен переход от циклического к точному дозированию и элементы диагностики оборудования, что обеспечило многолетнюю эксплуатацию [6].

А последние поколения АСУ ТП кормления свиней, разработанные на базе компьютеризированных контроллеров и тензочувствительных датчиков, позволили перейти к круглосуточной раздаче кормов, без участия человека, и коренным способом обеспечили снижение металло- и энергоемкости технологического оборудования [7, 8].

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности управления сельскохозяйственным производством является использование оптико-электронных методов бесконтактного мониторинга биотехнических объектов сельскохозяйственного производства. Так использование информационных систем на базе геоинформационных технологий позволяют решать следующие задачи [9, 10]:

- информационная поддержка принятия решений;
- планирование агротехнических операций;
- мониторинг агротехнических операций и состояния посевов;

прогнозирование урожайности культур и оценка потерь;  
планирование, мониторинг и анализ использования техники.

Для обеспечения руководителей комплексом необходимой для принятия управленческих решений информации на платформе ГИС создается база данных, содержащая: цифровую модель местности, на которой осуществляются агротехнические операции; сведения о дистанционном зондировании; информацию о свойствах и характеристиках почв и т.д.

В животноводстве развиваются системы оптической идентификации коров [11]. Перспективным направлением является получение и анализ термографических снимков животных с целью диагностики их состояния [12, 13].

Данная проблема может включать в себя задачи глубокого обучения для объектной и пиксельной сегментации получаемых изображений животных (термографических, цветowych) и выделения на них требуемых областей (англ. ROI – region of interest); задачи классификации образов, например, при выявлении заболевания субклиническим маститом коров по термографическим изображениям вымени; задачи аппроксимации функций при определении степени упитанности и экспресс-оценки массы животных по изображениям; задачи оптимизации при расчете оптимальных по питательности рационов кормления животных. Инструментом численного решения указанных задач могут быть искусственные нейронные сети (ИНС), широко используемые в настоящее время в многих других областях (безопасность, идентификация пользователей, обработка медицинских изображений, выработка различного рода прогнозов и т.д.). Разработка и подготовка к работе искусственной нейронной сети включает в себя следующие шаги: подготовка и разметка исходных изображений, выбор наиболее подходящей архитектуры ИНС, обучение ИНС, использование ИНС. Среди множества доступных программных инструментов реализации данных шагов можно выделить среду Matlab, позволяющую выполнять все указанные действия и имеющую интуитивно понятный интерфейс и подробную справочную документацию. Так, разметка изображений для последующего обучения ИНС может выполняться, в частности, с использованием программного интерфейса Image Labeller среды Matlab (см. рисунок).

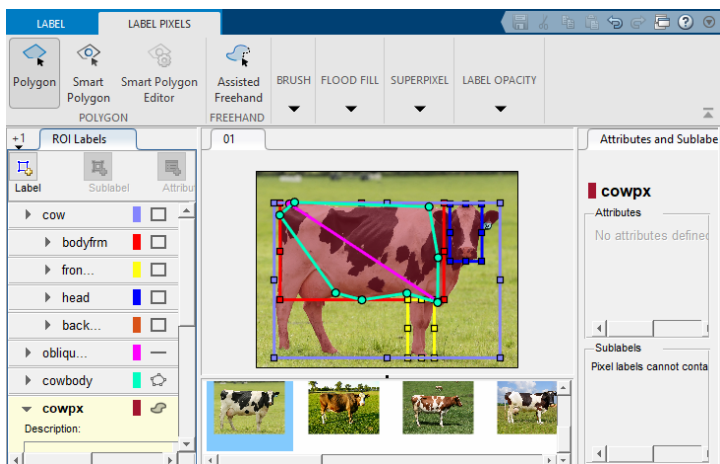


Рисунок – Использование программного модуля Matlab для разметки изображений при обучении искусственной нейронной сети

Для разработки архитектуры (графа слоев) и обучения ИНС предназначен программный интерфейс Matlab Deep Network Designer, позволяющий использовать как готовые, так и оригинальные пользовательские архитектуры ИНС.

Темпы перемен зависят от качества подготовки будущих специалистов. В БГАТУ создана программно-техническая база для инновационной подготовки активных специалистов в области построения современных систем управления производством.

#### Список использованных источников

1. Rosenbluelh A., Wiener N., Bigelow J. Behavior, Purpose and Teleology //Philosophy of Science. Baltimore, 1943, vol. 10, No 1.
2. Wiener N. Cybernetics: Or control and communication in the animal and the machine. Paris: Hermann & Cie & Camb. Mass.: MIT Press. 1948.
3. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М.: Советское радио. 1958.
4. Гируцкий, И.И. Микропроцессорная техника систем автоматизации/ И.И. Гируцкий, А.Г. Сеньков.// Минск, БГАТУ, 2022. – 222 с.
5. Протокол №36-92 государственных приемочных испытаний опытного образца автоматизированной системы управления техно-

логическим процессом кормления свиней// Белорусская государственная сельскохозяйственная машиноиспытательная станция. 1992. – 33 с.

6. Гируцкий И.И. Точное управление откормом свиней, [электр] /И.И. Гируцкий// Труды 6-ой Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления», ИПУ РАН, Москва, 2007. – С. 508–525.

7. Гируцкий, И.И. Энергосберегающий потенциал интеллектуальной раздачи жидких кормов на свиноводческих комплексах /И.И. Гируцкий, А.Г. Сеньков. // Mechanization in agriculture/ Year LX1, ISSN 08`61-9638, issue 10/2015, Bulgaria.-p. 12–14.

8. Автоматизированная система для откорма свиней. /И.И. Гируцкий, А.А. Жур, С.В. Крылов, В.Ф. Марышев // Патент на полезную модель РБ №7909. Заявл. 15.06.2011; опубл. 28.02.2012.

9. <https://integral-russia.ru/2020/07/30/tsifrovaya-platforma-razvitiya-agropromyshlennogo-kompleksa-kontseptsiya-i-osnovnye-tezisy/> Обзор цифровых технологий для агропромышленного комплекса: от ГИС до интернета вещей.

10. Робот над полем. [Текст] / И. Дашковский, И. Шивков // Агротехника и технологии: ООО "Москоутаймс". – 2017. – N 6. – С. 32–35. : цв. ил.

11. Загинайлов, В.И. Электрооптическая система идентификации животных [Текст] / В.И. Загинайлов, Н.А. Федотов, А.В. Рой // Сельский механизатор. – 2007. – № 2. – С. 32–33.

12. Ivan I. Hirutski, Yuri A. Rakevich, Andrey G. Senkov Selection of the information parameter for the thermography method of diagnostics of dairy cows mastitis. //IX INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONGRESS AGRICULTURAL MACHINERY, Year V Volume 1/8, 23.06 – 26.06.2021, VARNA, BULGARIA, pp. 48–53.

13. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Юрочка С.С., Хакимов А.Р. Определение методом инфракрасной термографии заболеваний вымени коров маститом и их влияния на продуктивность // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 4. С. 4–9.



## **СЕКЦИЯ 1 ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АПК**

**Базулина Т.Г.**

### **УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ЗАЩИТА ВНУТРЕННИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ДУГОВЫХ ПРОБОЕВ**

Устройства защиты от дуговых пробоев (УЗДП) – относительно новый тип защитных аппаратов, предназначенный для предотвращения пожара, вызванного дуговым пробоем (искрением) неисправной проводки. Потребность в аппаратах, защищающих от продольных дуговых пробоев, была законодательно закреплена в Европе в 2012 году в стандартах международной электротехнической комиссии IEC62606 и IEC60898-1.

Продольные дуговые пробои могут быть вызваны механическим повреждением изоляции, старением переходных контактов, переломом проводов в результате изгиба, ослаблением контактных соединений, старения изоляции и так далее.

Данный вид повреждений не вызывает срабатывания автоматического выключателя или устройства защитного отключения до тех пор, пока он не перерастет в полноценное короткое замыкание или не появится ток утечки на землю, так как в начальной стадии не происходит резкого роста тока или появления дифференциального тока.

К недостаткам УЗДП можно отнести:

- вероятность ложного срабатывания из-за наличия в защищаемой цепи электроприемников, генерирующих высшие гармонические составляющие тока нагрузки, наложения искажений от нескольких электроприемников друг на друга;
- ограничение длины защищаемой линии из-за затухания высших гармоник тока в длинном кабеле, что приводит к снижению чувствительности защиты;
- запрещается установка УЗДП в сетях электрооборудования противопожарной защиты или иного оборудования, отключение которого может создать угрозу жизни людей;
- производителями различных фирм разработано только однофазное исполнение УЗДП.

▪ УЗДП не является достаточным устройством для защиты электрической цепи от всех видов аварийных режимов (таблица 1), поэтому устанавливается дополнительно к основным аппаратам защиты (автоматическим выключателям и УЗО). Устройство устанавливается на монтажную DIN рейку, последовательность установки показана на рисунке 1.

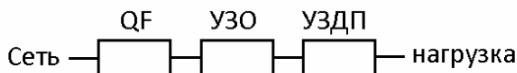


Рисунок 1 – Порядок монтажа УЗДП

Таблица 1 – Виды повреждений защищаемой цепи

| Вид повреждения                                | Автоматический выключатель | УЗО         | УЗДП        |
|------------------------------------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| Замыкание «Фаза-защитный нулевой проводник РЕ» | Защищает                   | Защищает    | Защищает    |
| Замыкание «Фаза-рабочий нулевой проводник N»   | Защищает                   | Не защищает | Защищает    |
| Продольный дуговой пробой (искрение)           | Не защищает                | Не защищает | Защищает    |
| Перегрузка                                     | Защищает                   | Не защищает | Не защищает |

Принцип работы УЗДП основан на постоянном отслеживании и анализе большого количества параметров работы защищаемого участка цепи: тока, напряжения, частоты, наличия высокочастотных помех, других характерных признаков дугового пробоя. Реализовать быструю цифровую обработку большого количества сигналов возможно только с помощью встроенного микроконтроллера, и этим фактом объясняется сравнительно недавнее появление УЗДП на рынке. Каждая фирма производитель имеет свою собственную наработку алгоритмов анализа, закрытую для публикации. Проводится большая работа по совершенствованию методик определения продольных пробоев, в связи с этим приобретает значение версия прошивки микроконтроллера.

Перечень фирм, выпускающих УЗДП, на данный момент достаточно широк: ABB[1], EKF, Schneider Electric, Legrand, российские производители МЕАНДР, Экотех, АО «Электроавтомат» и др. Существуют модели, по функциям совмещенные с автоматическими выключателями, имеющие возможность тестирования (ручного ли-

бо автоматического) – программного либо с использованием специального имитатора искрения.

Основными характеристиками УЗДП являются:

- номинальный ток – максимальный ток при котором УЗДП способно длительно работать, не теряя свою работоспособность. В основном выпускаются в пяти модификациях, в зависимости от номинального тока: 16, 25, 32, 40, 63А;

- номинальное напряжение – напряжение сети, при котором УЗДП способно длительно работать, не теряя свою работоспособность;

- условный ток короткого замыкания – ток, который кратковременно может выдержать УЗДП до момента пока не сработает автоматический выключатель, установленный для защиты цепи от короткого замыкания.

Применение УЗДП позволяет повысить надежность внутренних электрических сетей и предотвратить возникновение пожаров, связанных с искрением.

#### Список использованных источников

1. ABB: Техническое описание устройства защиты от дуговых пробоев. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://library.e.abb.com/public/2daa5c65c44145b3932453f76cd112a4/AFDD%20S-ARC1%20and%20DS-ARC1.pdf>. – Дата доступа: 28.11.2022.

**Барайшук С.М.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., доцент, Павлович И.А.<sup>1</sup>,**

**Муродов М.Х.<sup>2</sup>, к.т.н., доцент**

**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**

**<sup>2</sup>Наманганский инженерно-строительный институт,**

**Наманган, Республика Узбекистан**

### **ПРИМЕНЕНИЕ ГРУНТ-ЗАМЕЩАЮЩЕЙ СМЕСИ ПРИ МОНТАЖЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ В РАЙОНАХ С ВЫСОКИМ УДЕЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ГРУНТА**

При проектировании и монтаже заземляющих устройств в местах с грунтами, обладающими высоким удельным сопротивлением, необходимо применять различные способы снижения сопротивле-

ния в околоэлектродном пространстве заземлителей [1-2]. Для решения данной проблемы разработан ряд технических решений, таких как использование электролитических заземлителей, использование медных электродов заземления, а так же замена части грунта смесью неагрессивной к материалу заземлителя.

Применение электролитических заземлителей позволяет снизить сопротивление ЗУ, однако такой способ крайне агрессивен к металлическим конструкциям самого заземляющего устройства, а так же к рядом расположенным объектам [3]. Кроме того для полноценной работы такого типа заземлителя необходима достаточная влажность грунта, что крайне затруднительно в условиях засушливого климата Республики Узбекистан.

В качестве примера рассмотрим заземление Зафарабадской подстанции 220/110/10 кВ. На рисунке 1 представлена схема расположения заземляющего устройства данной подстанции [4].

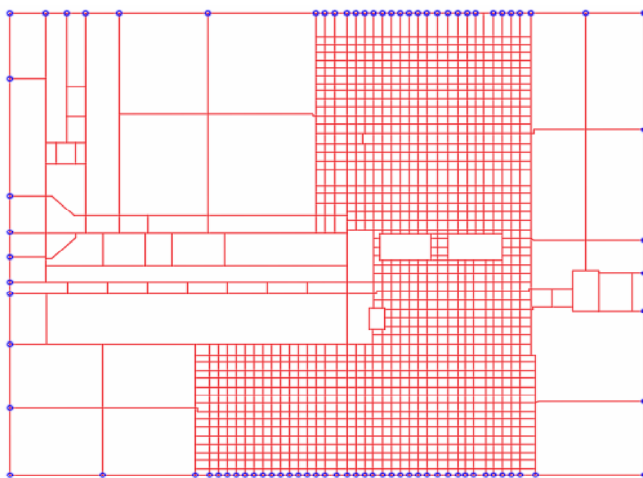


Рисунок 1 – Заземляющая сеть подстанции 220/110/10 кВ Зафарабад

Согласно измерениям удельное сопротивление верхнего слоя грунта в месте строительства данной подстанции составляет 8534,4 Ом·м [4].

Заземляющая сеть подстанции 220/110/10 кВ Зафарабад состоит из 198 заземляющих проводников (медь, отоженная мягкотянущая, 70 мм<sup>2</sup>) общей длиной 15003 м и 84 заземляющих стержня –

электрода (стальные стержни, покрытые медью, 3000 мм, Ø20 мм). Общая длина этих заземляющих стержней составляет 252 м. Красными линиями обозначены проводники, а синими кругами – стержни заземления.

Такая конфигурация заземляющего устройства связана с тем, что бы значение сопротивления заземляющего устройства удовлетворяла требованиям, действующим на территории Республики Узбекистан.

Для снижения удельного сопротивления грунта, а следовательно и снижение затрат на строительство ЗУ, возможно использовать грунт-замещающую смесь.

Входящие в состав гидрогель, графит и бентонитовая глина позволит не только снизить удельное сопротивление грунта, но и стабилизирует электрофизические параметры грунта при сезонных колебаниях, что показано на рисунке 2.

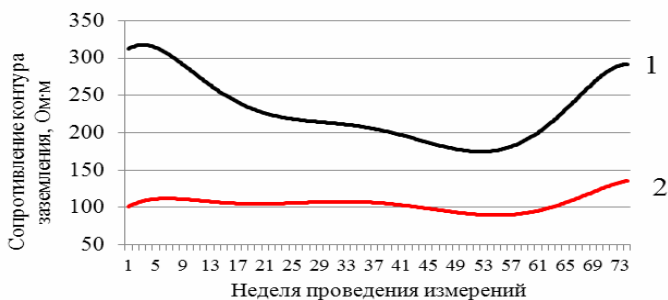


Рисунок 2 – Сопротивление контрольного (линия 1) и экспериментального (линия 2) контура заземления.

Применение данной грунт-замещающей смеси позволяет в несколько раз снизить сопротивление заземляющего устройства, что позволит снизить затраты на возведение новых и реконструкцию действующих объектов энергетики.

#### Список использованных источников

1. Демин В.И., Пашинян Л.А Анализ конструктивных особенностей электролитических заземлителей. Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2015. № 3. С. 44–48.
2. С.М. Барайшук, И.А. Павлович, М.Х. Муродов, Х. Абдулхаев, А.Н. Скрипко Снижение сопротивления заземляющих уст-

роиств применением обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя стабилизирующими влажностью добавками // Агропанорама.– 2021. – №5(147). – С. 28–33.

3. Драко М.А., Барайшук С.М., Павлович И.А. О разработке смеси на основе гидролизованного полиакрилонитрила для уменьшения удельного электрического сопротивления грунта // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ 23 (1), 80–92.

4. Zafarabad 220 kV substation earthing grid calculation report // JV “UZASSYSTEM” LLC Tashkent, Uzbekistan. – 2022. – P. 102.

**Болтянская Н.И., к.т.н., доцент, Кашпор К.А., бакалавр  
Мелитопольский государственный университет,  
Мелитополь, Россия**

**ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗВИТИЕ МИРОВОГО  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЫНКА**

Энергетический кризис может угрожать не только отдельно взятой стране или континенту, но и всему человечеству в целом. Наибольшее беспокойство у мирового сообщества вызывают ограниченные запасы природного газа и нефти, поэтому неэффективное использование топливно-энергетических ресурсов и высокий уровень выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу ставит под опасность будущее всего человечества. Вопросы энергетической безопасности актуальны для всех стран мира независимо от их обеспечения энергетическими ресурсами [1].

При этом обеспечение ресурсами влияет на количество задач для энергетической безопасности и их важность. Современное состояние энергетической безопасности в большинстве стран неудовлетворительное и характеризуется большим количеством угроз как внешних, так и внутренних. Энергетическая политика страны должна быть направлена на предупреждение, уменьшение и ликвидацию этих угроз. В настоящее время одной из важных составляющих национальной безопасности страны является энергетическая безопасность независимо от того, рассматривается ли она в контексте страны-экспортера или импортера энергетических ресурсов [2,3].

Понятие «энергетическая безопасность» не имеет однозначного толкования в научной литературе. Это связано, прежде всего, с тем, что одни страны в мире выступают экспортерами топливно-энергетических ресурсов, а другие импортерами. Для стран экспортеров топливно-энергетических ресурсов основным вопросом является поддержание стабильного спроса на ресурсы потому, что они обеспечивают значительную часть их государственного бюджета, а для стран импортеров первостепенным есть изменение цен на топливно-энергетические ресурсы, влияющее на платежный баланс.

Обобщая разные трактовки ученых относительно понятия «энергетическая безопасность страны», предлагается следующее определение: «Энергетическая безопасность страны – это состояние общественно-экономических формирований страны, при котором обеспечивается оптимальная система поставок топливно-энергетических ресурсов и способность к их эффективному использованию, сочетающая в себе диверсификацию направлений поступления ресурсов, создания их резервов, развития собственного топливно-энергетического комплекса и регулятивного влияния в области ценообразования».

Развитие мирового энергетического рынка и вопросы энергетической безопасности стран мира имеют прямую зависимость от таких факторов (рисунок 1).

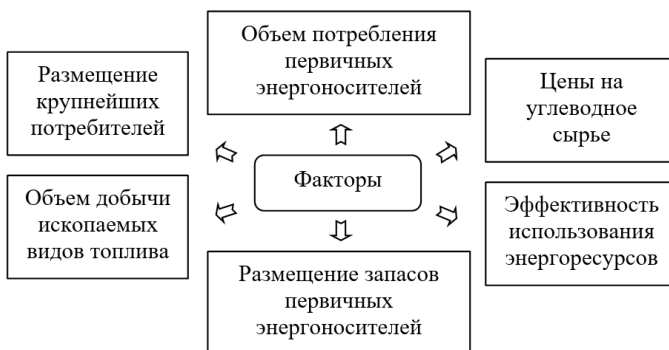


Рисунок 1 – Факторы, влияющие на развитие мирового энергетического рынка и энергетической безопасности страны

Во многих странах мира отсутствуют внутренние запасы ископаемых видов топлива или есть только в незначительном количестве поэтому, они вынуждены импортировать значительные объемы нефти, природного газа и других энергоресурсов.

В мире запасов угля гораздо больше, чем других ископаемых видов топлива (нефти, природного газа, урана). Мировых запасов угля должно хватить на 112 лет (для обеспечения мирового производства), природного газа – 63,6 года, нефти – 54,2 года, урана – 85 лет [2,3].

Факторы, непосредственно влияющие и определяющие уровень потребления топливно-энергетических ресурсов (рисунок 2).



Рисунок 2 – Факторы, влияющие на спрос и предложение топливно-энергетических ресурсов

Следовательно, рост потребления ископаемых видов топлива и их исчерпание вызывает необходимость уделения внимания возможностям использования восстанавливающих источников энергии. Успешная государственная политика в области обеспечения энергетической безопасности зависит от эффективной системы мер противодействия угрозам в сфере энергетики.

#### Список использованных источников

1. Єльцов С.С. Енергетична ефективність сільськогосподарського виробництва / С.С. Єльцов, Н.І. Болтянська // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матер. III Міжн. науково-практичної конференції. – Мелітополь: ТДАТУ, – 2021. – С. 625–627.



2. Boltianskyi O. Solving the problem of air pool pollution in the area of livestock farms. / O. Boltianskyi // Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: Мат. X-ї Міжнародної науково-технічної конференції. – Глеваха-Київ, – 2021. – С. 6–8.

3. Podashevskaya E. Prospective energy-saving technology of concentrated feed production. / E. Podashevskaya // OSHAgro – 2021: Збірник тез I Міжн. наук.-практ. конф. – Київ: НУБіП, – 2021. – С. 95–97.

**Болтянская Н.И., к.т.н., доцент, Кашпор Н.А., бакалавр  
Мелитопольский государственный университет,  
Мелитополь, Россия**

### **ПРЕИМУЩЕСТВА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КЛАСТЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

В современных условиях глобализации и усиления роли международной конкуренции растет зависимость экономического развития стран от возможности ее региональных единиц обеспечивать надлежащий уровень конкурентоспособности как на микро-, мезо-, так и на макроуровне. Одним из значительных толчков к трансформации и выходу на новый уровень экономического и социального роста, обеспечения на мировом рынке конкурентных преимуществ и перспектив для дальнейшего развития есть кластеризация [1].

Опыт зарубежных стран показывает, что кластерные объединения являются одной из наиболее эффективных форм организации энергоэффективных процессов, форм регионального развития, при которой на рынке конкурируют не отдельные предприятия, а целые комплексы, которые уменьшают свои расходы благодаря общей технологической кооперации компаний. В свою очередь, в рамках кластерной структуры решаются задачи увеличения объемов производства, полной загрузки производственных мощностей; выполнения мероприятий по материало- и энергосбережения, снижения потерь ресурсов, повышения энергоэффективности и качества продукции; замены устаревшего оборудования, что в результате является основой

обеспечения надлежащего уровня безопасности участников кластерных образований, в том числе и энергетического [2,3].

Поиск путей, эффективных средств и механизмов повышения конкурентоспособности предприятий в составе региональных кластеров будут способствовать укреплению экономической независимости, созданию условий для устойчивого экономического роста национальной экономики.

Главная идея кластеризации состоит в объединении усилий участников кластерного процесса вокруг общей идеи для получения экономического эффекта, наращивания научно-технического, производственного и экономического потенциала; выпуска конкурентоспособной продукции. Участники кластера получают микроэкономическую конкурентоспособность, обеспечивающую им определенные конкурентные преимущества, возможность увеличивать свой производственный потенциал, разрабатывать и внедрять инновационные идеи, повышать прибыльность их деятельности. Конкурентоспособность кластера как производственной системы существенно увеличивается по сравнению с группой аналогичных предприятий, организаций, институтов, которым не характерны отработанные экономические отношения, технологические и информационно-коммуникационные связи. На сегодня кластер рассматривается как комплекс, сформированный на основе территориальной концентрации предприятий-поставщиков, производителей и потребителей смежных отраслей, отмечаемых эффективным взаимодействием и взаимодополняющими друг друга.

Кластеры могут объединять предприятия и учреждения как отдельных регионов, так и разных стран для повышения эффективности их деятельности, роста производительности труда и качества продукции, стимулирования конкуренции и инноваций, привлечения инвестиций, содействие формированию новых предприятий, учитывая их выгодное географическое положение.

Положительные стороны деятельности кластерного образования, включающего энергоэффективную политику ведения производственной деятельности, доказывают их возможности противостоять угрозам внешней среды (рисунок 1).



Рисунок 1 – Преимущества деятельности кластерного образования

Это объясняется синергетическим эффектом результатов деятельности участников кластера; ростом уровня их конкурентоспособности и здоровой конкурентной борьбы; реализации комплексной политики энергосбережения путем внедрения современных энергоэффективных технологий; возможностями противодействовать теневой экономике; устойчивым сопротивлением возможным рейдерским атакам, а также получением дополнительных условий для инвестиционного и инновационного развития.

Выявлены необходимые предпосылки для формирования эффективно функционирующего кластера, а именно наличие: потенциальных участников кластера, в частности, взаимосвязанных производственных предприятий определенной отрасли; научно-исследовательского учреждения, что будет способствовать разработке новых товаров и услуг; высококвалифицированных кадров и учебных заведений для повышения квалификации; центра кластера, на базе которого могут быть разработаны и реализованы в промышленном масштабе инновационные идеи и проекты; устойчивого спроса на инновационную продукцию кластера; устойчивого развития региона, направленного на реализацию инновационных программ и проектов; региональной стратегии развития, включающей мероприятия по поддержке формирования и функционирования кластеров со стороны местных властей.

#### Список использованных источников

1. Podashevskaya E. Prospective energy-saving technology of concentrated feed production. / E. Podashevskaya // OSHAgro – 2021:

Збірник тез I Міжн. наук.-практ. конф. – Київ: НУБіП, – 2021. – С. 95–97.

2. Болтянський О.В., Визначення напрямів енергозбереження в сільському господарстві. / О.В. Болтянський // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, – 2020. – Вип. 10. – т. 1.

3. Болтянський О.В. Напрями енергоефективного розвитку агропромислового комплексу України. / О.В. Болтянський // Матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конференції «Біоенергетичні системи». – Житомир: ЖНАУ, – 2020. – С. 15–19.

**Дайнеко В.А., к.т.н., доцент, Прищепова Е.М., к.т.н.,  
Базулина Т.Г., Крупеня В.И.**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ВЫБОР И ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО  
ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Выбор преобразователей частоты (ПЧ) определяется характером нагрузки на валу электродвигателя. ПЧ можно разделить на три группы: преобразователи со *скалярным управлением* (регулирование по вольт-частотной характеристике с возможностью подстройки напряжения на низких частотах); *векторные* ПЧ, обеспечивающие поддержание потокосцепления; ПЧ с *прямым управлением моментом и потокосцеплением* асинхронного электродвигателя (АД).

При выборе АД, управляемого от скалярного ПЧ, проверяют пусковой момент и возможность разбега и торможения привода за расчетное время, для чего определяют момент инерции механизма, приведенный к валу АД. Процесс торможения без тормозного резистора (только с помощью инвертора) рассчитывается, исходя из потерь в ЭД и инверторе. При необходимости рассеивания тормозной энергии из-за большого момента инерции подключают внешний тормозной резистор.

Настройка ПЧ под характеристику нагрузочного момента состоит в определении минимальной (базовой) частоты (обычно 50–60 Гц) и максимальной частоты (обычно 50, 60, 120, или 400 Гц) на

выходе. Нагрузочную характеристику с постоянным моментом имеют, например, транспортеры и другие механизмы, у которых момент сопротивления не зависит от скорости; вентиляторы и насосы характеризуются изменяющимся моментом сопротивления (он пропорционален квадрату частоты вращения вала). Характер нагрузки влияет на вольт-частотную характеристику преобразователя (например, для транспортеров она линейная, для вентиляторов и насосов – квадратичная), что необходимо учитывать при наладке частотно-регулируемого электропривода. Для сохранения магнитного потока машин на низких частотах, падение напряжения на активном сопротивлении обмотки статора необходимо компенсировать или увеличением выходного напряжения в диапазоне пониженных скоростей с помощью регулирования без обратной связи, или стабилизацией выходного напряжения по активной составляющей выходного тока преобразователя.

При определении нагрузочных возможностей ПЧ необходимо выполнять требования к параметрам питающей сети и качеству питающего и выходного напряжения. Следует учитывать, что при питании от однофазной сети 230В трехфазное линейное напряжение на выходе ПЧ не превышает 220 В, поэтому обмотки АД должны включаться «треугольником».

Одна из проблем ЧРП – перегрев АД на низкой скорости из-за уменьшения охлаждающей способности самовентилируемых ЭД; для предотвращения их перегрева нужно или снижать загрузку, или применять внешний вентилятор для обдува. В некоторых случаях вентиляторы и погружные насосы могут самораскручиваться в противоположную сторону обратными потоками воздуха или воды (турбинное вращение), поэтому активизируют функцию самосинхронизации ПЧ, или функцию торможения постоянным током перед стартом ЭП. При тяжелом пуске ЭП заполненного материалом шнекового транспортера, кратковременно запускают ПЧ в реверсивном режиме, а после освобождения шнека привод переключают на прямое вращение с плавным пуском.

При параллельном подключении на выход ПЧ нескольких электродвигателей (возможно только при скалярном управлении), мощность преобразователя выбирают с запасом на 10–15 % суммарной мощности всех АД.

При определении допустимой длины моторного кабеля, длины всех участков суммируются, или оптимизируется схема подключения двигателей. При использовании экранированных кабелей, допустимая длина указывается в руководстве по эксплуатации ПЧ. Длина неэкранированного кабеля может быть увеличена на 50 %. В некоторых случаях необходимо включать на выходе ПЧ моторный дроссель, устанавливаемый в непосредственной близости от преобразователя, для компенсации емкостных токов в длинном кабеле. Такой дроссель необходим при длине кабеля 50–200 м; он отфильтровывает импульсные помехи, снижает перенапряжения в изоляции АД. Обеспечение электромагнитной совместимости требует соблюдения правил монтажа шкафа управления, а также правил прокладки силовых и контрольных кабелей. Сетевой дроссель, повышающий коэффициент мощности привода и снижающий влияние высших гармоник, генерируемых инвертором ПЧ, обязательно включается между источником питания и ПЧ, если мощность источника в шесть и более раз превышает мощность ПЧ. Дроссель также необходим, если длина питающего кабеля меньше 10 м. Сетевой дроссель ограничивает скорость нарастания тока в силовых модулях ПЧ и защищает силовые диоды и транзисторы от пробоя при внутренних коротких замыканиях и различного вида перенапряжениях в сети.

Для защиты силовых модулей ПЧ от коротких замыканий и перегрузок по току допустимо применение или специальных быстродействующих плавких предохранителей, или автоматических выключателей с защитной характеристикой типа «В». При подключении нескольких АД разной мощности к одному ПЧ следует обеспечить защиту каждого двигателя индивидуальными электротепловыми реле.

Перед технической эксплуатацией частотно-регулируемого ЭП проверяют исправность аппаратов защиты, состояние электродвигателя, состояние ПЧ и работоспособность системы охлаждения, проверяют сопротивление изоляции между клеммами ПЧ и корпусом. При работе в векторном режиме перед первым пуском должна быть проведена автоматическая настройка параметров АД.

#### Список использованных источников

1. Фираго, Б.И. Векторные системы управления электроприводами: учебное пособие / Б.И. Фираго, Д.С. Васильев. – Минск : Вышэйшая школа, 2016. – 159 с.

2. [www.eaton.com](http://www.eaton.com)

3. Дайнеко В.А. Технология ремонта и обслуживания электрооборудования : учеб./ В.А. Дайнеко. – 3-е изд., испр. и доп. – Минск : РИПО, 2022. – 383 с.

**Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленкевич А.И., к.т.н.,  
Янукович Г.И., к.т.н., профессор  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
СООТНОШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ ТРАНСФОРМАТОРА  
«ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК С ЗИГЗАГОМ»**

Первичная обмотка трансформатора [1, 2] соединена в звезду без нулевого провода, состоящая из двух одинаковых половин вторичная обмотка – в треугольник (рисунок 1).

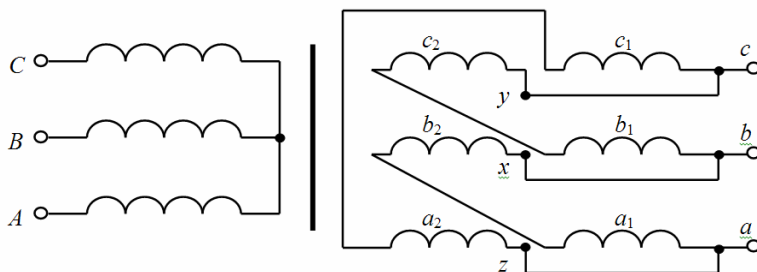


Рисунок 1 – Схема соединения обмоток трехфазного трансформатора «звезда-треугольник с зигзагом»

При работе трансформатора на несимметричную нагрузку фазные напряжения его первичной обмотки могут содержать составляющие прямой, обратной и нулевой последовательностей:

$$\underline{U}_A = \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0}; \underline{U}_B = \underline{U}_{B1} + \underline{U}_{B2} + \underline{U}_{B0}; \underline{U}_C = \underline{U}_{C1} + \underline{U}_{C2} + \underline{U}_{C0}, (1)$$

где  $\underline{U}_{A1}$ ,  $\underline{U}_{B1}$ ,  $\underline{U}_{C1}$ ,  $\underline{U}_{A2}$ ,  $\underline{U}_{B2}$ ,  $\underline{U}_{C2}$ ,  $\underline{U}_{A0}$ ,  $\underline{U}_{B0}$ ,  $\underline{U}_{C0}$  – напряжения, соответственно, прямой, обратной, нулевой последовательности фаз «А», «В», «С» первичной обмотки, В.

В первичной обмотке нет путей для протекания токов нулевой последовательности и они равны нулю:

$$\underline{I}_{A0} = 0; \underline{I}_{B0} = 0; \underline{I}_{C0} = 0. \quad (2)$$

Фазные токи первичной обмотки равны сумме составляющих прямой и обратной последовательности:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{A2}; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{B1} + \underline{I}_{B2}; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{C1} + \underline{I}_{C2}, \quad (3)$$

где  $\underline{I}_{A1}, \underline{I}_{B1}, \underline{I}_{C1}, \underline{I}_{A2}, \underline{I}_{B2}, \underline{I}_{C2}$  – токи, соответственно, прямой и обратной последовательности фаз «А», «В», «С» первичной обмотки, А.

При этом система фазных токов первичной обмотки является уравновешенной, а их сумма равна нулю:

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{B1} + \underline{I}_{B2} + \underline{I}_{C1} + \underline{I}_{C2} = 0. \quad (4)$$

Фазные напряжения вторичной обмотки трансформатора могут содержать составляющие всех последовательностей:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_{a1} + \underline{U}_{a2} + \underline{U}_{a0}; \quad \underline{U}_b = \underline{U}_{b1} + \underline{U}_{b2} + \underline{U}_{b0}; \quad \underline{U}_c = \underline{U}_{c1} + \underline{U}_{c2} + \underline{U}_{c0}, \quad (5)$$

где  $\underline{U}_{a1}, \underline{U}_{b1}, \underline{U}_{c1}; \underline{U}_{a2}, \underline{U}_{b2}, \underline{U}_{c2}; \underline{U}_{a0}, \underline{U}_{b0}, \underline{U}_{c0}$  – напряжения, соответственно, прямой, обратной, нулевой последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, В.

Фазные токи вторичной обмотки также могут содержать составляющие всех последовательностей:

$$\underline{I}_a = \underline{I}_{a1} + \underline{I}_{a2} + \underline{I}_{a0}; \quad \underline{I}_b = \underline{I}_{b1} + \underline{I}_{b2} + \underline{I}_{b0}; \quad \underline{I}_c = \underline{I}_{c1} + \underline{I}_{c2} + \underline{I}_{c0}, \quad (6)$$

где  $\underline{I}_{a1}, \underline{I}_{b1}, \underline{I}_{c1}; \underline{I}_{a2}, \underline{I}_{b2}, \underline{I}_{c2}; \underline{I}_{a0}, \underline{I}_{b0}, \underline{I}_{c0}$  – токи, соответственно, прямой, обратной, нулевой последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, А.

Токи прямой и обратной последовательности протекают по вторичным фазным обмоткам и замыкаются через нагрузку трансформатора. Они уравновешены, а их сумма равна нулю:

$$\underline{I}_{a1} + \underline{I}_{a2} + \underline{I}_{b1} + \underline{I}_{b2} + \underline{I}_{c1} + \underline{I}_{c2} = 0. \quad (7)$$

Составляющие нулевой последовательности могут протекать по вторичной обмотке трансформатора, соединенной в треугольник, не выходя в линии. Они равны и одинаково направлены во всех трех фазах:

$$\underline{I}_{a0} = \underline{I}_{b0} = \underline{I}_{c0}. \quad (8)$$



На основании второго закона Кирхгофа для первичной обмотки фазы «А» справедливо выражение:

$$\underline{U}_A = \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0} = -\underline{E}_{A1} - \underline{E}_{A2} - \underline{E}_{A0} + \underline{I}_{A1} \underline{Z}_{11} + \underline{I}_{A2} \underline{Z}_{12}, \quad (9)$$

где  $\underline{E}_{A1}, \underline{E}_{A2}, \underline{E}_{A0}$  – ЭДС прямой, обратной и нулевой последовательности фазы «А» первичной обмотки, создаваемые основным магнитным потоком, В;

$\underline{Z}_{11}, \underline{Z}_{12}$  – полные сопротивления токам прямой и обратной последовательностей первичных фазных обмоток, Ом.

Для вторичной обмотки фазы «а» справедливо выражение:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_{a1} + \underline{U}_{a2} + \underline{U}_{a0} = \underline{E}_{a1} + \underline{E}_{a2} + \underline{E}_{a0} - \underline{I}_{a1} \underline{Z}_{(2-3)1} - \underline{I}_{a2} \underline{Z}_{(2-3)2} - \underline{I}_{a0} \underline{Z}_{(2-3)0}, \quad (10)$$

где  $\underline{E}_{a1}, \underline{E}_{a2}, \underline{E}_{a0}$  – ЭДС прямой, обратной и нулевой последовательности фазы «а» вторичной обмотки, создаваемые основным магнитным потоком, В;

$\underline{Z}_{(2-3)1}, \underline{Z}_{(2-3)2}, \underline{Z}_{(2-3)0}$  – полные сопротивления токам прямой, обратной и нулевой последовательностей вторичных фазных обмоток, Ом.

$$\underline{Z}_{(2-3)1} = \underline{Z}_{21} + \underline{Z}_{31}; \underline{Z}_{(2-3)2} = \underline{Z}_{22} + \underline{Z}_{32}; \underline{Z}_{(2-3)0} = \underline{Z}_{20} + \underline{Z}_{30}, \quad (11)$$

где  $\underline{Z}_{21}, \underline{Z}_{22}, \underline{Z}_{20}$  – полные сопротивления половин  $a_1, b_1, c_1$  вторичных фазных обмоток соответственно токам прямой, обратной и нулевой последовательности, Ом;

$\underline{Z}_{31}, \underline{Z}_{32}, \underline{Z}_{30}$  – полные сопротивления половин  $a_2, b_2, c_2$  вторичных фазных обмоток соответственно токам прямой, обратной и нулевой последовательности, Ом.

#### Список использованной литературы

1. Патент №2244 Трёхфазный трансформатор. / А.П. Сердешнов, Г.И. Янукович, Е.А. Сердешнов, Д.Г. Янукович; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» – № 950299; заявл. 1995.06. 09; опубл. 30. 09. 1998 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 1998. – №3(18). – С. 216–217.

2. Збродыга, В.М. Улучшение показателей несинусоидальности и несимметрии напряжений в электроустановках сельскохозяйственного назначения применением трансформатора со схемой со-

единения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ В.М. Збродыга. – Минск, 2010. – 20 с.

**Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленкевич А.И., к.т.н.,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
КОМПЕНСАЦИЯ МДС И МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ  
НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ  
В ТРАНСФОРМАТОРЕ «ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК  
С ЗИГЗАГОМ»**

В первичной обмотке трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом» [1-3] нет путей для протекания токов нулевой последовательности и они равны нулю:

$$\underline{I}_{A0} = 0; \underline{I}_{B0} = 0; \underline{I}_{C0} = 0. \quad (1)$$

Создаваемые ими МДС также равны нулю:

$$i_{A0}W_1 = 0; i_{B0}W_1 = 0; i_{C0}W_1 = 0, \quad (2)$$

где  $W_1$  – количество витков в одной фазе первичной обмотки, шт.

По вторичной обмотке трансформатора, соединенной в треугольник, составляющие нулевой последовательности могут протекать внутри треугольника, не выходя в линии. Они равны и одинаково направлены во всех трех фазах:

$$\underline{I}_{a0} = \underline{I}_{b0} = \underline{I}_{c0}. \quad (3)$$

Эти токи создадут равные между собой по величине МДС половин обмоток  $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ :

$$i_{a0} \frac{W_2}{2} = i_{b0} \frac{W_2}{2} = i_{c0} \frac{W_2}{2}, \quad (4)$$

где  $W_2$  – количество витков в одной фазе вторичной обмотки, шт.

С учетом направления намотки и маркировки выводов токи нулевой последовательности обтекают половины фаз вторичных обмоток  $a_1, b_1, c_1$  и  $a_2, b_2, c_2$ , расположенных на каждом из стержней магнитопровода, в противоположных направлениях (рисунок 1).

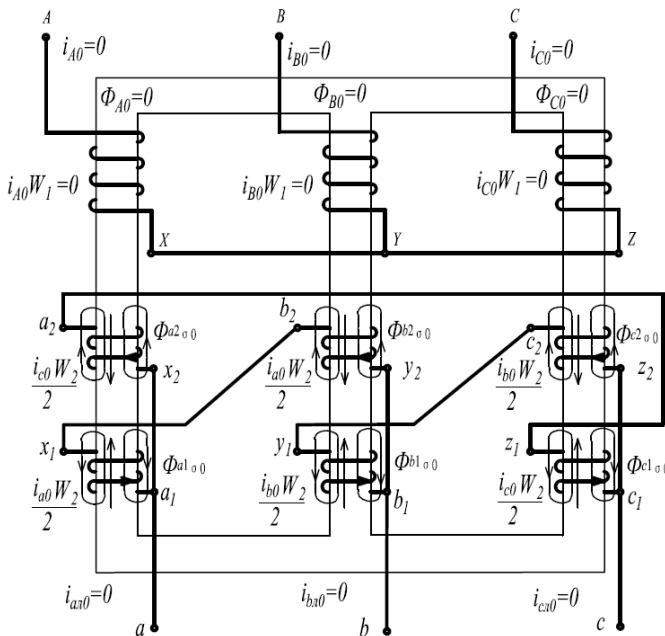


Рисунок 1 – Схема распределения МДС и магнитных потоков нулевой последовательности в трехфазном трансформаторе «звезда-треугольник с зигзагом»

МДС нулевой последовательности в стержнях фаз «А», «В», «С» будут равны:

$$\begin{aligned}
 f_{A0} &= 0 + i_{a0} \frac{W_2}{2} - i_{c0} \frac{W_2}{2} = i_{a0} \frac{W_2}{2} - i_{a0} \frac{W_2}{2} = 0; \\
 f_{B0} &= 0 + i_{b0} \frac{W_2}{2} - i_{a0} \frac{W_2}{2} = i_{a0} \frac{W_2}{2} - i_{a0} \frac{W_2}{2} = 0; \\
 f_{C0} &= 0 + i_{c0} \frac{W_2}{2} - i_{b0} \frac{W_2}{2} = i_{a0} \frac{W_2}{2} - i_{a0} \frac{W_2}{2} = 0.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Происходит компенсация МДС нулевой последовательности, а их магнитные потоки в стержнях магнитопровода будут равны нулю:

$$\begin{aligned}\Phi_{A0} &= \frac{f_{A0}}{R_{A\mu0}} = 0; \\ \Phi_{B0} &= \frac{f_{B0}}{R_{B\mu0}} = 0; \\ \Phi_{C0} &= \frac{f_{C0}}{R_{C\mu0}} = 0,\end{aligned}\tag{6}$$

где  $R_{A\mu0}, R_{B\mu0}, R_{C\mu0}$  – сопротивления магнитных цепей соответствующих фаз потокам нулевой последовательности, Гн<sup>-1</sup>.

Вторичная обмотка самостоятельно уравнивает свои намагничивающие силы нулевой последовательности, устраняя процесс дополнительного подмагничивания ими магнитопровода.

Могут возникать только потоки рассеяния  $\Phi_{a1\sigma0}, \Phi_{a2\sigma0}, \Phi_{a3\sigma0}, \Phi_{b1\sigma0}, \Phi_{b2\sigma0}, \Phi_{b3\sigma0}, \Phi_{c1\sigma0}, \Phi_{c2\sigma0}, \Phi_{c3\sigma0}$  (рисунок 1), которые тем меньше, чем ближе расположены друг к другу части вторичной обмотки.

#### Список использованной литературы

1. Патент №2244 Трёхфазный трансформатор. / А.П. Сердешнов, Г.И. Янукович, Е.А. Сердешнов, Д.Г. Янукович; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» – № 950299; заявл. 1995.06.09; опубл. 30.09.1998 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 1998. – №3(18). – С. 216–217.
2. Збродыга, В.М. Улучшение показателей несинусоидальности и несимметрии напряжений в электроустановках сельскохозяйственного назначения применением трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ В.М. Збродыга. – Минск, 2010. – 20 с.
3. Збродыга, В.М. Особенности преобразования электрической энергии в трансформаторе со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»/ В.М. Збродыга, М.А. Прищепов, А.И. Зеленькевич, Г.И. Янукович// Агропанорама. – 2022. – № 5. – С. 25–33.

**Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленкевич А.И., к.т.н.,  
Янукович Г.И., к.т.н, профессор  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗКИ НА ПЕРВИЧНЫЕ  
И ВТОРИЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА  
«ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК С ЗИГЗАГОМ»**

При несимметричной нагрузке трансформатора «звезда-треугольник с зигзагом» [1-3] происходит компенсация МДС нулевой последовательности, а их магнитные потоки в стержнях магнитопровода равны нулю:

$$\Phi_{A0} = 0; \Phi_{B0} = 0; \Phi_{C0} = 0. \quad (1)$$

ЭДС, создаваемые магнитными потоками нулевой последовательности в обмотках также равны нулю:

$$\begin{aligned} e_{A0} &= -W_1 \frac{d\Phi_{A0}}{dt} = 0; e_{a0} = -W_2 \frac{d\Phi_{A0}}{dt} = 0; \\ e_{B0} &= -W_1 \frac{d\Phi_{B0}}{dt} = 0; e_{b0} = -W_2 \frac{d\Phi_{B0}}{dt} = 0; \\ e_{C0} &= -W_1 \frac{d\Phi_{C0}}{dt} = 0; e_{c0} = -W_2 \frac{d\Phi_{C0}}{dt} = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $W_1$  – количество витков в одной фазе первичной обмотки, шт;

$W_2$  – количество витков в одной фазе вторичной обмотки, шт.

Напряжения нулевой последовательности первичной обмотки будут равны:

$$\underline{U}_{A0} = -\underline{E}_{A0} = 0; \underline{U}_{B0} = -\underline{E}_{B0} = 0; \underline{U}_{C0} = -\underline{E}_{C0} = 0, \quad (3)$$

где  $\underline{E}_{A0}, \underline{E}_{B0}, \underline{E}_{C0}$  – действующие значения ЭДС нулевой последовательности фаз «А», «В», «С» первичной обмотки, В.

Следовательно, трансформатор не будет генерировать напряжения нулевой последовательности в питающую сеть.

Первичные фазные напряжения равны сумме составляющих прямой и обратной последовательности:

$$\begin{aligned} \underline{U}_A &= \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} = -\underline{E}_{A1} - \underline{E}_{A2} + \underline{I}_{A1} \underline{Z}_{11} + \underline{I}_{A2} \underline{Z}_{12}; \\ \underline{U}_B &= \underline{U}_{B1} + \underline{U}_{B2} = -\underline{E}_{B1} - \underline{E}_{B2} + \underline{I}_{B1} \underline{Z}_{11} + \underline{I}_{B2} \underline{Z}_{12}; \\ \underline{U}_C &= \underline{U}_{C1} + \underline{U}_{C2} = -\underline{E}_{C1} - \underline{E}_{C2} + \underline{I}_{C1} \underline{Z}_{11} + \underline{I}_{C2} \underline{Z}_{12}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\underline{E}_{A1}, \underline{E}_{B1}, \underline{E}_{C1}; \underline{E}_{A2}, \underline{E}_{B2}, \underline{E}_{C2}$  – ЭДС прямой и обратной последовательности фаз «А», «В», «С» первичной обмотки, В;

$\underline{Z}_{11}, \underline{Z}_{12}$  – полные сопротивления токам прямой и обратной последовательностей первичных фазных обмоток, Ом;

$\underline{I}_{A1}, \underline{I}_{B1}, \underline{I}_{C1}; \underline{I}_{A2}, \underline{I}_{B2}, \underline{I}_{C2}$  – токи и обратной прямой последовательности фаз «А», «В», «С» первичной обмотки, А.

Напряжения нулевой последовательности вторичной обмотки будут вызваны только падениями напряжений от соответствующих токов на сопротивлениях фаз:

$$\begin{aligned}\underline{U}_{a0} &= 0 - \underline{I}_{a0} \underline{Z}_{(2-3)0} = -\underline{I}_{a0} \underline{Z}_{(2-3)0}; \\ \underline{U}_{b0} &= 0 - \underline{I}_{b0} \underline{Z}_{(2-3)0} = -\underline{I}_{b0} \underline{Z}_{(2-3)0}; \\ \underline{U}_{c0} &= 0 - \underline{I}_{c0} \underline{Z}_{(2-3)0} = -\underline{I}_{c0} \underline{Z}_{(2-3)0},\end{aligned}\tag{5}$$

где  $\underline{I}_{a0}, \underline{I}_{b0}, \underline{I}_{c0}$  – токи нулевой последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, А;

$\underline{Z}_{(2-3)0}$  – полные сопротивления токам нулевой последовательностей вторичных фазных обмоток, Ом.

Вторичные фазные напряжения будут равны:

$$\begin{aligned}\underline{U}_a &= \underline{U}_{a1} + \underline{U}_{a2} + \underline{U}_{a0} = \underline{E}_{a1} + \underline{E}_{a2} - \underline{I}_{a1} \underline{Z}_{(2-3)1} - \underline{I}_{a2} \underline{Z}_{(2-3)2} - \underline{I}_{a0} \underline{Z}_{(2-3)0}; \\ \underline{U}_b &= \underline{U}_{b1} + \underline{U}_{b2} + \underline{U}_{b0} = \underline{E}_{b1} + \underline{E}_{b2} - \underline{I}_{b1} \underline{Z}_{(2-3)1} - \underline{I}_{b2} \underline{Z}_{(2-3)2} - \underline{I}_{b0} \underline{Z}_{(2-3)0}; \\ \underline{U}_c &= \underline{U}_{c1} + \underline{U}_{c2} + \underline{U}_{c0} = \underline{E}_{c1} + \underline{E}_{c2} - \underline{I}_{c1} \underline{Z}_{(2-3)1} - \underline{I}_{c2} \underline{Z}_{(2-3)2} - \underline{I}_{c0} \underline{Z}_{(2-3)0},\end{aligned}\tag{6}$$

где  $\underline{U}_{a1}, \underline{U}_{b1}, \underline{U}_{c1}$  – напряжения прямой последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, В;

$\underline{U}_{a2}, \underline{U}_{b2}, \underline{U}_{c2}$  – напряжения обратной последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, В;

$\underline{E}_{a1}, \underline{E}_{b1}, \underline{E}_{c1}$  – ЭДС прямой последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, В;

$\underline{E}_{a2}, \underline{E}_{b2}, \underline{E}_{c2}$  – ЭДС обратной последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, В;

$\underline{I}_{a1}, \underline{I}_{b1}, \underline{I}_{c1}$  – токи прямой последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, А;

$\underline{I}_{a2}, \underline{I}_{b2}, \underline{I}_{c2}$  – токи обратной последовательности фаз «a», «b», «c» вторичной обмотки, А;

$\underline{I}_{a0}, \underline{I}_{b0}, \underline{I}_{c0}$  – токи нулевой последовательности фаз «a», «b», «c» вторичной обмотки, А;

$\underline{Z}_{(2-3)1}, \underline{Z}_{(2-3)2}$  – полные сопротивления токам прямой и обратной последовательностей вторичных фазных обмоток, Ом.

Несимметрия напряжений трансформатора обусловлена, главным образом, составляющими прямой и обратной последовательности, которые трансформируются с первичной на вторичную сторону и наоборот, а также падениями напряжений от токов прямой и обратной последовательности на сопротивлениях обмоток, которые незначительны.

Снижение несимметрии напряжений происходит вследствие компенсации составляющих нулевой последовательности, а их остаточные значения обусловлены падениями напряжений от токов нулевой последовательности на сопротивлениях фаз вторичной обмотки.

#### Список использованной литературы

1. Патент №2244 Трёхфазный трансформатор. / А.П. Сердешнов, Г.И. Янукович, Е.А. Сердешнов, Д.Г. Янукович; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» – № 950299; заявл. 1995.06. 09; опубл. 30. 09. 1998 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 1998. – №3(18). – С. 216–217.

2. Збродыга, В.М. Улучшение показателей несинусоидальности и несимметрии напряжений в электроустановках сельскохозяйственного назначения применением трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ В.М. Збродыга. – Минск, 2010. – 20 с.

3. Збродыга, В.М. Особенности преобразования электрической энергии в трансформаторе со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»/ В.М. Збродыга, М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, Г.И. Янукович// Агропанорама. – 2022. – № 5. – С. 25–33.

**Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленкевич А.И., к.т.н.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА**  
**«ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК С ЗИГЗАГОМ» ДЛЯ ТОКОВ**  
**ПРЯМОЙ, ОБРАТНОЙ И НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ**

Если первичные обмотки и половины вторичных обмоток, размещенные на одном стержне, трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом» рассматривать как обмотки трехобмоточного трансформатора, то основании выражений [1,2] получим его схемы замещения для токов прямой, обратной и нулевой последовательности. На рисунках 1-3 представлены схемы замещения для обмоток, расположенных на стержне магнитопровода фазы «А». Стрелками показаны положительные направления напряжений, токов и ЭДС.

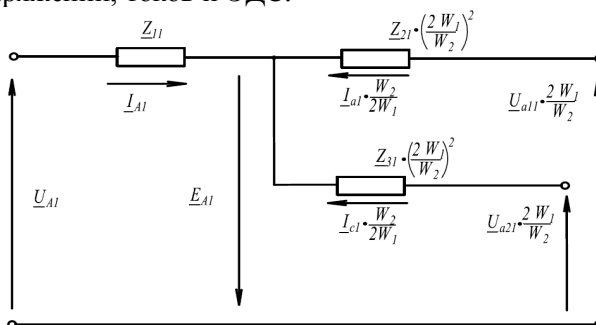


Рисунок 1 – Схема замещения трансформатора для токов прямой последовательности

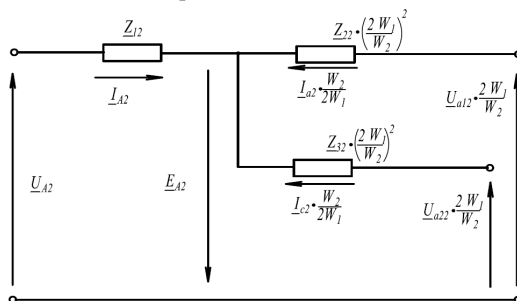


Рисунок 2 – Схема замещения трансформатора для токов обратной последовательности



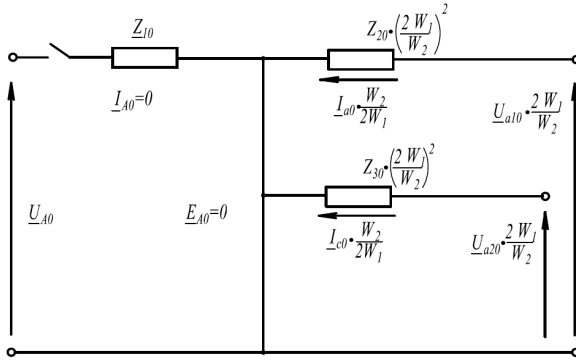


Рисунок 3 – Схема замещения трансформатора для токов нулевой последовательности

Для обмоток фазы «А» будет следующее соотношение составляющих прямой и обратной последовательностей первичной и вторичной стороны:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{A1} - \underline{I}_{A1} \underline{Z}_{11} &= -\frac{W_1}{W_2} \underline{U}_{a1} - \frac{W_2}{W_1} \underline{I}_{a1} \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{(2-3)1}; \\ \underline{U}_{A2} - \underline{I}_{A2} \underline{Z}_{12} &= -\frac{W_1}{W_2} \underline{U}_{a2} - \frac{W_2}{W_1} \underline{I}_{a2} \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{(2-3)2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Системы токов прямой и обратной последовательности трансформируются с вторичной стороны на первичную и наоборот и являются уравновешенными.

Сопротивления короткого замыкания трансформатора токам прямой и обратной последовательностей равны:

$$Z_{K1} = Z_{11} + \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{(2-3)1}; \quad Z_{K2} = Z_{12} + \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{(2-3)2}. \quad (2)$$

С учетом, что

$$\frac{W_2}{W_1} I_{ma1} = I_{mA1}; \quad \frac{W_2}{W_1} I_{ma2} = I_{mA2}, \quad (3)$$

получим

$$\underline{U}_{A1} - \underline{I}_{A1} \underline{Z}_{K1} = -\frac{W_1}{W_2} \underline{U}_{a1}; \quad \underline{U}_{A2} - \underline{I}_{A2} \underline{Z}_{K2} = -\frac{W_1}{W_2} \underline{U}_{a2}. \quad (4)$$

Для составляющих нулевой последовательности:

$$\underline{U}_{A0} = -\frac{W_1}{W_2}\underline{U}_{a0} - \frac{W_2}{W_1}\underline{I}_{a0} \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{(2-3)0} = 0, \quad (5)$$

откуда

$$-\frac{W_1}{W_2}\underline{U}_{a0} = \frac{W_2}{W_1}\underline{I}_{a0} \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{(2-3)0}. \quad (6)$$

Сложив выражения (4) и (6), получим:

$$\underline{U}_a = -\frac{W_2}{W_1}(\underline{U}_{A1} - \underline{U}_{A2} + \underline{I}_{A1}\underline{Z}_{K1} + \underline{I}_{A2}\underline{Z}_{K2}) - \underline{I}_{a0}Z_{(2-3)0}. \quad (7)$$

Аналогично определим вторичные напряжения фаз «В» и «С»:

$$\underline{U}_b = -\frac{W_2}{W_1}(\underline{U}_{B1} - \underline{U}_{B2} + \underline{I}_{B1}\underline{Z}_{K1} + \underline{I}_{B2}\underline{Z}_{K2}) - \underline{I}_{b0}Z_{(2-3)0}; \quad (8)$$

$$\underline{U}_c = -\frac{W_2}{W_1}(\underline{U}_{C1} - \underline{U}_{C2} + \underline{I}_{C1}\underline{Z}_{K1} + \underline{I}_{C2}\underline{Z}_{K2}) - \underline{I}_{c0}Z_{(2-3)0}. \quad (9)$$

#### Список использованной литературы

1. Збродыга, В.М. Улучшение показателей несинусоидальности и несимметрии напряжений в электроустановках сельскохозяйственного назначения применением трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ В.М. Збродыга. – Минск, 2010. – 20 с.
2. Збродыга, В.М. Особенности преобразования электрической энергии в трансформаторе со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»/ В.М. Збродыга, М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, Г.И. Янукович// Агропанорама. – 2022. – № 5. – С. 25–33.

**Зеленкевич А.И., к.т.н., Збродыга В.М., к.т.н., доцент,  
Жидович А.А., Матреничев Е.А., Коротышевский Е.Ю.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ НЕСИММЕТРИИ  
НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4кВ  
МОЛОЧНО-ТОВАРНОЙ ФЕРМЫ**

Несимметричное трехфазное напряжение приводит к снижению производительности и срока службы электротермических, электро-

технологических и осветительных установок, нарушению режимов работы систем управления технологическими процессами.

Исследования уровня несимметрии напряжений по ГОСТ 32144-2013 [1] проводились при выполнении научно-исследовательской работы в электрических сетях молочно-товарной фермы на 400 голов в Минском районе с использованием цифрового трехфазного анализатора «Fluke 435» в сетях напряжением 0,4 кВ.

Измеренное значение напряжения – фаза «А»  $240,4 \div 242,6$  В, фаза «В»  $233,6 \div 237,8$  В, фаза «С»  $237,1 \div 240,9$  В.

По результатам измерений, определили значение отклонения напряжения для основной частоты (50Гц)  $\delta U_y$  (в %) по формуле:

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_n}{U_n} ; \quad (1)$$

где  $U_y$  – усреднённое значение фазного напряжение, В;

$U_n$  – номинальное фазное напряжение, В.

ГОСТ 32144-2013 предусматривает нормально допустимое значение отклонения напряжения равное  $\pm 10\%$ . Результаты расчёта отклонения напряжения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета отклонений напряжения в электрической сети 0,4кВ молочно-товарной фермы

| Показатель                                   | фаза А       | фаза В       | фаза С       |
|----------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Измеренное значение напряжения наибольшее, В | <b>242,6</b> | <b>237,8</b> | <b>240,9</b> |
| Величина отклонения напряжения наибольшее, % | 5,48         | 3,39         | 4,74         |
| Измеренное значение напряжения наименьшее, В | <b>240,4</b> | <b>233,6</b> | <b>237,1</b> |
| Величина отклонения напряжения наименьшее, % | 4,52         | 1,57         | 3,09         |

Далее определили коэффициент несимметрии напряжений по ГОСТ 32144-2013, который предусматривает нормально допустимое значение коэффициента несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательностям – 2 %, предельно допустимое – 4 %.

Результаты расчета коэффициентов несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательностям приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициентов несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательностям

| Наименование ввода                | Показатель                                                                       | Значение    |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| сеть 0,4кВ молочно-товарной фермы | Коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности $K_{2(1)}$ , % | 0,54        |
|                                   | Коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности $K_{0(1)}$ , %  | <u>2,04</u> |

Как видно из результатов расчета, величины коэффициентов несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательности в электрической сети 0,4кВ молочно-товарной фермы превышают установленные ГОСТ 32144-2013 нормы – 2 %.

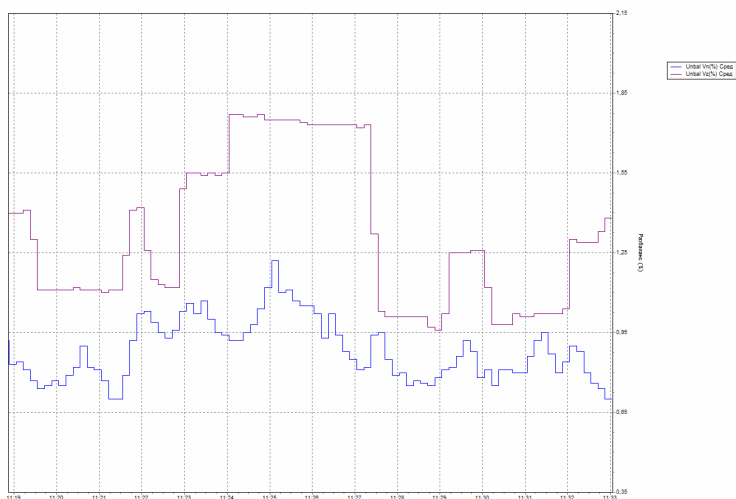


Рисунок 1 – График изменения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям по фазам A, B, C, соответственно

**Вывод.** В связи с тем, что величина коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности в электрической сети 0,4кВ молочно-товарной фермы превышает допустимые 2 %, сле-

дует предусмотреть внедрение организационных и технических мероприятий по симметрированию нагрузки.

#### Список использованных источников

1. ГОСТ 32144-2013 (EN 50160:2010, NEQ). Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Взамен ГОСТ 13109-97 ; введ. 01.02.2016. – Минск : Госстандарт, Минск : БелГИСС, 2015. – III, 16 с. : ил., табл. – (Государственный стандарт Республики Беларусь).

**Зеленькевич А.И., к.т.н., Збродыга В.М., к.т.н., доцент,  
Кот В.К., Литовченко А.А., Олейников Д.А.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ  
НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4кВ  
МОЛОЧНО-ТОВАРНОЙ ФЕРМЫ**

Наличие высокого уровня искажающих воздействий в напряжении питания электроприемников снижает их производительность, срок службы, нарушают режимы работы систем управления.

Исследования уровня несинусоидальности напряжений по ГОСТ 32144-2013 [1] проводились при выполнении научно-исследовательской работы последовательности в электрической сети 0,4кВ молочно-товарной фермы.

Измерения электрических параметров выполнялись с использованием цифрового трехфазного анализатора «Fluke 435» в сетях напряжением 0,4 кВ, который подключался к первичным цепям: цепи измерения напряжения – непосредственно; цепи измерения тока – с применением комплектных датчиков тока с диапазоном измерения тока 0÷3000А. Графики измеренных величин представлены на рисунках 1–3.

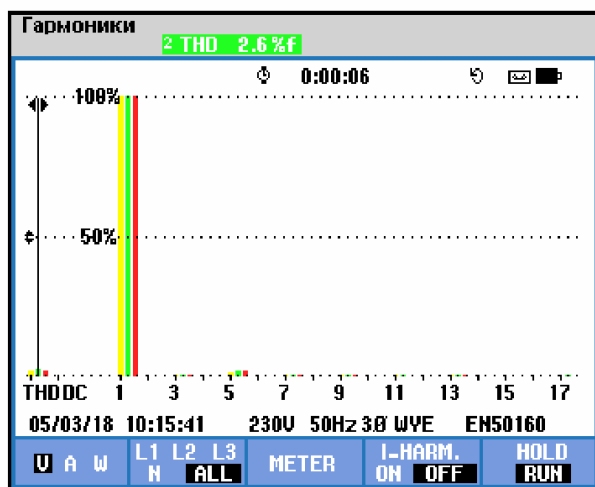


Рисунок 1 – Гармонический состав напряжения

ТАБЛИЦА ГАРМОНИК

0:00:00

| Volt  | L1  | L2  | L3  | N    |
|-------|-----|-----|-----|------|
| THD%f | 2.1 | 2.5 | 2.3 | 55.6 |
| H3%f  | 1.0 | 0.9 | 0.6 | 48.2 |
| H5%f  | 1.5 | 2.0 | 1.9 | 15.9 |
| H7%f  | 0.6 | 0.4 | 0.7 | 12.6 |
| H9%f  | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 16.9 |
| H11%f | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 6.3  |
| H13%f | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 1.1  |
| H15%f | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 2.9  |

05/03/18 10:16:11 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160

U A W HARMONIC TREND HOLD

U&A GRAPH RUN

Рисунок 2 – Гармонический состав напряжения

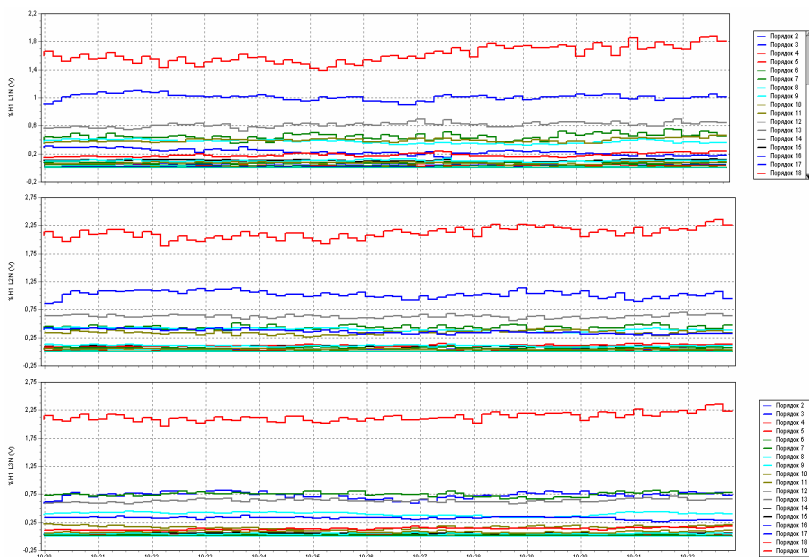


Рисунок 3 – График изменения уровня высших гармонических составляющих напряжения по фазам А, В, С, соответственно

Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения показателей искажения синусоидальности напряжения на шинах 0,4 кВ

| Значения коэффициента искажения, $K_U$ , % |       | Значения коэффициента n-ой гармонической составляющей, $K_{U(n)}$ *, % |                                 |
|--------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| измеренное значение                        | норма | номер гармоники / измеренное значение                                  | номер гармоники / норма по ГОСТ |
| 2,75                                       | 8,0   | 3 / 1,15                                                               | 3 / 5,0                         |
|                                            |       | 5 / 2,36                                                               | 5 / 6,0                         |
|                                            |       | 7 / 0,81                                                               | 7 / 5,0                         |
|                                            |       | 9 / 0,44                                                               | 9 / 1,5                         |
|                                            |       | 11 / 0,46                                                              | 11 / 3,5                        |

Из графиков и таблицы видно, что значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения не превышает 2,75 % (допускается – 8 %), значения отдельных гармоник напряжения не превышают 2,26 %.

**Вывод.** Значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения и коэффициентов n-ой гармонической со-

ставляющей напряжения находятся в пределах, нормируемых ГОСТ 32144-2013.

#### Список использованных источников

1. ГОСТ 32144-2013 (EN 50160:2010, NEQ). Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Взамен ГОСТ 13109-97; введ. 01.02.2016. – Минск : Госстандарт, Минск : БелГИСС, 2015. – III, 16 с. : ил., табл. – (Государственный стандарт Республики Беларусь).

**Зиганшин А.Г., аспирант, Димитриев А.А., аспирант,  
Михеев Г.М., д.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет»,  
Чебоксары, Россия**  
**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ «БАЙПАС» КАК МЕТОДА  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ВЛ 6-35 кВ ПОСРЕДСТВОМ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ  
БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Обеспечение бесперебойности электроснабжения потребителей сельской местности и агропромышленного комплекса является важнейшим вопросом эксплуатации распределительных сетей. Недоотпуск электрической энергии является острой проблемой для потребителей 1 и 2 категории этой сферы: животноводческих комплексов, ферм и птицефабрик [1].

Внедрение методов по производству работ под напряжением позволило обеспечить доступность локального производства практически любого вида работ без вывода электроустановки в ремонт и минимизацией времени простоя потребителей [1]. Однако, зачастую возникает потребность в комплексном производстве работ на отдельных пролетах воздушных линий (ВЛ), с обязательным требованием недопущения отключения потребителей [2].

Техническим решением данной задачи является создание обходного участка линии и осуществление снабжения потребителей по ней [3-5]. После проведения работ на восстанавливаемой линии, и её последующим включением под нагрузку, ремонтная «временная» линия разъединяется от сети.



Комплексная система «байпас», разработанная для выполнения этой задачи в АО «Сетевая компания» Республики Татарстан отличается от иных аналогов своей универсальностью и не зависит от способа реализации. Оборудование системы «байпас» не является стационарной частью комбинированного транспортного средства и не зависит от технического состояния автомобиля, исправности приводов и механизмов.

Внешний вид вспомогательного и основного модульного здания системы «Байпас» приведено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Вспомогательное (слева) и основное (справа) модульные здания системы «Байпас»

Система состоит из двух металлических контейнеров (с основным и вспомогательным оборудованием), которые возможно перемещать к объектам с помощью различных транспортных средств. Контейнер вспомогательного оборудования оснащен устройствами для смотки и размотки кабелей, системой освещения, охранного видеонаблюдения и автономного питания.

В состав контейнера с основным оборудованием входят вакуумные выключатели, гибкий кабель, быстроразъемные соединительные муфты и вспомогательная оснастка. Для транспортировки и размещения на объекте данного комплекса в период производства работ, указанное техническое решение позволяет применять любую специализированную технику с соответствующей грузоподъемностью и габаритами.

Комплексная система байпас позволяет одновременно выполнять разные виды работ на участке ВЛ протяженностью до 500 метров, кабельной линии (КЛ) 10 кВ с нагрузкой до 200 А, увеличивая безопасность и снижая трудоемкость процесса без прекращения электроснабжения потребителей [3-5].

Схема подключения системы «байпас» для проведения ремонтных работ на линии электропередач приведена на рисунке 2.

Нами разработан и предложен алгоритм проведения данного вида работ в виде блок-схемы.

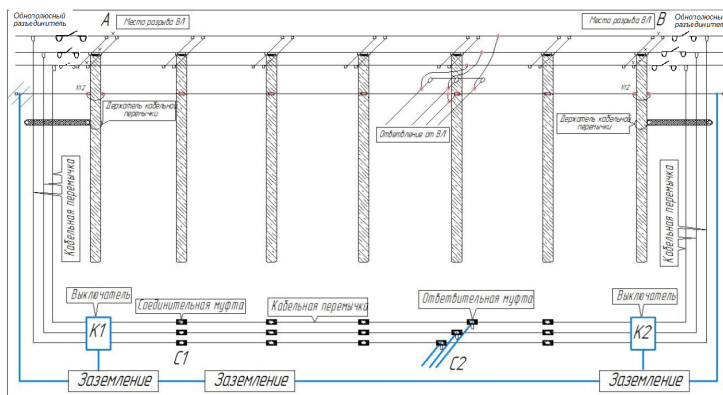


Рисунок 2 – Схема подключения байпаса на воздушной линии с ответвлением

#### Список использованных источников

1. Надежность электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса: учеб. пособие / Т.В. Алферова, О.Ю. Пухальская, А.А. Алферов; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2017. – 112 с.
2. Фардиев И.Ш., Галимов А.И., Зиганшин А.Г., Михеев Г.М., Работы под напряжением в электрических сетях. Электрооборудование: Эксплуатация и ремонт. 2021. – №2 – С. 52–59.
3. Зиганшин, А. Г. Эффективность работы под напряжением в ОАО «Сетевая Компания» Республики Татарстан / А.Г. Зиганшин, Г.М. Михеев, А.Г. Свешников // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: Материалы III международной научно-практической конференции, Чебоксары, 26 февраля 2021 года. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2021. – С. 364–370.
4. Михеев, Г.М. Применение системы «байпас» на ВЛ 6(10) кВ / Г.М. Михеев, А.Г. Зиганшин, Р.И. Касымов // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: Материалы V Международной научно-технической конференции, Чебоксары, 03 декабря 2021 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2021. – С. 224–229.

5. Фардиев, И.Ш. Ремонтно-конструкционные работы на ВЛ 6–10 кВ с помощью системы "байпас" / И.Ш. Фардиев, Р.И. Касымов, А.Г. Зиганшин, Г.М. Михеев // Промышленная энергетика. – 2021. – № 10. – С. 50–56. – DOI 10.34831/EP.2021.52.89.006.

**Иванов Д.М., ст. преподаватель, Грушин В.С., студент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
РАЗЛИЧНЫХ МУНИЦИПАЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ОБЪЕКТОВ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ**

Одним из направлений повышения энергоэффективности различных муниципальных и промышленных объектов является внедрение автоматизированной системы управления наружным освещением (АСУНО). Данная система представляет собой комплекс оборудования и программных средств, который позволяет оптимизировать потребление электроэнергии.

Преимущества данных систем проявляются в обеспечении экономической эффективности, безопасности и удобства управления системой наружного освещения, так же следует отметить компактность и простоту монтажа АСУНО. Система может быть встроена в уже существующую схему управления освещением, без каких либо реорганизаций. Благодаря оптимизации времени работы источников освещения значительно снижается объем потребления электроэнергии на нетяговые нужды. Данная система обеспечивает дистанционный контроль состояния осветительных линий, своевременное выявление возникших аварийных ситуаций, исключение затрат на ежемесячный съём показаний счетчиков (вручную) и постоянный визуальный контроль горения ламп освещения. АСУНО позволяет эффективно контролировать энергопотребление, так как процесс сбора и передачи данных в диспетчерский центр автоматизирован и осуществляется в реальном времени. В диспетчерский центр передаётся вся необходимая информация: об энергопотреблении, параметрах электрической сети, качестве электроэнергии. Следует отметить, что имеются функции хранения данных и представление их в бытовые и контролируемые организации, а так же выявление несанкционированного доступа.

Немаловажным преимуществом АСУНО является обеспечение безопасности управления системой освещения [1]. Безопасность управления системой достигается технологией передачи адресных команд по электросети для управления осветительным оборудованием. Коммутация нагрузки осуществляется электронными ключами, что исключает подгорание контактов.

На рисунке 1 представлен состав АСУНО.



Рисунок 1 – Состав автоматизированной системы управления наружным освещением (АСУНО)

Выделяют два вида систем управления освещением: с индивидуальным и групповым управлением.

АСУНО с групповым управлением (рисунок 2) осуществляет управление освещением независимо по каждой фазе, преимуществом данного вида управления являются невысокая стоимость и требования минимальной реконструкции существующей сети управления. Однако такая система имеет существенные недостатки из-за низкой гибкости управления. Этот недостаток проявляется в невозможности производить отключение и управление конкретными светильниками.

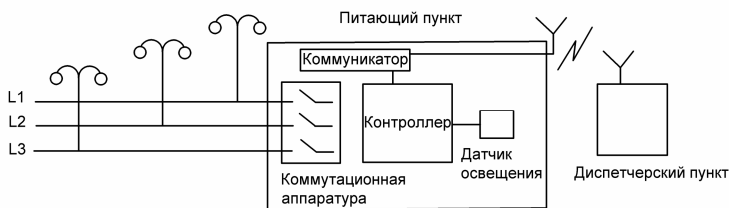


Рисунок 2 – Структура комплекса АСУНО с групповым управлением

АСУНО с индивидуальным управлением (рисунок 3) осуществляет управление освещением независимо по каждому светильнику. Преимущества данной системы проявляются в низких эксплуатационных затратах, гибкости управления (возможно управление отдельными светильниками) так же имеется возможность плавного пуска. Однако по сравнению с системой группового управления стоимость индивидуальной системы значительно выше, поскольку требуется установка контроллера на каждый светильник [1].

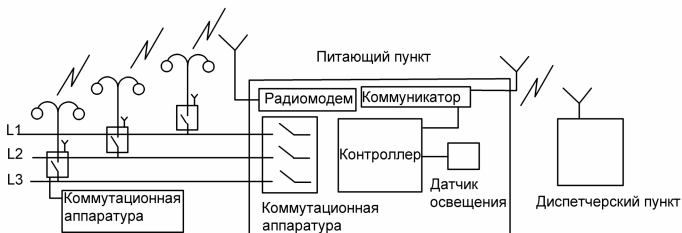


Рисунок 3 – Структура комплекса АСУНО с индивидуальным управлением

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что автоматизированные системы управления освещением сегодня – это реальный и наиболее перспективный инструмент энергосбережения при сохранении качества освещения.

#### Список использованных источников

1. Козловская, В.Б. Электрическое освещение: справочник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Мн.: Техноперспектива, 2007. – 255 с.

**Иванов Д.М., ст. преподаватель,  
Нефедов С.С., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
НЕЗАВИСИМЫЙ СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА  
И ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ АСИНХРОННОГО  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

На основании теории обобщенной электрической машины можно получить следующие выражения для описания электромагнитного момента асинхронного электродвигателя (АД):

$$\begin{aligned}\vec{M} &= p_{\Pi} \cdot L_{12} \cdot (\vec{i}_2 \cdot \vec{i}_1), \quad \vec{M} = p_{\Pi} \cdot (\vec{\Psi}_1 \cdot \vec{i}_1), \quad \vec{M} = p_{\Pi} \cdot (\vec{\Psi}_2 \cdot \vec{i}_2), \\ \vec{M} &= p_{\Pi} \cdot k_r (\vec{\Psi}_2 \cdot \vec{i}_1), \quad \vec{M} = p_{\Pi} \cdot k_s (\vec{i}_2 \cdot \vec{\Psi}_2), \quad \vec{M} = \frac{p_{\Pi} \cdot k_s}{L_2 \cdot \sigma} (\vec{\Psi}_2 \cdot \vec{\Psi}_1), \\ \vec{M} &= p_{\Pi} \cdot (\vec{i}_2 \cdot \vec{\Psi}_{12}), \quad \vec{M} = p_{\Pi} \cdot (\vec{\Psi}_{12} \cdot \vec{i}_1),\end{aligned}$$

где  $\vec{\Psi}_1$ ,  $\vec{\Psi}_2$ ,  $\vec{\Psi}_{12}$  – пространственные векторы потокосцеплений статора, ротора и взаимоиндукции;

$\vec{i}_1$ ,  $\vec{i}_2$  – пространственные векторы тока статора и ротора;

$\vec{M}$  – вектор электромагнитного момента;

$k_r$ ,  $k_s$  – коэффициент магнитной связи ротора и статора;

$p_{\Pi}$  – число пар полюсов двигателя;

$L_{12}$  – наибольшее значение взаимной индуктивности между статором и ротором;

$L_2$  – полная индуктивность ротора;

$\sigma$  – коэффициент рассеяния.

Из приведенных выше выражений видны три вектора потокосцепления: статора  $\vec{\Psi}_1$ , взаимоиндукции  $\vec{\Psi}_{12}$  и ротора  $\vec{\Psi}_2$ , которые в осях х-у неподвижны. Каждый из этих векторов потокосцепления можно использовать для формирования электромагнитного момента [1]. Из этих возможных способов формирования электромагнитного момента целесообразно выбирать наиболее просто реализуе-

мый с точки зрения измеряемых величин. Для этого построим векторную диаграмму токов АД:

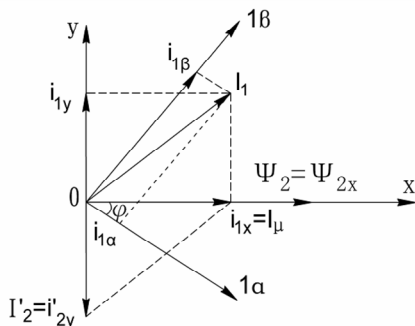


Рисунок 1 – Векторная диаграмма токов АД

При рассмотрении векторной диаграммы следует учитывать, что электромагнитный момент АД получает максимальное значение тогда, когда векторы, участвующие в создании момента, сдвинуты на 90 электрических градусов. Анализируя векторную диаграмму можно сделать вывод, что в установившемся режиме работы АД векторы синусоидального приведенного тока ротора  $I'_2$  и синусоидального потокоцепления ротора  $\vec{\Psi}_2$ , перпендикулярны друг другу в комплексной плоскости и их целесообразно брать в качестве управляющих векторов.

Для обеспечения возможности независимого регулирования потокоцепления  $\vec{\Psi}_2$  и момента  $M$  необходимо исключить взаимозависимость между векторами тока  $\vec{i}_{1x}$  и  $\vec{i}_{1y}$ . Данная взаимосвязь исключается за счет компенсации ЭДС вращения  $e_{1x}$  и  $e_{1y}$ . Эти выражения определяются на основе модели эквивалентного двухфазного АД [2]. Приведем уже преобразованную систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} u_{1x} &= i_{1x} \cdot R_1 + L_{1\sigma} \frac{di_{1x}}{dt} - \omega_1 \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot i_{1y}; \\ u_{1y} &= i_{1y} \cdot R_1 + \sigma L_1 \frac{di_{1y}}{dt} + \omega_1 (\Psi_{2x} + L_{1\sigma} \cdot i_{1x}); \\ \Psi_{2x} + T_2 \frac{d\Psi_{2x}}{dt} &= L_{12} \cdot i_{1x}; \\ M &= \frac{3}{2} p_n \cdot K_r \cdot i_{1y} \cdot \Psi_{2x}; \\ \Delta \omega_{эл} &= \frac{1}{T_2} \frac{i_{1y}}{i_{1x}}, \end{aligned} \right\}$$

В системе уравнений имеем ЭДС вращения:

$$e_{1x} = -\omega_1 \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot i_{1y}, \quad e_{1y} = \omega_1 \cdot (\Psi_{2x} + L_{1\sigma} \cdot i_{1x})$$

Получим «развязанные» составляющие напряжения статора:

$$\left. \begin{aligned} u'_{1x} &= u_{1x} + u_{KX} = R_1 \cdot \left( i_{1x} + T_{1X} \cdot \frac{di_{1x}}{dt} \right) \\ u'_{1y} &= u_{1y} + u_{KY} = R_1 \cdot \left( i_{1y} + T_{1Y} \cdot \frac{di_{1y}}{dt} \right) \end{aligned} \right\}$$

С помощью «развязанных» напряжения статора можно независимо задавать намагничивающую  $\vec{i}'_{1x}$  и моментную  $\vec{i}'_{1y}$  составляющие вектора тока статора  $\vec{i}'_1$ . При этом уравнение для независимого регулирования момента и потокосцепления ротора:

$$M = \frac{3}{2} p_n \cdot k_r \cdot \Psi_{2x} \cdot i_{1y}, \quad \Psi_{2x} = L_{12} \cdot i_{1x}$$

#### Список использованных источников

1. Иванов, Д.М. Векторное управление как наиболее прогрессивный метод управления потокосцеплением и электромагнитным моментом асинхронного двигателя / Д.М. Иванов, С.С. Нефедов // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 19–20 декабря 2019 г. – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 154–157.
2. Фираго, Б.И. Векторные системы управления электроприводами: учеб. пособие / Б.И. Фираго, Д.С. Васильев. – Минск: Высшая школа, 2016. – 159 с.



**Иванов Д.М., ст. преподаватель,  
Нефедов С.С., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПРИМЕНЕНИЕ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО  
СЕКЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 6(10) кВ**

В системе электроснабжения наиболее уязвимым участком являются воздушные распределительные сети (ВРС) 6(10) кВ. Данные распределительные сети передают и распределяют электроэнергию по всем сельскохозяйственным и производственным объектам. Статистика показывает, что 70 % от всех нарушений электроснабжения приходится именно на сети среднего напряжения 6(10) кВ, при этом повреждение любого участка данной ВРС влечет за собой проблемы с надежностью электроснабжения всех потребителей.

Основной задачей при эксплуатации распределительной электрической сети является обеспечение надёжного и качественного электроснабжения потребителей при наименьших материальных, трудовых и денежных затратах [1].

Для повышения надежности электроснабжения на современном этапе целесообразно использовать автоматическое секционирование ВРС. Данную систему секционирования называют децентрализованной. Сегодня наиболее перспективными средствами автоматического секционирования ВРС 6(10) кВ являются вакуумные коммутационные аппараты, оснащенные устройствами релейной защиты, автоматики и телемеханики – реклоузеры. Данные коммутационные аппараты под управлением специализированного микропроцессора представляют собой новое поколение коммутационного оборудования, объединившее в себе передовые технологии микропроцессорной релейной защиты и автоматики (РЗА), а так же коммутационной техники. В данных коммутационных аппаратах кроме защитных и противоаварийных функций защиты ВРС имеются дополнительные функции мониторинга и учета характеристик, а так же параметров электросетей.

Принцип работы децентрализованного метода секционирования (рисунок 1) заключается в следующем: при помощи реклоузеров ВРС делятся на отдельные участки, на каждом из которых устанавливается интеллектуальное устройство, которое в реальном времени анализирует параметры работы сети и при необходимости выполняет её реконфигурацию, т.е. локализацию поврежденного

участка и автоматическое восстановление электроснабжения потребителей на неповреждённых участках согласно установленным программным алгоритмам. В отличие от ручного управления сетевым резервом, в данном случае исключается необходимость дистанционного поиска повреждения – всё это выполняется по месту работы реклоузера посредством микропроцессорного контроля. Благодаря наличию реклоузера электрическая сеть может быть полностью в автономном режиме, реагируя на внешние воздействия. При возникновении аварийной ситуации, повреждения какого-либо участка сети, реклоузер отключает его и распределяет нагрузку по другим линиям, тем самым сохраняя энергоснабжение других потребителей.

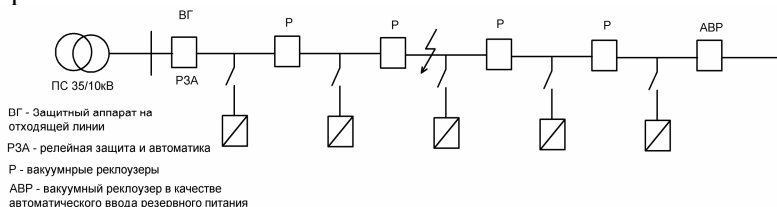


Рисунок 1 – Децентрализованный принцип секционирования линий

Возможны различные алгоритмы функционирования реклоузеров для организации децентрализованного управления аварийными режимами работы распределительных сетей. При выполнении секционирования радиальной ВЛ с односторонним питанием (рисунок 2) реклоузеры устанавливаются на магистральном участке. Сетевым резерв при этом не реализуется, а при возникновении повреждения отключается ближайший к месту повреждения реклоузер и обесточивает нижестоящий участок сети.

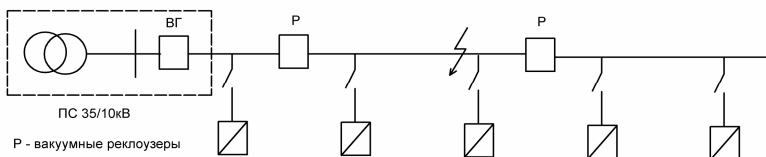


Рисунок 2 – Алгоритм секционирования радиальной линии с односторонним питанием

При выполнении секционирования радиальной линии с двухсторонним питанием (рисунок 3) дополнительно к реклоузеру на

магистральной устанавливается еще один в качестве пункта автоматического включения резерва (АВР). При возникновении на одном из участков повреждения автоматически будет отключен ближайший коммутационный аппарат. В случае исчезновения напряжения автоматически включится реклоузер, работающий как пункт АВР.

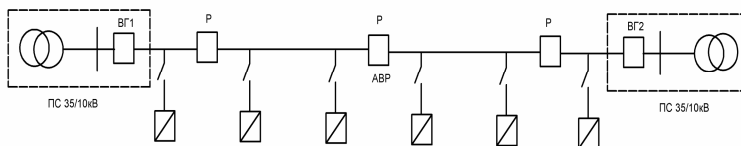


Рисунок 3 – Алгоритм секционирования радиальной линии с двухсторонним питанием

Эффективность секционирования радиальной линии обусловлена тем, что при этом появляется возможность автоматической локализации повреждения в пределах одного локального участка и автоматической подачи резервного питания остальным потребителям.

Подводя итог, хотелось бы отметить, что применение децентрализованного автоматического секционирования линий позволяет значительно повысить надежность электроснабжения как по сети в целом, так и индивидуальных потребителей.

#### Список использованных источников

1. Иванов, Д.М. Применение автоматического секционирования в целях повышения надежности электроснабжения потребителей воздушной распределительной сети 6(10) кВ / Д.М. Иванов // Эпоха науки. – 2022. – № 30. – С. 49–58. – EDN XTBZMF.

**Иванов Д.М., ст. преподаватель,  
Силуцкий А.С., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ВНЕДРЕНИЕ АСКУЭ ДЛЯ САДОВОДЧЕСКИХ  
ТОВАРИЩЕСТВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Перед тем как перейти к рассмотрению вопроса о внедрении автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии

(АСКУЭ) в садоводческих товариществах (СТ) следует отметить, что в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 28.01.2008 № 50 взаимоотношения СТ и его членов, связанные с объектами общего пользования СТ, в том числе электрическими сетями товарищества, не относятся к компетенции РУП «Минск-энерго». Действия правления товарищества и его председателя должны обжаловаться на общем собрании (собрании уполномоченных) его членов, а также в судебном порядке. Из этого вытекает, что обязать члена товарищества вынести электросчетчик на границу участка, равно как и внести изменения в ранее установленные договорные отношения, правовых оснований у энергоснабжающей организации не имеется, данное решение принимается на собрании СТ. Все это необходимо учитывать при принятии решения о внедрении АСКУЭ в СТ.

Рассмотрим самый популярный вариант в белорусских СТ: наличие воздушной линии (ВЛ), общий счётчик, который установлен на входе в потребительскую электросеть и счётчики отдельных потребителей. Товарищество является коллективным абонентом энергопотребления и платит за потребленную электрическую энергию по показаниям общего счётчика. Показание общего счетчика должно быть равно суммарным показаниям счетчиков всех членов садоводства, за вычетом неизбежных потерь при передаче и общих расходов на освещение улиц, работу общего оборудования, но на практике сумма платежей оказывается намного меньше ожидаемой. В такой ситуации руководство, понимая, что счета за электричество нужно оплачивать, вынуждено распределять недостачу на всех участников. Увеличение платежей вызывает недовольство тех, кто оплачивает счета добросовестно, из месяца в месяц.

Исходя из вышесказанного наиболее распространенная проблема такого варианта СТ – рост задолженностей по платежам за электроэнергию. Структурируем распространенные проблемы в виде схемы (рисунок 1).

Простым и эффективным решением проблемы является система АСКУЭ для садоводческих товариществ – это автоматический комплекс средств учёта электроэнергии, адаптированный для садовых товариществ. Данная система автоматически считывает показания каждого счетчика установленного в точке измерения и передает их на верхний уровень.

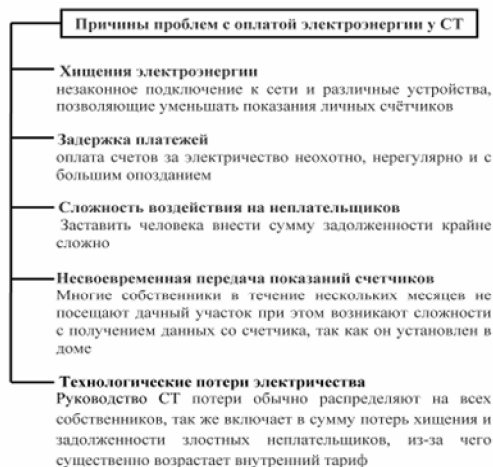


Рисунок 1 – Причины проблем с оплатой электроэнергии у СТ

Такие системы в Республике Беларусь есть, например НП ООО «Гран-Система С» разрабатывает и внедряет самоорганизующиеся беспроводные сети сбора данных с приборов учета по радиоканалу. Данные системы отвечают критериям снижения себестоимости точки учета и надежности обмена информацией.

Структура такой системы представлена на рисунке 2.

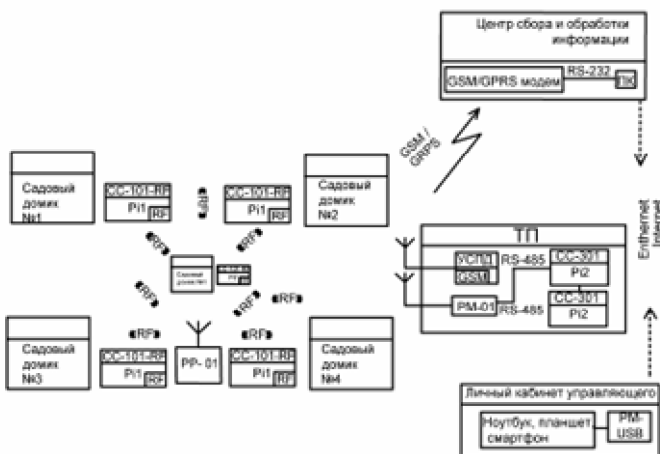


Рисунок 2 – НП ООО «Гран-Система С» самоорганизующаяся беспроводная сеть сбора данных с приборов учета по радиоканалу

Аппаратный состав системы АСКУЭ «Гран-Электро-RF» включает [1]:

- одно- и трехфазные электросчетчики «Гран-Электро СС-101-RF» и «Гран-Электро СС-301-RF» со встроенными радиомодемами;
- радиомаршрутизаторы «Гран-Электро» РМ-01, организующие среду передачи данных к счетчикам по радиоканалу;
- концентратор УСПД «Гран-Электро ССДУ-02» со встроенным GSM/GPRS коммуникатором;
- радиомаршрутизаторы «Гран-Электро» РМ-USB.

#### Список использованных источников

1. Забелло Е.П. Автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов: учебно-методическое пособие / Е.П. Забелло, В.А. Дайнеко, В.Г. Булах. – Минск: БГАТУ, 2016. – 436с.

**Ковалев В.А.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, Крутов А.В.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
Липницкий Л.А.<sup>2</sup>, к.т.н., доцент,**

**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**

**<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ  
им. А.Д. Сахарова, Минск, Республика Беларусь**

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИКТИВНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В АПК**

Техническое обслуживание (ТО) оборудования является важнейшим элементом поддержания его в работоспособном состоянии и призвано обеспечить максимальную эффективность его применения по назначению. Расходы на ТО и ремонт оборудования являются значительной составляющей затрат любого хозяйствующего субъекта.

Техническое обслуживание может быть организовано несколькими способами, доминирующим из которых, в настоящее время является, планово-предупредительное (регламентное) обслуживание – выполняется по заранее составленному плану (регламенту обслуживания). Такой вид обслуживания дает высокий процент готовности оборудования, но является весьма затратным, поскольку

фактическое состояние оборудования в определенный регламентом момент времени может и не требовать работ по обслуживанию или ремонту.

Другим вариантом технического обслуживания является, так называемое, обслуживание по состоянию. Основой такого вида ТО является техническое диагностирование (ТД) состояния объекта. С помощью средств ТД проводят непрерывный или периодический контроль параметров работоспособности. Результаты диагностирования и контроля – основа для принятия решений экспертами о необходимости ТО, времени его проведения и объеме, а также о времени проведения очередного контроля технического состояния. Реализация ТО по состоянию связана с затратами на диагностирование и прогнозирование, привлечение высококвалифицированных специалистов (экспертов), поэтому применять такой вид ТО целесообразно, когда экономические затраты не являются определяющими (оборудование первой группы надежности) или, когда этот метод экономически более выгоден.

Еще одним относительно новым видом технического обслуживания является предиктивное обслуживание (Predictive Maintenance, PdM) [1]. В каком-то смысле предиктивное обслуживание можно считать развитием обслуживания по состоянию, когда специалисты проводили визуальную и инструментальную инспекцию оборудования, а потом на основе опыта и интуиции решали, когда стоит проводить техобслуживание. Сегодняшний этап развития PdM-подхода – это программные или программно-аппаратные комплексы для обработки больших данных (Big Data). В режиме реального времени PdM-система анализирует данные телеметрии с помощью современных ИТ-технологий и находит скрытые взаимосвязи между множеством измеряемых параметров. Т.е. она выявляет аномалии и их причины, а также прогнозирует время до отказа.

Таким образом, предиктивное обслуживание можно рассматривать как один из перспективных сценариев применения Интернета вещей (Internet of Things – IoT). Под ним понимают концепцию сети передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащёнными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой [2].

Рассмотрим, каковы перспективы применения предиктивного техобслуживания электроустановок на предприятиях АПК. На сегодняшний момент имеется несколько барьеров, мешающих широкому его распространению. Так, большая часть электрооборудования сельскохозяйственного производства и значительная часть оборудования перерабатывающих предприятий не оснащена датчиками для передачи информации об их состоянии, недостаточно развиты системы сбора данных и онлайн-мониторинга. К тому же, на многих предприятиях и организациях журналы о дефектах и ремонтах часто не ведутся, а информация об отказах и данные о датах проведенных ремонтов является важной составляющей предсказательной аналитики.

Тем не менее, можно выделить сферу, наиболее подготовленную для организации такого рода обслуживания, если не прямо сейчас, то в ближайшем будущем. В первую очередь это касается электроустановок на перерабатывающих предприятиях АПК. Для них характерен высокий уровень автоматизации с применением логических контроллеров и возможностью организации передачи в сеть многих данных, характеризующих состояние электрооборудования, задействованного в АСУ ТП. Для них же характерно широкое применение регулируемых электроприводов с применением преобразователей частоты (ПЧ). Современные ПЧ ведут подсчет часов работы привода, а также рассчитывают выработанный ресурс основных элементов, таких как IGBT модули, вентиляторы охлаждения и др. Данные с ПЧ могут передаваться в ПО верхнего уровня: текущая температура на плате, максимальный ток и выходная частота за период работы, количество команд пуск, поданных с момента включения питания, среднюю потребленную мощность и т.д. Таким образом, новое поколение преобразователей частоты обеспечивает необходимые базовые функции для организации предиктивного обслуживания оборудования и доступ к ним операторов без дополнительного программного обеспечения, что важно в начале организации прогностических систем обслуживания на производстве [3].

Для быстрого объединения датчиков в сеть интернета вещей можно использовать облачные платформы, которые позволяют обойтись без собственных серверов и передавать данные прямо в облако по защищенным каналам. Кроме того, такие платформы



помогают анализировать данные, собранные с датчиков, и оптимизировать бизнес-процессы.

#### Список использованных источников

1. Предиктивное обслуживание оборудования: как избежать убытков из-за простоев и аварий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mcs.mail.ru/blog/prediktivnoe-obsluzhivanie-oborudovaniya> – Дата доступа: 17.09.2022.
2. Перспективные рынки и технологии интернета вещей: публичный аналитический доклад - М, : ООО «Лайм», 2019. – 272 с.
3. YASKAWA: Предиктивное обслуживание электроприводов насосов, вентиляторов и компрессоров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cospa.ru/news/publications/yaskawa-prediktivnoe-obsluzhivanie-elektroprivoda-nasosov-ventilyatorov-i-kompressorov/> - Дата доступа: 18.10.2022.

**Кудрявцева В.И., к.социол.н., доцент**  
**УО «Белорусский государственный экономический**  
**университет», г. Минск, Республика Беларусь**  
**КОСМОНОМИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ**  
**ТЕХНОЛОГИИ: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ**  
**И ПРОФИЛАКТИКА АВАРИЙНОСТИ**  
**НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ И ОБЪЕКТАХ**

С целью повышения энергоэффективности, экономии за счёт снижения аварийности на атомных электростанциях и объектах, которая влечёт порой не только значительные материальные, но и людские потери, и как следствие – повышения корпоративной социальной ответственности и профилактики, было проведено исследование с использованием космономического метода, который уже показал свою работоспособность в прогнозировании деятельности промышленных предприятий [1, 2]. Суть его применения заключается в определении наиболее уязвимых объектов инфраструктуры и периодов времени, в которые наиболее вероятны чрезвычайные ситуации, для грамотного планирования ремонтных работ и испытаний, более ответственного отношения коллективов к выполняемой работе в обозначенный период.

В проведенном исследовании были использованы темпоральные модели АЭС, атомных реакторов предприятий, подводных лодок, то есть их космономические модели (КМ), в которых воплощающие ритмы изменений определённые ритмозадающие факторы раскрывают в режимах резонанса с внешними ритмами специфическую информацию [3]. В качестве интересующих событий рассматривались такие события, как Кыштымская авария, авария в Уиндскейле (Великобритания), на заводе «Красное Сормово», на атомной подводной лодке К-19, на Ленинградской АЭС, АЭС Богунце (Словакия), АЭС Три-Майл-Айленд (США), АЭС Сен-Лоран-дез-О (Франция), Чернобыльской АЭС (Украина), АЭС Фукусима-1 (Япония), на атомном реакторе ПО «Маяк», на Белоярской АЭС, АЭС NRX (Канада), Армянской АЭС, АЭС «Энрико Ферми» (США), АЭС «Михама» (Япония).

В результате были выделены три ритма в КМ атомного объекта (называемые ролевыми), которые оказались всегда задействованными в напряжённых и жёстких режимах взаимодействия с внешними ритмами в моменты значимых аварий, получивших широкий общественный резонанс. Сами же внешние ритмы также представляли собой набор одних и тех же «участников». Всё это позволило выделить устойчиво повторяющийся космономический алгоритм реализации чрезвычайных событий, связанных с атомными реакторами (алгоритм №1).

Расчёты производились с помощью компьютерной программы Cosmonomics, со всеми математически точными допусками, исключающими вмешательство человеческого фактора.

Из всего этого следует, что используя компьютерную программу Cosmonomics, можно определять, в какие конкретные даты и периоды в будущем будут образовываться критические режимы в КМ атомного объекта по обнаруженному алгоритму, и в целях безопасности не планировать в это время какие-либо ремонтные работы и испытания, а рабочему коллективу – более ответственно относиться к выполняемым обязанностям.

В то же время, не каждый атомный объект инфраструктуры заслуживает такого повышенного внимания. Исследование показало, что у всех пострадавших объектов изначально в КМ те же самые три ролевые ритма были вовлечены «внутри объекта» в идентичный алгоритм (алгоритм №2). Поэтому обнаружив наличие такого

алгоритма в КМ атомных реакторов на момент ввода их в эксплуатацию (для подводных лодок – спуска на воду), можно выделить среди них потенциально опасные объекты инфраструктуры и включить их в космономический мониторинг определения кризисных дат и периодов.

#### Список использованной литературы

1. Кудрявцева, В.И. Космономические информационные технологии в ситуационном менеджменте / В.И. Кудрявцева // Тенденции экономического развития в XXI веке: Материалы III Международной научной конференции 1 марта 2021 г., БГУ, г. Минск. – Минск: БГУ, 2021. – С. 674–677. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/267880/1/674-677.pdf>. Точка доступа: 30.11.2022.

2 Кудрявцева, В.И. Перспективы применения космономических технологий в риск-менеджменте малых и средних предприятий / В.И. Кудрявцева // Инновационная экономика и менеджмент: методы и технологии. Сборник статей участников IV Международной научно-практической конференции 15–16 мая 2019 г., МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва - М.: 2022. – С. 202–205.

3 Кудрявцева, В.И. Методологические основы социального прогнозирования (универсумный подход): Дис. ... канд. соц. наук: 22.00.01 / В.И. Кудрявцева. Минск. 2001. – 108 с.

**Miroshnichenko Ya., senior lecturer,  
Gvozdev A.V., assistant professor, Boltianska N., assistant professor  
Melitopol State University, Melitopol, Russia  
MAIN PRINCIPLES OF ENERGY SAVING IN THE  
AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

Energy saving is a multifaceted process and covers different spheres of human activity. In essence, this is a way of life of a people, a society that develops a certain psychological algorithm of behavior. The development of the economy of the republic as a sovereign state is impossible without the development of a national idea, the psychology of careful and economical use of available energy and raw materials, the use of experience gained in this area by other countries. And this is the

most important area of activity today, a resource for increasing the competitiveness of industrial production, a way to integrate the economy into the international market [1,2].

Traditionally, energy consumption is divided into three areas: electricity consumption, heat energy consumption, fuel combustion. Modern energy saving is based on three main principles (Fig. 1):

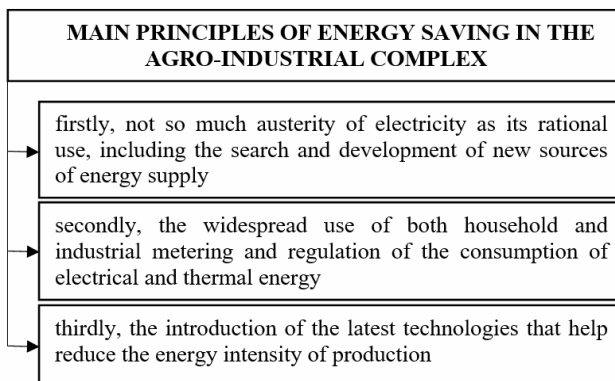


Figure 1 – Main principles of energy saving in the agro-industrial complex

Based on this, the following groups of measures ensuring effective energy use and rational use of fuel and energy resources are distinguished in energy saving: scientific and technical; organizational and economic; regulatory and technical; informational; legal [3,4].

**Scientific and technical energy-saving measures** are aimed at the development and use in production of new methods and devices that are characterized by high energy efficiency.

**Organizational measures** for energy saving are divided into organizational-mass and organizational-technical.

One of the conditions for ensuring the careful and rational use of fuel and energy, the reduction of their losses in production, is the implementation of organizational and mass work at enterprises aimed at saving fuel and energy resources. The forms and methods of this work are diverse and each specific enterprise has its own characteristics.

The main purpose of **organizational and mass work** is to convey to all members of the labor team the state importance of economical and careful use of fuel and energy, preventing their losses at all production sites, involving every employee of the enterprise in work on economy,

organizing the work of public organizations to identify and eliminate places of losses, finding and using economy reserves, rewarding personnel for economy and taking strict measures against fuel, thermal and electric energy burners.

The main directions of organizational and mass work on the economy of energy resources are:

- acceptance of obligations by enterprises, workshops, departments, services and individual workers and R&T on saving fuel, thermal and electrical energy;

- development and implementation of personal plans of energy workers and other categories of employees of enterprises and organizations;

- creation and organization of commissions to promote the rational use of energy;

- consideration of issues of economy of fuel and energy resources by permanent production meetings;

- improvement of technical knowledge on energy saving of certain categories of workers in schools of advanced practice organized at enterprises and organizations;

- exchange of experience with advanced enterprises of the republic and abroad;

- organization of special meetings and seminars with energy workers of enterprises, ministries and departments with the participation of research and design institutes and other organizations;

- conducting public tenders for the best proposal for fuel and energy saving;

- activation at enterprises of the development of rationalization proposals for the economy of energy resources;

- display of energy saving issues in the complex production quality management system;

- development and application of regulations on awarding personnel for saving electrical and thermal energy and using secondary energy resources;

- organizing the work of control groups to identify sources of wastefulness in the use of energy, systematically carrying out raids by them together with energy workers to check the loading of energy and technological equipment, the use of compressed air, lighting, detection of steam and hot water leaks, the presence of idling equipment, etc.

## References

1. Boltianskyi O. Areas of energy conservation in animal feed production of Ukraine. / O. Boltianskyi, N. Serebryakova // Сб. научн. ст. Межд. научно-практ. конф. (Минск, 26–27 ноября 2020 года). – Минск: БГАТУ, 2020. – С. 276-278.
2. Boltyanska N. Ways to Improve Structures Gear Pelleting Presses / N. Boltyanska // ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow, 2018. – Vol. 18. No 2. – P. 23–29.
3. Boltianskyi O. Solving the problem of air pool pollution in the area of livestock farms. / O. Boltianskyi // Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: Мат. Х-ї Міжнародної науково-технічної конференції. – Глеваха-Київ, – 2021. – С. 6–8.
4. Podashevskaya H. Problems of implementation of digital technologies in animal husbandry. / H. Podashevskaya // Інформаційні технології в енергетиці та АПК: матеріали Х-ої Міжн. наук.-практ. конф. – ЛНАУ, 2021. – С. 70–72.

**Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент, Зеленкевич А.И., к.т.н.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СЕЛЕКТИВНЫХ  
ЗАЩИТ**

Быстродействие защиты от больших токов короткого замыкания (КЗ) осуществляется за счет добавления к существующему временному критерию селективности преднамеренным выдержкам времени на отключение, второго критерия селективности – интегральной уставки. Интегральные зависимости времени срабатывания защиты от величины тока КЗ в цепях 0,4 кВ существуют при использовании в качестве аппаратов защиты предохранителей. В качестве критерия селективности используется интегральные уставки, интеграл вышестоящего предохранителя должен быть больше интеграла отключения нижестоящего, поэтому данную систему селективной защиты условно можно назвать интегральной. Однако, в силу ряд причин, такая селективная защита не быстродействующая.

Использование микропроцессорной техники в расцепителях позволит сделать селективную защиту, быстродействующей. С применением микропроцессорной техники, можно «отстроиться» от токов предыстории, чтобы защита реагировала только на величину тока возмущения. Это даст нам возможность с меньшим запасом установить интегральную уставку вышестоящего выключателя и повысить быстродействие защиты. Однако возникает проблема быстрого определения интеграла для пропускаемого тока с целью сравнения с интегральной уставкой. Расчет указанного интеграла не вызывает особенных трудностей, но прежде требуется определить значение симметричной составляющей тока КЗ для сравнения его с величиной токовой уставкой, которая задается симметричной составляющей тока.

В разветвленных многоступенчатых цепях с длинными линиями расстояние между выключателем у потребителя и вышестоящим селективным выключателем на трансформаторной подстанции оказывается достаточно большим. Величина тока КЗ в месте установки нижестоящего выключателя существенно снизилась в сравнении с током КЗ в месте установки вышестоящего выключателя. Кроме того, выключатели обладают токоограничивающими свойствами, то величина интеграла отключения тока КЗ нижестоящим выключателем, а следовательно и интегральная уставка вышестоящего выключателя будет очень малой. При КЗ вблизи вышестоящего выключателя интеграл пропускаемого тока будет равен интегральной уставке уже спустя несколько миллисекунд после возникновения тока КЗ, то есть время срабатывания расцепителя от интегральной уставки очень малое. В этом и состоит сущность быстродействующей интегральной селективной защиты, для чего необходим быстрый способ определения симметричной составляющей тока КЗ.

Традиционный метод определения фазного тока методом интегрирования мгновенных значений тока в течении 2–3 периодов (40–60 мс) для быстродействующей селективной защиты не подходит, так как при трехфазном КЗ на зажимах выключателя определение величины тока КЗ, сравнение его со значением уставки, подсчет интеграла тока и отключение необходимо произвести в течение нескольких миллисекунд.

Поэтому, в алгоритме микропроцессоре предусмотрен быстродействующий метод, основанный на использовании взаимосвязи величины симметричной составляющей тока возмущения  $\Delta I_\Phi$  со значением силовой характеристики цепи

$$\Delta I_\Phi = \sqrt{S(\Delta i^2) / \left[ 3 \left( 1 - 2e^{-t/T} \cos(\omega t) + e^{-2t/T} \right) \right]}$$

где  $S$  – суммы квадратов мгновенных значений токов всех фаз;

$T$  – электромагнитная постоянная времени цепи.

Используя данное выражение в течении 2–3 миллисекунд определяется величина симметричной составляющей тока при трехфазном КЗ.

Следовательно, использование в качестве критерия селективности интегральной уставки и метода быстрого определения величины тока цепи, позволяет снизить время срабатывания защиты при предельных токах КЗ.

#### Список использованных источников

1. Протосовицкий, И.В. Повышение надежности защиты сетей 0,4 кВ выключателями с микропроцессорными расцепителями / И.В. Протосовицкий, Д.А. Кулаковский // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: сборник науч. Статей Междунар. науч.-техн.конф., Минск, 21–22 декабря 2021 г. – Минск: БГАТУ, 2021. – С. 64–66.

2. Дьянов А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика энергетических систем: – М.: Издательство-МЭИ, 2000. 199с.

**Равинский Н.А., ст. преподаватель,**

**Иванов Д.М., ст. преподаватель**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск**

### **МЕТОДИКА ВЫБОРА МОДУЛЬНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ**

Для модульных многополюсных автоматических выключателей характерной особенностью является тот факт, что двух-, трех- и че-



трехполюсные выключатели состоят из соответствующего числа одиночных однополюсных выключателей (модулей). К таким выключателям, относятся автоматические выключатели серии ВА47, ВА61, ВМ63, ВМ125, ВА77-29 и т.д. Как правило, такие выключатели содержат комбинированный расцепитель (электромагнитный – для защиты от токов короткого замыкания и тепловой – для защиты от перегрузок).

Выбор модульных автоматических выключателей производится по следующим условиям:

- по номинальному напряжению: номинальное напряжение модульного автоматического выключателя должно соответствовать напряжению сети:

$$U_n \geq U_{сети} \quad (1)$$

- по номинальному току автоматического выключателя: номинальный ток модульного автоматического выключателя должен соответствовать длительному (расчетному) току электроприемника или линии:

$$I_n \geq I_{дл} \quad (2)$$

- по числу полюсов автоматического выключателя. Выбор производится с учетом следующих соображений: для однофазной сети переменного тока выбирается однополюсный выключатель, если провод N и PE объединены, и 1+N полюсный выключатель, если нулевой провод N отделен от PE проводника; для трехфазной сети переменного тока при отсутствии однофазных потребителей применяются трёхполюсные автоматические выключатели и 3+N полюсные выключатели, если в трехфазной сети есть однофазные потребители и проводники N и PE разделены.

- по номинальному току теплового расцепителя. В модульных автоматических выключателей тепловой расцепитель не регулируется и входит в состав комбинированного расцепителя. Для модульных автоматических выключателей номинальный ток расцепителей задается при температуре тепловых расцепителей +30°C для одного полюса [2]. При выборе номинального тока теплового расцепителя обязательно учитывается число полюсов (модулей, размещенных рядом), так как при установке модулей вплотную друг к другу происходит ухудшение их охлаждения за счет взаимного нагрева проходящими через полюса токами. Также следует учиты-

вать и ожидаемую температуру в месте установки автоматических выключателей. Исходя из вышенаписанного, номинальный ток теплового расцепителя модульного автоматического выключателя:

$$I_{н.расц} \geq \frac{I_{\partial л}}{K_N K_t} \quad (3)$$

где  $I_{\partial л}$  – длительный (расчетный) ток электроприемника или линии, А;

$K_N$  – коэффициент, зависящий от числа полюсов. Например, для ВА47-29  $K_N = 1$  при 1 полюсе;  $K_N = 0,875$  при 2 полюсах;  $K_N = 0,83$  при 3 полюсах;  $K_N = 0,81$  при 4 полюсах [2];

$K_t$  – коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды. Например, для ВА47-29 при  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$   $K_t = 0,97$ ; при  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$   $K_t = 0,99$ ; при  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$   $K_t = 1$ ; при  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$   $K_t = 1,04$ ; при  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$   $K_t = 1,1$  [2].

- по классу (типу) электромагнитного (мгновенного) расцепителя. Для модульных автоматических выключателей диапазон срабатывания электромагнитного расцепителя по отношению к номинальному току теплового расцепителя указывается буквой (В, С, D, Z, L, К). Например, для типа В срабатывание электромагнитного расцепителя обеспечивается в диапазоне от  $3I_{н.расц}$  до  $5I_{н.расц}$ ; для типа С – от  $5I_{н.расц}$  до  $10I_{н.расц}$ ; для типа D – от  $10I_{н.расц}$  до  $20I_{н.расц}$  [1]. Выбор класса электромагнитного расцепителя осуществляется с учетом максимальных или пусковых токов в сети:

$$K_{\text{эм. min}} \geq \frac{K_n I_{\text{max}}}{I_{н.расц}} \quad (4)$$

где  $K_{\text{эм. min}}$  – минимальная кратность срабатывания электромагнитного расцепителя соответствующего класса. например, для класса С  $K_{\text{эм. min}} = 5$ , для класса D  $K_{\text{эм. min}} = 10$ ;

$K_n$  – коэффициент надежности максимального расцепителя,  $K_n = 1,25 - 1,4$ ;

$I_{\text{max}}$  – максимальный кратковременный ток электроприемника или линии, А.

$I_{н.расц}$  – номинальный ток теплового расцепителя, А;

- по степени защиты автоматического выключателя от воздействия окружающей среды и от соприкосновения людей с токоведущими частями, по климатическому исполнению и категория размещения модульные автоматические выключатели выбираются так же, как и автоматические выключатели общего назначения.

Выбранный автоматический выключатель необходимо проверить по условию надежного отключения наибольшего тока короткого замыкания; по чувствительности к однофазному току короткого замыкания, по условию селективности срабатывания, по условию срабатывания номинального тока комбинированного расцепителя с допустимым током проводников защищаемой электрической цепи.

#### Список использованных источников

1. ГОСТ ИЕС 60898-1-2020. Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1. автоматические выключатели для переменного тока. – Введ. 01.10.2021. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 124 с.

2. Гурин, В.В. Автоматическая защита электрооборудования. В 2 ч. Ч. 1. Защита электрических цепей: учеб.-метод. пособие / В.В. Гурин. – Минск: БГАТУ, 2010. – 360 с.

**Свешников А.Г., аспирант, Михеев Г.М., д.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный  
университет», Чебоксары, Россия**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УТЕЧКИ ЖИДКОСТИ ПУТЕМ  
АНАЛИЗА ТОКА НАГРУЗКИ НАСОСА И ДАВЛЕНИЯ  
В СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В СЕЛЬСКИХ  
НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТАХ**

Все чаще водоснабжение малых НП осуществляется с применением скважинного насоса с устройством частотного регулирования. Данная система имеет ряд положительных моментов перед традиционным способом водоснабжения с использованием водонапорных башен [1-2].

Однако у этой системы имеется большой недостаток, который заключается в трудности обнаружения утечки жидкости из-за малого объема воды в системе.

Известно, что питьевая вода в такой системе сосредоточена лишь в объёмах трубопровода. По этой причине утечка жидкости в ней приводит к потерям, как электрической энергии, так и самого ценного сырья [3].

В работе [4] показано, что наличие или отсутствие утечки жидкости в упомянутой системе водоснабжения вполне возможно. Они возможны в том случае, когда в ней установлена система слежения за работой электронасоса с помощью облачного сервиса «*OwenCloud*» [5].

С помощью этого интерфейса осуществляется сбор, хранение и консолидация данных как для приборов с жесткой логикой, так и для программируемых контроллеров. Данная облачная среда решает многие задачи: контроль, мониторинг, настройки оборудования. Она также способна уведомить об авариях, передать данные через OPC-сервер, а также обеспечить различные варианты отображения данных и устройств на карте.

В перечне возможных неисправностей насосной станции, который приводит изготовитель преобразователя частоты с передачей этой информации в облачный сервис «*OwenCloud*», отсутствует алгоритм обнаружения утечки жидкости из системы водоснабжения. Для выполнения этой задачи необходимо проанализировать параметры работы всей системы водоснабжения, чему посвящается эта работа.

Демонстрируем правильность суждений в пользу этого высказывания на примере графика работы электронасоса в населённом пункте «Новая» Спасского района Нижегородской области в течении периода времени с 15.11.2022 по 17.11.2022 (см. рисунок 1), который выполнен при помощи информационной облачной среды «*OwenCloud*».

Из рисунка видно, что насос работает в непрерывном режиме с 13:36 (15.11.2022) по 10:06 (17.11.2022), т.е. он функционирует безостановочно в течение 27 часов, потребляя при этом в среднем 13,5А или 7,11 кВт. Нетрудно подсчитать, что за это время он израсходовал 192 кВт·ч. Примечательно, что работа насоса наблюдается даже в часы фактического отсутствия потребления воды, что явно указывает, что в системе водоснабжения присутствует утечка жидкости.

После обследования объекта предположение об этой версии подтвердилось. Межтрубное соединение в одном из точек системы водоснабжения пластиковых ПНД (полиэтилен низкого давления) труб было металлическим. От процесса коррозии стальной ершик разрушился и это обстоятельство вызвало утечку жидкости.

Тем не менее, даже анализ графиков потребления тока электро-насоса, давления системы водоснабжения, и питающей частоты не может дать однозначного ответа о причинах утечки воды. Дело в том, что практически утечка жидкости возможна по причине неполадок не только в водопроводной сети. Она возможна и от неисправности обратного клапана системы водоснабжения.

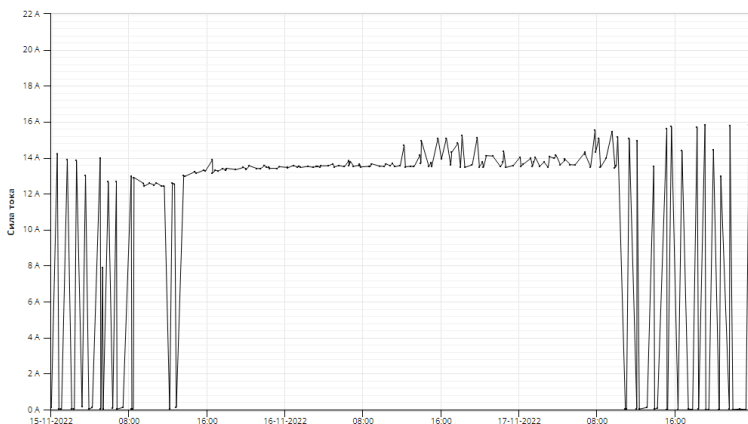


Рисунок 1 – График потребления тока скважинного насоса

Для того чтобы определённо сказать о причинах утечки воды в системе водоснабжения с частотно регулируемым электроприводом необходим полный анализ работ этих устройств с помощью современных технологий, автоматизированных систем с применением математического моделирования. Для выполнения этой задачи требуется разрабатывать новые программные продукты.

#### Список использованных источников

1. Свешников, А.Г. Определение утечки воды по графику нагрузки скважинного насоса / А.Г. Свешников, Г.М. Михеев // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2(21). – С. 107–113.
2. Свешников, А.Г., Михеев Г.М. / Эксплуатация и проектирование систем водоснабжения населенных пунктов с целью обеспечения их эффективности/ Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2022. – №2. – С. 9–14.

3. Свешников, А.Г. Влияние утечки воды на расход электроэнергии в системе водоснабжения населённого пункта / А.Г. Свешников, Г.М. Михеев // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: МАТЕРИАЛЫ IV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Чебоксары, 25 февраля 2022 года. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2022. – С. 150–153.

4. Свешников, А. Г. Возможность обнаружения утечки жидкости в системе водоснабжения с применением скважинного насоса с частотным регулированием / А. Г. Свешников, Г. М. Михеев // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 3. – С. 36–39.

5. *OwenCloud* Облачный *SaaS*-сервис для удаленного мониторинга, управления. Электронный ресурс. Заглавие с экрана. Доступ свободный: <https://owen.ru/owencloud>. Дата обращения 12.02.2022.

**Селицкая О.Ю., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

В статье рассматривается тема, связанная с повышением качества электроснабжения потребителей, путем обеспечения необходимого уровня электромагнитной совместимости

Электроснабжение потребителей электроэнергии характеризуется надежностью и качеством электроэнергии.

В современном мире электроэнергия является одним из важнейших ресурсов, используемым людьми во всех сферах производственной и хозяйственной деятельности.

Электричество производится, покупается и продается, так как является товаром и, соответственно, как товар должна обладать определенными показателями, определяющими уровень ее качества в соответствии с требованиями потребителей.

Качество электроснабжения напрямую связано со свойствами самих электроприемников оказывать влияние на качество и надежность системы электроснабжения [1].

То есть, рассматривая вопрос о качестве электроснабжения, в первую очередь анализируют соответствие показателей качества электрической энергии для потребителей электроэнергии в некоторой, так называемой точке общего присоединения.

Согласно ГОСТ 32144-3013 [2] под *точкой общего присоединения* (рис.1) понимается ближайшая к конкретной нагрузке пользователя сети точка, к которой присоединены нагрузки других пользователей сети, объединенных общей электромагнитной обстановкой с достаточным уровнем электромагнитной совместимости.

Под электромагнитной совместимостью понимается способность технического средства эффективно функционировать с заданным качеством в конкретной электромагнитной обстановке, не создавая при этом недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам. И здесь большую негативную роль играют кондуктивные помехи – помехи, распространяющиеся по элементам электрической сети и оказывающие влияние на надежность работы оборудования, особенно на работу электронных устройств и систем управления.

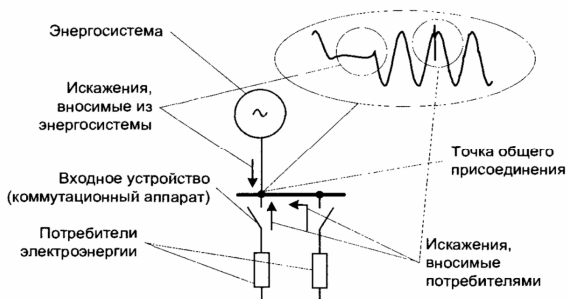


Рисунок 1 – Источники искажения качества электроэнергии

Причинами отказов таких устройств является воздействие электромагнитных помех, которые возникают при переходных процессах как в сетях энергосистем, так и в сетях предприятий.

Причинами возникновения электромагнитных помех являются: междуфазные короткие замыкания, возникающие в результате атмосферных явлений; однофазные короткие замыкания на линиях электропередачи (самоустраняющиеся или устраняемые при кратко-

временном отключении с последующим АПВ); перенапряжения, возникающие при оперативных и аварийных коммутациях, при коммутациях батарей конденсаторов и резонансных фильтров, отключение ненагруженных линий и силовых трансформаторов, неодновременной коммутации контактов коммутационной аппаратуры; отключение компенсирующих устройств; феррорезонансные явления.

Восприимчивость электронных устройств к электромагнитным помехам зависит от амплитудно-частотных характеристик электроприемников и амплитудно-частотных характеристик помех [3]. Наличие несинусоидальности, колебания и отклонения напряжения также увеличивает восприимчивость электронных устройств к электромагнитным помехам.

Для контроля электромагнитных помех во период текущей эксплуатации, например каких-либо производств или зданий, где в соответствии с функциональной необходимостью предусмотрена установка электронных устройств различного назначения, необходимо контролировать следующие параметры: токи в нулевом защитном проводнике РЕ (*наличие таких токов свидетельствует о нарушениях в монтаже распределительной и групповой сетей*); потенциал на корпусах заземленного оборудования (*наличие потенциала указывает на нарушение или отсутствие контакта в цепи заземляющих проводников*); небаланс токов в трехфазных кабелях с нулевым рабочим проводником (*сумма токов должна равняться нулю; при наличии – указывает на возникновение цепи для обратного тока по конструкциям задания или защитному проводнику РЕ*).

В роли устройств, обеспечивающих электромагнитную совместимость, выступают источники бесперебойного питания, которые позволяют практически полностью защищать оборудование от кондуктивных электромагнитных помех. Однако недостатком таких источников является то, что сам источник бесперебойного питания является генератором высших гармоник, что требует решения дополнительных задач (например: применение фильтра подавления гармоник; отделение источника бесперебойного питания от другого оборудования с помощью разделительного трансформатора на стадии проектирования распределительной сети).



#### Список использованных источников

1. Воробьев, А.Ю. Электроснабжение компьютерных и телекоммуникационных систем / А.Ю. Воробьев. – М.: ЭкоТрендз, 2002. – 280 с.: ил.

2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. (EN 50160:2010, NEQ). – Взамен ГОСТ 13109-97 ; введ. 2016-04-01. – Минск : Госстандарт, 2015. – 20 с.

3. Савина, Н.В. Качество электроэнергии. Учебное пособие. / Н.В. Савина. – Благовещенск: Амурский гос. Ун-т, 2014. – 182 с.

**Хорольский В.Я.<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, Исупова А.М.<sup>2</sup>, к.т.н.**  
**<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет,**  
**г. Ставрополь**

**<sup>2</sup>Азово-Черноморский инженерный институт – филиал**  
**ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный**  
**университет» в г. Зернограде**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ УСТАНОВКИ ПУНКТОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО СЕКЦИОНИРОВАНИЯ В ПРОТЯЖЕННЫХ РАДИАЛЬНЫХ ЛИНИЯХ 6–10 кВ**

Сельские электрические сети напряжением 6–10 кВ по большей части выполнены воздушными линиями малых сечений, построены по радиальному принципу, имеют значительную протяженность, слабую наблюдаемость и низкую степень автоматизации [1, 2]. В таких условиях зачастую поиск и устранение повреждений занимает продолжительный период времени, что обуславливает низкие показатели надежности электрических сетей. Одним из возможных способов сокращения времени отключения (SAIDI) и количества отключений (SAIFI) служит секционирование протяженных фидеров, в последнее время наиболее эффективным является автоматическое секционирование посредством реклоузеров.

При решении вопроса о внедрении реклоузеров возникает две научно-технические задачи, первая связана с выбором количества и мест установки такого оборудования, а вторая с оценкой уровня повышения надежности электрической сети после их установки.

Рассмотрим один из подходов, который может быть использован при определении мест установки реклоузеров.

В сельских электрических сетях традиционно токовая защита радиальных воздушных линий выполняется двухступенчатой. Ввиду значительной протяженности фидеров, чувствительность защит достаточно часто не соответствует требуемым ПУЭ нормам. В такой ситуации в качестве критерия для выбора места установки пункта автоматического секционирования можно рассмотреть допустимый коэффициент чувствительности максимальной токовой защиты (МТЗ). Поясним данный подход на конкретном примере.

Рассмотрим фрагмент радиальной линии напряжением 10 кВ, приведенный на рисунке 1.

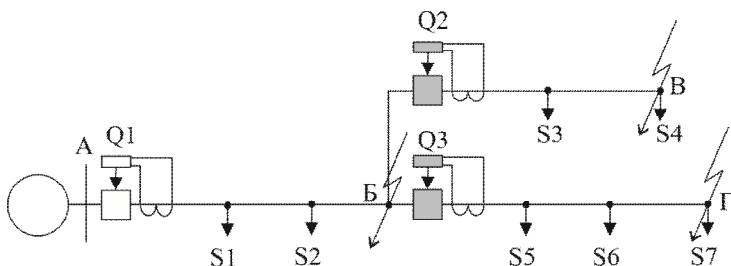


Рисунок 1 – Схема электрической сети напряжением 10 кВ

В исходном варианте радиальная линия не секционирована (выключатели Q2 и Q3) отсутствуют. Предположим, что ввиду значительной протяженности фидера коэффициент чувствительности МТЗ  $k_{\text{ч}} < 1,5$ , что не соответствует нормам ПУЭ. Найдем гипотетически желательные места установки реклоузеров, при которых бы выполнялись требованию по чувствительности. Для этого задавшись минимально допустимым по ПУЭ коэффициентом чувствительности, исходя из рассчитанного значения тока срабатывания защиты на головном выключателе  $I_{\text{сз}}$ , определяем минимально допустимое значение тока двухфазного короткого замыкания:

$$I_{\text{дон}}^{(2)} = 1,5 I_{\text{сз}}.$$

Далее находим длину линии, соответствующую найденному значению тока. Для этого целесообразно построить кривую спада-

нию тока при двухфазном коротком замыкании, используя известную зависимость:

$$I_{КЗ}^{(2)} = \frac{U_{ном}}{2 \sum L_i \sqrt{r_{0i}^2 + x_{0i}^2}},$$

где  $I_{КЗ}^{(2)}$  – значение тока при двухфазном КЗ, А;  $U_{ном}$  – номинальное напряжение сети, В;  $L_i$  – длина  $i$ -го участка линии, км;  $r_{0i}$  и  $x_{0i}$  – удельное активное и индуктивное сопротивление провода  $i$ -го участка линии, Ом/км.

Кривая спада тока строится в координатах  $I=f(L)$ .

Нанеся на кривую спада минимально допустимое значение тока двухфазного короткого замыкания  $I_{доп}^{(2)}$ , можно определить максимальную протяженность линии  $L_{доп}$ , которую способна охватить защита выключателя на головном участке. Далее, проведя анализ конфигурации сети и состава потребителей, может быть принято решение о месте установки пунктов автоматического секционирования. Однако, в любом случае, место установки такого пункта не должно превышать расстояния  $L_{доп}$ , с целью обеспечения защиты всей длины радиальной линии.

В случае использования нескольких пунктов автоматического секционирования (выключатели Q2 и Q3 на рисунке 1), расстояние от шин питающей подстанции до места установки первого из них также не должно превышать  $L_{доп}$ .

Таким образом, при выборе места установки пунктов автоматического секционирования в радиальных линиях, одним из критериев должен являться допустимый коэффициент чувствительности защиты, особенно это актуально для протяженных линий, в которых рабочие токи соизмеримы с токами коротких замыканий протекающих при повреждениях в конце линий.

#### Список использованных источников

1. Исупова, А.М. Цели и задачи совершенствования системы эксплуатационного обслуживания сельских электрических сетей [Текст] / А.М. Исупова, В.Я. Хорольский, В.Н. Шемякин // Энергоэффективные цифровые и интеллектуальные технологии в сельскохозяйствен-

ном производстве: Материалы XV Международной научно-практической конференции. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "СЕКВОЙЯ", 2022. – С. 42–48.

2. Хорольский, В.Я. Реконструкция и техническое перевооружение распределительных электрических сетей [Текст]: учебно-практическое пособие / В.Я. Хорольский, А.В. Ефанов, В.Н. Шемякин, А.М. Исупова. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 296 с.

**Юсубалиев Аширбай, д.т.н.,  
Институт энергетических проблем, г. Ташкент  
УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 0,4–10 кВ**

Общая протяженность линии электропередачи Узбекистана составляет более 270,0 тыс. км., а протяженность распределительных сетей напряжением 0,4–6–10 кВ составляет более 223,8 тыс. км. При этом 66 % распределительных сетей, 74 % подстанций и более 50 % трансформаторных пунктов находятся в эксплуатации более 30 лет. [1]. Из-за наличия значительного устаревшего оборудования из общего количества отказов в электрических сетях всех уровней напряжения на долю электрооборудований напряжением 0,4–10 кВ приходится до 70–75 % отказов.[2]

Для повышения уровня надежности важное значение имеет прогнозирование функционального состояния электрических сетей 0,4–10 на предстоящие периоды эксплуатации с использованием технической диагностики. Это позволит разработать комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на минимизацию возможных рисков, связанных с перерывами электроснабжения. Кроме того, нельзя не учитывать, что уровень надёжности электроснабжения находится в тесной взаимосвязи с изменяющимся уровнем качества электроэнергии [3].

В результате длительной эксплуатации в течение десятков лет значения электрических нагрузок линий становятся выше расчетных при проектировании, одновременно с чем увеличиваются также потери напряжения в линиях электропередачи. По этой причине в настоящее время практически у 50 % сельскохозяйственных потребителей не обеспечивается требуемое качество электрической энергии по напряжению [4].

Применяемые методы контроля состояния изоляции используются при снятом напряжении и не выявляют дефектов на начальной стадии их развития. Результаты контроля, полученные на отключенном объекте, не отражают истинного состояния изоляции до обнаружения дефекта [5].

Для сокращения числа отказов и повышения надежности системы электроснабжения в целом, одним из наиболее целесообразных путей является совершенствование системы технического обслуживания электрооборудования, что является одним из актуальных задач повышения надежности эксплуатации сетей [6].

Важная роль принадлежит мониторингу отключений и отклонения напряжения на вводах потребителей. Он позволяет не только сократить время перерывов в электроснабжении и своевременно регулировать качество поставляемой электрической энергии, но и служит необходимой частью для построения интеллектуальных распределительных сетей, способных значительно снизить временные интервалы отключений и отклонения напряжения, приводящих к повышению эффективности эксплуатации всей системы электроснабжения.

Практика также свидетельствует, что половина отказов происходит из-за низкой эффективности средств контроля, не позволяющих оценивать возможное развитие дефектов на ранней стадии их возникновения. Наличие средств контроля способствует также усовершенствованию автоматизации электрических сетей путем их секционирования и резервирования. В целом, половина отказов происходит из-за низкой эффективности средств контроля, не позволяющих оценивать возможное развитие дефектов на ранней стадии их возникновения [3]

Своевременное и качественное применение комплекса средств технического обслуживания позволит поддерживать работоспособное состояние изношенного электрооборудования, поскольку его полная модернизация потребует значительных единовременных капиталовложений, что в данное время для энергоснабжающих компаний не представляется возможным.

Обеспечение работоспособности сетей напряжением 0,4–10 кВ и повышение эффективности обслуживания возможно только при наличии научно обоснованного резерва запасных элементов. Согласно существующей системе технического обслуживания и ремонта элек-

трооборудования расчет количества запасных элементов проводят нормированным путем, исходя из списочного состава эксплуатируемого электрооборудования. При таком нормировании не принимается во внимание фактический спрос на запасные элементы.

Таким образом, необходимый уровень эксплуатационной надежности сетей можно обеспечить за счет своевременного предоставления информации о техническом состоянии электрооборудования с использованием современных средств диагностики, а также повышения качества профилактических и ремонтных работ. Стратегию обслуживания по фактическому состоянию сетей необходимо реализовать на основе непрерывного или оптимально-периодического диагностирования без вывода оборудования из работы. Научно обоснованные нормы резерва запасных элементов необходимо определить на основе учета фактического спроса и технического состояния сетей.

Решение всей проблемы улучшения эксплуатационных показателей распределительных сетей 0,4–10 кВ можно достичь проведением комплекса научно-исследовательских работ, направленных на реформирование, системную надежность и высокую энергоэффективность на основе постепенного перехода на технологическую платформу инновационной интеллектуальной энергосистемы.

#### Список использованных источников

1. Юсубалиев А. Анализ состояния электроэнергетической системы Узбекистана для улучшения её функционирования // Проблемы современной науки и образования. – 2022, №7, С. 11–14.
2. Лопатин, Е.И. Оценка организационно-технических мероприятий и повышения надежности электроснабжения // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2011, №1. – часть 1. – С. 2–224.
3. Рыбаков Л.М., Калявин В.П. Диагностирование оборудования систем электроснабжения. – Йошкар-Ола: Мар. кн. изд-во, 1994. – 196 с.
4. Рахматов А. Электр тармоқларда электр энергия исрофларини аниқлаш. // “Irrigatsiya va Melioratsiya”. – Тошкент, 2016. – №1. – С. 37–40.
5. Рыбаков Л.М., Халилов Ф.Х. Вопросы ограничения перенапряжений в сетях 6–35 кВ. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1991. – 131 с.
6. Лопатин, Е.И. Анализ надежности электрооборудования распределительных сетей напряжением 0,38...10 кВ // Сельский механизатор, – 2011, №6. – С. 30–31.

## **СЕКЦИЯ 2**

### **НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АПК**

**Андрейчик А.Е., ст. преподаватель,  
Клинцова В.Ф., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПРЕИМУЩЕСТВА БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ  
КОТЕЛЬНЫХ**

В настоящее время наблюдается ситуация, когда котельные нуждаются в модернизации технологического оборудования и системы управления. Если не затрагивать частный сектор, то подавляющее большинство тепловой энергии вырабатывается двумя способами: при помощи ТЭЦ и котельных. Причем в последнее время все более и более актуальным становится строительство котельных, это обусловлено возможностью максимально приблизить источник выработки тепловой энергии к ее потребителю, что дает ряд неоспоримых преимуществ при транспортировании теплоносителя и значительной экономии при прокладке коммуникаций. Среди котельных особого внимания заслуживают блочно-модульные котельные.

Блочно-модульная котельная (БМК) – это современная автономная котельная полной заводской готовности, которая представляет собой два или более блок-модулей с полностью смонтированным в заводских условиях всем необходимым оборудованием, объединенных в единую пространственную конструкцию (здание) без внутренних перегородок.

Главные преимущества блочно-модульных котельных от стационарных котельных заключаются:

- модульная котельная не нуждается в постоянном контроле оператора, а на случай возникновения различных внештатных ситуаций она оборудована системами внешней сигнализации;
- оборудование котельной работает в автоматическом режиме и регулируется при помощи нескольких наборов датчиков. Они контролируют температуру в различных отапливаемых помещениях, а

ее значение устанавливается при помощи пульта дистанционного управления;

- возможность создания установок различной мощности;
- производительность БМК можно варьировать в широких пределах;

- низкий вес котельной, позволяет устанавливать её на простой фундамент и даже без него, площадка должна быть достаточно ровной, способной выдержать вес БМК. Фундамент необходим, когда создается дымовая труба высотой более 10 м. В таком случае труба пропускается через крышу блока и для неё возводится опорная конструкция. В иных случаях для монтажа можно использовать песчаную подушку, которая покрывается гравием.

- возможность транспортировки, если котельную требуется переместить, то достаточно отсоединить линии коммуникации и демонтировать выступающую часть дымовой трубы. В том случае, когда котельная включает в себя несколько блоков, требуется их разъединение. На такие работы, в зависимости от сложности установки, требуется 1–2 дня.

- разнообразие используемого топлива (твердотопливные, жидкотопливные, газовые котельные);

- серьезным преимуществом (БМК) является и скорость подключения к существующей отопительной системе, которая гораздо выше, чем у любой стационарной сети. Кроме того, модульные котельные можно применять не только для постоянного подключения и отопления здания, но и для временного, что невозможно сделать, используя стационарную котельную ввиду повышенной трудоемкости ее монтажа и демонтажа. Чрезвычайно высокая скорость ввода в эксплуатацию – основная причина, по которой модульные котельные установки начинают вытеснять стационарные котельные там, где есть возможность их размещения и применения.

Главными экономическими показателями эффективности блочно-модульной котельной являются:

Годовая прибыль, тыс. руб

$$\Pi = c \cdot Q_{\text{отп}}^{\text{год}}$$

где  $c$  себестоимость тепловой энергии (БМК)

$Q_{\text{отп}}^{\text{год}}$  – годовая выработка тепловой энергии ГДж (Гкал)



Срок окупаемости,

$$T_{\text{ок}} = K / \Pi$$

где К – капитальные затраты тыс. руб. (блочно-модульная котельная с учетом монтажа и транспортировки, установка по подготовке топлива)

Список использованных источников

1. Модульная газовая котельная /А.В. Князев. – Энергоэффективность: опыт, проблемы, решения. 2000.

**Александрова А.А., ст. преподаватель,**

**Симачкова М.С., ст. преподаватель,**

**Дулепова Ю.М., ст. преподаватель**

**ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино**  
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ**  
**НАГРЕВА ВОДЫ ЗА СЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

На сегодняшний день, в связи с ростом тарифов на электрическую и тепловую энергию, сельскохозяйственные производители ищут пути решения по сокращению затрат на энергоресурсы. Одним из вариантов, которые рассматриваются активно последние 20 лет, является использование солнечной энергии.

Солнечное излучение применяется как для получения электрической энергии, так и для тепловой энергии, используемой для отопления помещения и для горячего водоснабжения [1]. Именно горячее водоснабжение потребляет до 15 % от общего потребления электрической энергии, и, поэтому данная работа посвящена рассмотрению данного вопроса.

Проанализировав публикации и изобретения по подборке «солнечные водонагреватели», видно, что количество статей увеличилось почти в 2 раза, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение по годам публикаций из подборки «солнечные водонагреватели»

| Год    | 2021 | 2020 | 2019 | 2018 | 2017 | 2016 | 2015 | 2014 | 2013 | 2012 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Статей | 14   | 13   | 5    | 14   | 7    | 8    | 8    | 4    | 3    | 6    |

Кроме этого, были рассмотрены типы солнечных водонагревателей, применяемых на сельскохозяйственных предприятиях, способы подключения и технические характеристики.

Одним из вариантов является разработанная Всероссийским научно-исследовательским проектно-технологическим институтом механизации и электрификации сельского хозяйства гелиоустановка для снабжения доильных площадок крупного рогатого скота горячей водой [2].

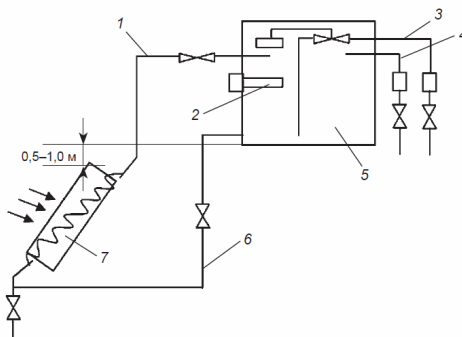


Рисунок 1 – Гелиоустановка для снабжения доильных площадок крупного рогатого скота горячей водой: 1 – трубопровод подачи теплой воды в аккумулятор; 2 – электроподогреватель воды; 3 – трубопровод подвода в аккумулятор холодной воды; 4 – трубопровод забора нагретой воды; 5 – бак-аккумулятор; 6 – обратный трубопровод; 7 – гелионагреватель.

Технологическая схема гелиоустановки представляет собой секцию гелионагревателей, которые соединены трубопроводами с баком-термосом. В каркасе гелионагревателя размещен зачерненный металлический радиатор с каналами для циркуляции воды, для улучшения тепловых характеристик гелионагреватель сверху покрыт стеклом, а снизу – слоем теплоизоляции.

Данная система работает без циркуляционного насоса. Экономия за счет применения гелиоустановки составит 8,5 тыс. кВт·ч, это около 65 % от всей потребляемой электрической энергии.

Еще одним способом нагрева воды на сельскохозяйственных предприятиях является применение солнечной водонагревательной установки УВС-30-1.

В устройстве использованы серийные стальные отопительные радиаторы типа РСГ-2 и автоматическое устройство на основе фотореле ФГ-2 для включения дублирующей системы. Экономия топлива до 9 т условного топлива в год.

Солнечные водонагреватели, рассмотренные выше, использующие как поглощающий элемент конструкцию крыши, имеют сезонный характер работы. Установки изготовлены с использованием пластического материала или стеклопластика, которые подвергаются влиянию перепада температур, что сокращает срок службы устройства для нагрева воды.

Для решения данной проблемы было сконструировано устройство для нагрева воды за счет солнечной энергии [3]. Данное устройство выполнено с использованием кровли крыши в качестве элемента солнечного коллектора.



Рисунок 2 – Солнечный коллектор

Такая конструкция позволяет сельскохозяйственным организациям не затрачивать большие площади для установки солнечных водонагревателей, не требует затрат на эксплуатацию. Кроме того, рассматриваемое устройство является частью сооружения – кровлей крыши, что удешевляет стоимость капитальных и эксплуатационных затрат.

#### Список использованных источников

1. Земсков, В.И. Возобновляемые источники энергии в АПК: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 368 с.
2. Сулейманов, М.Ж. Экспериментальное исследование теплотехнических характеристик солнечных коллекторов и водонагревательных установок. Диссертация на соискание кандидата технических наук. Москва. 2007. 130 с.

3. Патент на изобретение № 2672656 РФ, МПК F24S 10/55, F24S 10/70. Устройство для нагрева воды за счет солнечной энергии / Александрова (Маслова) А.А., Осокин В.Л. № 2016126648; опубл. 16.11.2018, Бюл. № 32.

**Арабей С.М., д.ф.-м.н., доцент,  
Станишевский И.В., к.ф.-м.н., доцент,  
Слонская С.В., к.х.н., доцент**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ФОРМИРОВАНИЕ В СИЛИКАТНОМ НАНОРЕАКТОРЕ**  
**ФОТОСТАБИЛЬНЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ ПРИМЕСНЫХ**  
**ЦЕНТРОВ ЗАМЕЩЕННОГО АІ-ФТАЛОЦИАНИНА**

Увеличение эффективности работы кремниевых солнечных элементов может быть достигнуто путем нанесения на их поверхность механически прочного и фотостабильного слоя из материала, способного преобразовать УФ излучение в фотолюминесцентное, лежащее на границе видимого и ближнего ИК диапазона. В настоящей работе представлены результаты исследования нанопористого силикатного материала полученного золь-гель методом (объемные гель-матрицы), допированного молекулами фенилтиозамещенного фиалоцианина ((PhS)<sub>4</sub>-PcAlOH), [1]. В перспективе, золь-гель пленки из аналогичного материала могут быть использованы в возобновляемых источниках энергии – в кремниевых солнечных элементах.

Как показал эксперимент (см. рисунок 1), длинноволновая Q-полоса поглощения (PhS)<sub>4</sub>-PcAlOH в высушенной нанопористой силикатной матрице претерпевают существенные спектральные смещения (гипсохромный сдвиг на 41 нм по отношению к жидкому золю). При этом наблюдается интенсивная флуоресценция примесных молекул и имеет место подобие спектров возбуждения флуоресценции спектрам поглощения, что свидетельствует о мономерной форме (PhS)<sub>4</sub>-PcAlOH в силикатной матрице.

Эволюция коллоидно-силикатной системы от состояния золя до прозрачной нанопористой твердой силикатной матрицы представляет собой сложный процесс испарения жидких компонент реакционной смеси из нанопор, усадку и увеличение её механической

прочности. Зависимость положения максимума  $Q$ -полосы поглощения  $(\text{PhS})_4\text{-PcAlOH}$  от длительности сушки силикатной матрицы имеет S-образный вид, который отражает эволюционный переход от состояния примесных молекул в объеме нанопор, до их взаимодействия с силикатным каркасом, т.е. указывает на временной процесс структурных перестроек примесных центров в силикатном нанопористом материале.

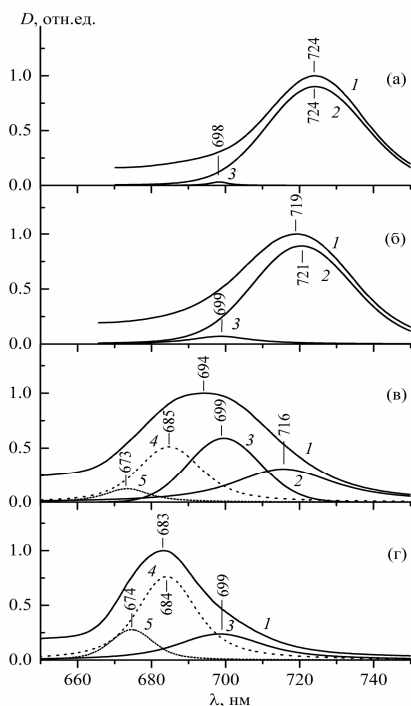


Рисунок 1 – Разложение длинноволновой полосы поглощения  $(\text{PhS})_4\text{-PcAlOH}$  в силикатном ксерогеле (кривые 1) на фойгтовские компоненты (кривые 2–5) после 4 (а), 10 (б), 25 (в) и 49 (г) сут сушки материала

Для установления связи временного сдвига максимума  $Q$ -полосы поглощения, а также изменения формы её контура, с механизмами и эволюцией превращений примесных центров формирующих данную полосу, было выполнено разложение контура на фойгтовские компоненты и определены их параметры для разных этапов сушки. Результаты разложения представлены на рисунке 1. Формирование разных типов примесных центров в нанопорах матрицы, свидетельствует о том, что матрица выступает в качестве твердотельного нанореактора.

На начальной стадии процесса сушки (до 10 сут) смещение максимума длинноволновой полосы поглощения незначительное.

Предположительно смещение вызвано уплотнением структуры геля и частичным вытеснением жидких компонент из нанопор матрицы. При сушке до 20–25 сут гипсохромный сдвиг  $Q$ -полосы дос-

тигает  $\sim 30$  нм, что может быть связано с интенсивным испарением растворителей (вода, этанол, формамид, ДМФА) из нанопор матрицы и, как следствие, с разрушением исходной сольватной оболочки молекул  $(\text{PhS})_4\text{-PcAlOH}$ . При этом, как показывают результаты разложения контура, возникает новая спектральная форма, гипсохромно сдвинутая до  $\lambda_{\text{max}} \approx 699$  нм (рисунок 1 а-г, кривые 3), максимальное содержание которой наблюдается после 25 сут сушки (рисунок 1 в). Можно полагать, что эта спектральная форма соответствует молекулам  $(\text{PhS})_4\text{-PcAlOH}$  в свободном состоянии (аналог газообразной фазы), поскольку поры матрицы уже практически полностью очищены от жидких компонентов и эффективно проявляются сорбционные свойства поверхности нанопор.

Далее происходит уплотнение структуры нанопористой матрицы, приводящее к значительному уменьшению размеров пор. При этом свободные молекулы  $(\text{PhS})_4\text{-PcAlOH}$  приближаются к поверхности нанопор, взаимодействуют с ней, что даёт начало формированию новых типов примесные центры. Как показывают результаты разложения  $Q$ -полосы, уже после 25 сут сушки (рисунок 1 в) в сложном контуре полосы появляются две заметные компоненты при 685 и 673 нм (кривые 4 и 5, соответственно). Дальнейшая сушка матрицы, приводящая к образованию ксерогеля, показывает, что эти компоненты усиливаются с одновременным ослаблением компоненты 3 (рисунок 1 г). Образование, накопление и стабилизация новых спектральных форм при 684 и 674 нм можно связать с процессами химического взаимодействия молекул  $(\text{PhS})_4\text{-PcAlOH}$  с реакционными центрами поверхности нанопор силикатной матрицы. По мере заполнения таких реакционных центров скорость спектрального смещения экспериментальной многокомпонентной  $Q$ -полосы замедляется, и S-образная кривая после 40 сут сушки достигает стационарного состояния.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке БРФФИ (договор №Ф21МС-017).

#### Список использованных источников

1. Спектральные и агрегационные свойства молекул фенилтиозамещенного Al-фталоцианина в нанопористых силикатных матрицах /С.М. Арабей [и др.]// Журн. прикл. спектроск. – 2022. – Т. 89, № 2. – С. 145–152.

Барайшук С.М.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., доцент, Голосов Д.А.<sup>2</sup>, к.т.н., доцент,  
Михалкович О.М.<sup>3</sup>, к.ф.-м.н., Хуан Х.Л.<sup>4</sup>, магистр физики

<sup>1</sup>Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Минск

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники, Минск

<sup>3</sup>Белорусский государственный педагогический университет  
имени Максима Танка, Минск

<sup>4</sup>Чжоньданский педагогический университет, Чжоньдан, КНР

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОДЯЩИХ И ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЛОЕВ СЕНСОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОБАЛОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ TI В V**

**Введение.** Исследования в области сенсорики активно развиваются и имеют широкое практическое применение. Актуальны разработки и исследование материалов, позволяющих выполнять интеграцию сенсорных структур с микроэлектронными и микромеханическими системами на физическом уровне, позволяющем реализовать такое решение с применением существующих или перспективных промышленных технологий. Разработка сенсорных структур одно из ведущих направлений в создании новейших технологий мониторинга и диагностики биологических, природных, медицинских объектов и глобальных систем [1-3].

### **Объекты исследования и эксперимент.**

Пленки оксида ванадия наносились методом импульсного реактивного магнетронного распыления V мишени (чистота 99,96 %) в среде Ar/O<sub>2</sub> рабочих газов. Схема установки магнетронного нанесения и методика проведения экспериментов по нанесению пленок описана в работе [2]. Пленки наносились на структуры Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si, Ti/Si и Ti/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si при следующих условиях: ток разряда It = 1,5 А, потоки аргона и кислорода Q<sub>Ar</sub> = 50 мл/мин, Q<sub>O<sub>2</sub></sub> = 10 мл/мин. Напряжение разряда составляло 525 В. Толщина пленок порядка 150 нм. Исследовалась поверхность пленок, которые подвергались отжигу в атмосфере кислорода на установке инфракрасного нагрева при температуре от 100 до 450 °С. Время отжига от 10 до 120 мин. Атомно-силовые изображения поверхности и данные по 8 па-

раметрам топографии получены методом атомно-силовой микроскопии (NT 206 Microtestsmachines Co.) в контактном режиме.

Изображения поверхности структур VO/Ti/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si полученные методом атомно-силовой микроскопии представлены на рисунке 1. Для данных образцов перед получением сенсорного слоя оксида ванадия на поверхность структуры Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si, предварительно, методом магнетронного распыления, наносился тыльный проводящий контакт Ti. После чего, формировалось покрытие VO<sub>x</sub> из ванадиевой мишени (чистота 99,96 %).

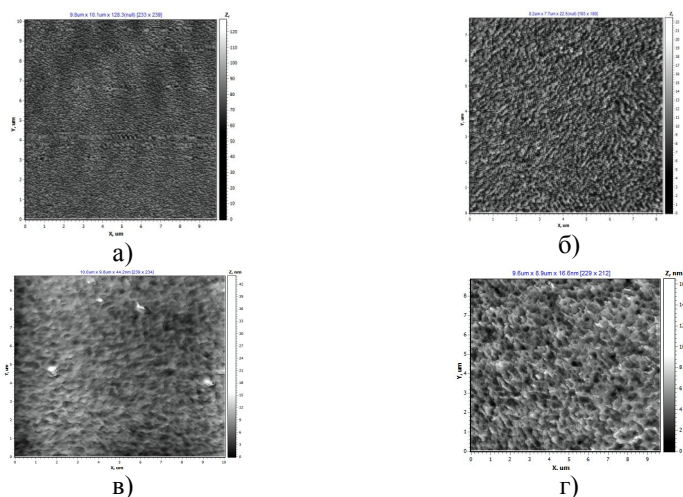


Рисунок 1 – АСМ изображения поверхности структур V/Ti/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si без отжига – (а), с отжигом при температуре 200 °С – (б), 300 °С – (в), 400 °С – (г).

Атомно-силовые изображения поверхности пленок оксида ванадия, отожженных при различной температуре (время отжига  $t = 10$  мин) хорошо согласуются с представленными в работе [5] оптическим изображением пленок. Пленки оксида ванадия без отжига имеют низкую шероховатость (0,6 нм по площадке 10x10мкм<sup>2</sup>) поверхности (рисунок 1 а). После отжига при температуре 200 °С поверхность становилась более однородной, происходит снижение шероховатости (таблица 1), однако такой отжиг не приводит к формированию на поверхности зеренной структуры. Процессы рекристаллизации и формирования зеренной структуры на поверхности наблюдаются при температурах более 300 °С (рисунок 1 в, г).



При этом явно определяется зеренная структура в виде ячеек кристаллитов размером до 60–90 нм, что так же хорошо согласуется с данными приведенными в работах [5].

Таблица 1 – Шероховатость поверхности получаемых структур (в нм)

| Температура отжига, °С | Поверхность структуры                 |                                         |                                      |                                    |
|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
|                        | Ti/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /Si | V/Ti/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /Si | V/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /Si | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /Si |
| 200                    | 0,5                                   | 0,4                                     | 0,5                                  | 0,8                                |
| 300                    | 0,4                                   | 0,2                                     | 0,2                                  | 0,8                                |
| 400                    | 0,3                                   | 0,2                                     | 0,2                                  | 0,9                                |
| Без отжига             | 0,6                                   | 0,6                                     | 0,5                                  | 1,2                                |

При увеличении температуры отжига размеры зерен увеличивались, что приводило к формированию на поверхности сплошной зеренной структуры. Размеры зерен по ширине составляли 50–90 нм и длинной достигали 140–180 нм (рисунок 1 в, г), однако шероховатость такой поверхности остается низкой, что связано с «деградацией» поверхностных структур. При этом начинает идентифицироваться упорядоченное ориентирование таких зерен в масштабные кристаллиты, что, соответствует СЭМ приведенной в работе [4].

Для подтверждения гомогенности поверхности сформированных покрытий также проводилось определение гидрофильности методом “сидячей капли”. Смачиваемость дистиллированной водой оценивалась равновесным краевым углом смачивания (РКУС) по математически смоделированным изображениям контура сидячей капли, которые получены на ранее описанной установке [7]. Значение РКУС водой (при 20-ти секундной стабилизации) поверхности систем V/Ti/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si с температурами отжига более 200 °С варьировалось в диапазоне 40–42°. Значение РКУС водой (при 20-ти секундной стабилизации) поверхности систем V/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si с температурами отжига более 200 °С при 20-ти секундной стабилизации определялось в диапазоне 22–24°. Стабильность гидрофильности для различных температур отжига соответствующих образцов, подтверждает идентичность морфологии покрытий, получаемых описанным способом.

Таким образом структура поверхности VO<sub>x</sub> осажденных на Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si с предварительным осаждением Ti тыльного электрода и без него оказались схожи, шероховатость таких покрытий при температуре отжи-

га более 300 °С, низкая и составляет 0,2 нм по площадке 100 мкм<sup>2</sup>, что позволяет говорить о их идентичных свойствах и указывает на возможность, аналогичную показанной в работе [8] использовать Ti покрытия для формирования тыльных контактов сенсорных элементов, а всю структуру VO/Ti/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si в качестве термочувствительного элемента интегрированных сенсорных элементов.

Проведение исследования состава подложки и влияния температуры отжига в атмосфере кислорода на структуру и характеристики топографии пленок оксида ванадия, показали, что процессы формирования зеренной структуры наблюдаются при температурах более 300 °С. В результате отжига пленок в атмосфере кислорода при температурах 400 °С формируются покрытия по структуре и шероховатости идентичные и не зависящие от состава подложки, что показывает принципиальную возможность получения пленок с управляемыми сенсорными свойствами и представляет направление использования данных пленок в качестве термочувствительных слоев микроболометров. Разработанные при этом системы могут найти применение при создании сенсорных микро-наносистем. Работа выполнена при поддержке Министерства образования Республики Беларусь № ГР 20211250 и № ГР 20211394.

#### Список использованных источников

1. Балышева, О.Л. Разработка информационно-справочной системы компонентов на ПАВ /О.Л. Балышева, Ю.Г. Смирнов, Л.П. Коновалова //Микросистемная техника, №10, 2003. – С. 6–9.
2. Злотопольский, В.М. Сорбционно-частотные датчики и биосенсоры для контроля состава газов и жидких сред / В.М. Злотопольский, А.А. Родникова // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2002. – Т. 36. – № 1. – С. 5–11.
3. Особенности развития и внедрения медицинских биосенсоров в Российской Федерации / А.А. Балякин, А.С. Малышев, М.В. Мамонов, С. Б. Тараненко // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–7. – С. 1558–1562.
4. Tashlykov I. et al. Surface Properties of Me/Si Structures Prepared by Means of Self-Ion Assisted Deposition //Acta Physica Polonica, A. – 2014. – Т. 125. – № 6.
5. Нгуен Т.Д., Занько А.И., Голосов Д.А., Завадский С.М., Мельников С.Н., Колос В.В. Электрофизические свойства пленок оксида ва-

надия, нанесенных методом реактивного магнетронного распыления. Доклады БГУИР. 2020; 18(6): 94–102.

6. Нгуен Т.Д., Занько А.И., Голосов Д.А., Завадский С.М., Мельников С.Н., Колос В.В., То Т.К. Влияние отжига на структурно-фазовые и электрофизические свойства пленок оксида ванадия. Доклады БГУИР. 2021; 19(3): 22–29.

7. Автоматизированный комплекс для измерения равновесного краевого угла смачивания на плоских поверхностях /Патент РБ 7074 по заявке 20100661, от 12.10.2010 //Е.П. Макаревич, И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук, М.А. Андреев.

8. Барайшук С.М., Гременок В.Ф., Тульев В.В., Ташлыков И.С. "Изучение поверхности структур металл/кремний, приготовленных ионно-ассистированным нанесением покрытий". ФХОМ 1 (2011): 66.

**Вертель М.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., Барайшук С.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
Туровец А.<sup>1</sup>, Щербак В.<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Институт физики, университета М. Кюри-Склодовской,  
Люблин, Польша,**

**<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Минск**

## **ФОРМИРОВАНИЕ САМООЧИЩАЮЩЕГОСЯ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ**

**Введение.** Осаждение светопрозрачных коррозионно-стойких самоочищающихся защитных покрытий является перспективным направлением формирования поверхности солнечных элементов. Такие покрытия позволяют создать верхний слой, сочетающий защитные и проводящие свойства, оставаясь при этом светопрозрачным, что является актуальной задачей для солнечной энергетики позволяя уменьшить затраты на очистку солнечных панелей и формируя на их поверхности слой препятствующий появлению биологических загрязнений [1]. В нашей работе исследовались закономерности влияния нанесения покрытия на шероховатость и смешиваемость поверхности образцов перспективных халькогенидных фотопреобразователей [2]. Образцы фотопреобразователей модифицировались нанесением Mo содержащего покрытия при ускоряющем потенциале

3–7 кВ и разном времени нанесения. Состав кристаллическая структура и оптические свойства тонких пленок  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$  изучены ранее в [3–4]. Изучение топологии проводилось с применением атомно-силового микроскопа NT 206 в сочетании со сканирующей электронной микроскопией с использованием EDX Oxford Instruments AZtecEnergy-Advanced с кремний-дрейфовым детектором Vega3 TESCAN при ускоряющем потенциале электронов от 5 до 20 кВ.

**Результаты и обсуждение.** Измерения равновесного краевого угла смачивания дистиллированной водой поверхности исходного стекла ( $25,1^\circ$ ) и стекла, модифицированного ионно-ассистированным нанесением Mo, ( $56,7^\circ - 87,4^\circ$ ) выявили значительное влияние модифицирования и меньшее влияние интегрального потока на значение РКУС (таблица 1). Следовательно, нанесением Mo-содержащего покрытия с разными интегральными потоками можно управлять смачиваемостью его поверхности водой, и как показано ранее [1], при углах смачивания более  $80^\circ$  добиться эффекта самоочистки за счет скатывания капель с поверхность фотоэлемента.

Таблица 1. Параметры поверхности нанесенного покрытия

| Параметры                | Исходная поверхность | Интегральный поток $F, \cdot 10^{16} \text{ ат/см}^2$ |       |       |       |       |
|--------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                          |                      | 1,2                                                   | 3,2   | 5,2   | 8,1   | 11    |
| $R_a$ , нм               | 2.2                  | 1.8                                                   | 2.0   | 2.7   | 2.3   | 2.3   |
| $Z_{\text{mean}}$ , у.е. | 221.7                | 245.9                                                 | 280.6 | 273.3 | 282.0 | 279.8 |
| Светопрозрачность        | 100                  | 56.9                                                  | 73.6  | 84.5  | 78.1  | 96.5  |
| Угол смачивания $^\circ$ | 25.1                 | 62.8                                                  | 87.4  | 69.7  | 60.8  | 56.7  |

Однако такой оптимальный эффект достигается не при уменьшении и шероховатости, что очень хорошо соответствует интегральному потоку нанесения покрытия  $3,2 \cdot 10^{16} \text{ ат/см}^2$ . Однако такое покрытие снижает светопропускание а значит и эффективность солнечных элементов на 26,4 %. Как видим, используемые в данном эксперименте интегральные потоки позволяют получить равномерное и сплошное покрытие согласно данным качественного описания эволюции тонких пленок синтезированных на аморфных и поликристаллических подложках.

Модификация поверхности стекла нанесением Мо-содержащего покрытия с различными интегральными потоками позволяет управлять смачиваемостью его поверхности водой. Нанесение Мо покрытия на стекло способствует уменьшению степени гидрофильности поверхности в 1,88–2,61 раза. Дальнейшее исследование данного явления планируется выполнить в будущем в попытке определить более перспективные режимы нанесения позволяющие не столь значительно снижать эффективность солнечных элементов.

**Заключение.** При ионно-ассистированном нанесении Мо – покрытий качества поверхности перспективных солнечных элементов высокое и удовлетворяет требованиям по прочности, гидрофобности и шероховатости для формирования самоочищающихся поверхностей, что позволяет рассматривать возможность применения таких покрытий в качестве лицевых контактов. Однако, несмотря на то, что нанесение таких покрытий оказывает малое влияние на их морфологию и шероховатость поверхности и, светопропускание такого покрытия не точно высокое, что негативно сказывается на эффективности солнечного элемента и требует дальнейшей оптимизации параметров получения покрытий.

#### Список использованных источников

1. Paranthaman M.P., Wong-Ng W., Bhattacharya R.N. Semiconductor Materials for Solar Photovoltaic Cells. Springer International Publishing, 2016. 25 p.
2. Станчик, А.В., Барайшук, С.М. и др./ Исследование тонких пленок  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  методом атомно-силовой микроскопии // «Весці НАН Беларусі.Серыя фізіка-матэматычных навук». – 2016. – № 4. – С. 67–75.
3. Структура поверхности металлических прекурсоров Cu-Zn-Sn, послойно электрохимически осажденных на подложки Мо/стекло и Мо-фольга / С.М. Барайшук [и др.] // Весці БДПУ. Сер. 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2017. – N 4. – С. 5–10.
4. Кристаллическая структура и оптические свойства тонких пленок  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$  / А. В. Станчик [и др.] // Весці БДПУ. Сер. 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2021. – N 2. – С. 13–19.

**Гаель И.А., ст. преподаватель,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ГАЗИФИКАЦИЯ КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ  
И НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

Ресурсы нетрадиционных возобновляемых источников энергии принято оценивать по их возможному вкладу в энергетический баланс, важно правильно оценить их долю, технически и экономически оправданную для применения. В настоящее время возобновляемые энергоресурсы используют незначительно. Их применение крайне заманчиво и многообещающее, но требует расходов на развитие соответствующих техники и технологий. Основными потребителями возобновляемых энергоресурсов могут стать объекты сельского хозяйства.

Охарактеризуем возможности применения местных и альтернативных энергетических источников наиболее приемлемых для применения в АПК, а именно: различные виды биомассы, отходов сельскохозяйственного производства и твердых бытовых отходов. По типу энергетических процессов, связанных с переработкой биомассы, рассматривают следующие методы:

Последние десятки лет во всем мире усиленно работают над практическим применением возобновляемых и нетрадиционных источников энергии. Применение данных источников энергии поможет решать в основном локальные задачи энергообеспечения и послужит необходимым дополнением к традиционной энергетике на органическом топливе и ядерной энергетике [3].

В течение последних десяти лет для сжигания твердых топлив и горючих отходов, кроме традиционных технологий и оборудования, используют простейшие газогенераторные установки типа Пинча, позволяющие проводить двухстадийное сжигание в тонком слое с высоким КПД и хорошими экологическими показателями

Они пригодны в качестве предтопка при переводе жидкотопливных котлов и теплогенераторов на твердое топливо, а также в качестве топочного устройства при получении газообразных теплоносителей – теплого воздуха или дымовых газов с высокой температурой в различных технологических процессах. Газ, получае-

мый в результате процесса, обладает высокой теплотворной способностью (до 4000 – 5000 ккал/м<sup>3</sup>) и при сгорании достигает температуры 800–1000°C. Данный способ позволяет утилизировать негалогеносодержащие полимерные отходы с увеличением мощности газогенератора не менее, чем на 10–20 %

Отличительной особенностью процесса газификации является то, что сжигание ведут с пониженной подачей окислителя в зону горения. Процесс является результатом взаимодействия трех основных компонентов: топлива, окислителя (воздуха) и влаги топлива.

В газогенераторах используется в качестве топлива предварительно обработанное топливо (дробление, прессование, брикетирование). При этом топливо последовательно проходит ряд термохимических превращений (сушку, возгонку и пиролиз), которые заканчиваются при температуре 800 °С, а в реакционной зоне (зоне горения) температура повышается до 1000–1200 °С из-за горения углерода и водородсодержащих компонентов. Такой уровень температур в зоне горения обусловлен особенностью процесса газификации: объем подаваемого окислителя в зону горения составляет 0,3–0,5 от объема, необходимого для полного сгорания топлива. Это дает возможность образовать в аппарате восстановительный участок в виде слоя углей, где и происходит образование генераторного газа за счет частичного восстановления углекислого газа до окиси углерода, а водяного пара – до водорода и метана. Вследствие этого основными горючими компонентами генераторного газа являются окись углерода, водород, метан. В реальном процессе газификации качество газа ухудшается за счет наличия в нем CO<sub>2</sub> и азота. Неполная реализация топлива и неизбежные затраты на восполнение потерь тепла в окружающую среду также снижают КПД установок газификации. Считается целесообразным вести процесс при температурах в реакционной зоне 850–1100°C [2]. В настоящее время планируется использовать в малой энергетике горючие отходы растениеводства, совместно с полимерными органическими отходами (изношенные шины, отходы пластмасс и др.), общий ежегодный энергопотенциал которых составляет 1,1–1,5 млн т у.т.

#### Список использованной литературы

1. Соловьев В.Н., Бида Л.А. Обработка элементов газификации местных видов топлива органических отходов в обращенном режиме. // Минск. – 2003.

2. Левченко С.А., Возможности применения нетрадиционных источников энергии в Беларуси. // НАНБ, 1998.

3. Крутов А.В. Использование региональных возобновляемых и вторичных энергоресурсов в сельскохозяйственном производстве // Аграрная энергетика в XXI веке: Материалы межд. научн.-техн. конф. Мн., 2001. С. 191–193.

**Гаель И.А., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ДРЕВЕСНЫЕ ОТХОДЫ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ  
В АПК**

Древесина – сырье, которое не утратило свое значение. При этом этот ресурс хоть и относится к возобновляемым, но обновление лесов не успевает за тем, с какой скоростью они потребляются. Ситуацию осложняет большое количество древесных отходов, которые образуются при спиле и обработке леса и представляют собой различные части дерева. По некоторым подсчетам величина побочных продуктов достигает 50 %. Точная цифра зависит от вида конечной продукции, получаемой из дерева.

В таких странах, как Канада, США, Швеция и др., стараются уменьшить величину образующихся и неиспользованных отходов.

Наша страна пока значительно уступает другим государствам в этом вопросе в связи с отсталостью технологий обработки дерева и переработки некондиционных остатков, отличающихся друг от друга по различным признакам.

Получение готовой продукции из дерева укладывается в две основные стадии. Стадийность является одним из параметров классификации образующихся отходов.

Во время лесозаготовительных работ получают и побочный некондиционный продукт в виде различных частей растения: ветки, листья, побеги, сучки, пни, корни, отрезки, опилки, обломки от стволов деревьев и прочее. Частично подготовленный лес попадает на стадию обработки сырья. Деревообработка может быть первичной и вторичной. В первом случае получают фанеру, спички, шпалы, шпон, различные пиломатериалы. Они могут использоваться самостоятельно либо поступать на этап вторичной деревообработ-



ки, например, для конструирования мебели, домов, музыкальных инструментов, оконных блоков и т. п.

В результате помимо основной продукции получают такие отходы, как горбыль, щепки, опилки, обрезь, короткие куски, стружку, пыль древесную, кору и прочее.

Другая классификация древесных отходов основывается на их структуре и размерах. В соответствии с этим признаком выделяют 3 разновидности побочных продуктов деревозаготовки и обработки: кусковые отходы (рейки, горбыль, крупная обрезь и прочее); мелкие отходы (опилки и стружка); кора. Большинство некондиционных элементов может быть использовано. Способ применения зависит как раз от их размеров и структуры.

На сегодняшний день существует несколько способов использования древесных отходов:

Пеллеты. Получение из кусковых отходов мебели, паркета, бочек. Производство гипсодревесных плит, опилобетона и других стеновых и теплоизоляционных строительных материалов, а также ДВП и ДСП. Опилки используются на этапе обжига при производстве кирпича. Кору применяют в фармакологии в качестве фито-препарата. Крупные отходы являются отличным сырьем для целлюлозно-бумажного производства[2].

Деревоперерабатывающая промышленность оставляет после себя большое количество отходов, но их не надо утилизировать, экономически выгодно использовать их для изготовления нужных товаров и продуктов.

Существует и более рациональный способ использования опилок в качестве энергоносителя – прессование их в пеллеты, которые являются топливом для специальных котлов. Последние все чаще начинают использовать для отопления в частном секторе[3]. Переработка отходов лесопиления на местах производится частично и только крупными предприятиями. Поэтому им необходимо создавать единые сети для транспортировки и переработки некондиции.

Анализ существующих методов использования древесного топлива показал, что наиболее предпочтительными для применения в сельском хозяйстве в наших регионах являются методы термической переработки: сжигание, пиролиз и газификация. Путем газификации можно превратить низкосортное топливо (отходы), содержащее большое количество балласта (влага, зола) и обладающее низкой теплотой сгорания, в высококачественное газообразное топливо (газ с теплотой сгорания от 4 до 20 ГДж/м<sup>3</sup>).

Термохимический КПД установок газификации для различных видов топлива находится в пределах 70–75 % при использовании в качестве окислителя воздуха. Повышается до 85 % при использовании паровоздушного дутья или кислорода, либо при подаче газа на сжигание без его охлаждения.

Переработка отходов лесопиления на местах производится частично и только крупными предприятиями. Поэтому им необходимо создавать единые сети для транспортировки и переработки некондиции.

В соответствии с программой «Повышение энергоэффективности» процесс повышения энергоэффективности будет обеспечиваться за счет внедрения современных технологий, энергосберегающего оборудования. Направленных на развитие менее энергоемких производств, активизации работы по популяризации энергосбережения и рационального использования местных топливных энергетических ресурсов [4].

#### Список используемой литературы

1. Цыганов, А.Р., Ключков, А.В. Биоэнергетика : энергетические возможности биомассы – Минск, 2012. – 143с.
2. Вавилов А.В. Пеллеты в Беларуси: производство и получение энергии – Минск, 2012. – 162с.
3. Вавилов А.В. Биоэнергетическое сырье: задействовать резервы. « Энергоэффективность. – 2013 № 10. С. 38–40.
4. Государственная программа «Энергообеспечения на 2016–2020 г.

**Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, академик НАНБ,  
Клинцова В.Ф. ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ  
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ**

Переход аграрной энергетики на инновационный путь развития, вовлечение в топливно-энергетический баланс градообразующих агропромышленных предприятий, которые имеют биогазовый комплекс в составе автономного энергоцентра, является важной

проблемой, успешное решение которой во многом будет предопределять энергоэффективность, энергобезопасность, надежность энергообеспечения, перспективы повышения конкурентоспособность аграрного производства.

Высокая энергоемкость процессов производства в АПК и потребность в различных видах энергоресурсов позволяет рассматривать вовлечение местных энергоресурсов и современных конверсионных энерготехнологий как одно из основных направлений инновационного развития комплексных систем энергообеспечения агропромышленного предприятия.

При разработке комплексного энергообеспечения, энергоэффективности и энергобезопасности агропромышленного предприятия в качестве базовых приняты основополагающие документы, определяющие социально-экономическое развитие Беларуси и безопасное энергетическое обеспечение страны на период до 2025 г.

Предприятия представляют собой организационно-техническую систему, включающую подсистемы комплексного энергоснабжения и энергопотребления.

Основные подсистемы энергоснабжения: центральное газоснабжение природным газом, центральное и локальное горячее и холодное водоснабжение, центральное или местное электроснабжение, транспорт, заготовка, подготовка и снабжение местных возобновляемых энергоресурсов.

При решении задач комплексного энергообеспечения и энергобезопасности методология системно-ситуационного анализа, является одним из ведущих направлений в процессе разработке сложных и существенно неопределенных систем, которые принадлежат к целенаправленно развивающимся множествам сложной организационно-технической человеко-машинной структуры с биологическим характером объектов труда.

Главная идея системной теории состоит в том, что ни одно действие не предпринимается в изоляции от других. Каждое решение имеет последствия для всей системы, этот подход в управлении позволяет избежать ситуаций, когда решение в одной области превращается в проблему для другой, последнее предполагает разработку инструментария многофактурной оценки и прогнозирование на уровне концептуального проектирования.

Вовлечение в топливно энергетический баланс градообразующих агропромышленных предприятий местных энергоресурсов, преследует выполнение трех основополагающих задач: утилизации отходов сельскохозяйственного производства (по месту расположения биогазового комплекса, как правило, рядом с источником отходов), получения качественных органических удобрений (там же) и надежного и качественного энергоснабжения обогащенным газом.

Цель управления концептуальным проектированием является создание энергоэффективных конкурентно способных, эксплуатационных и экологически безопасных проектов комплексных энергосистем, соответствующих условиям устойчивого развития энергоснабжения агропромышленного предприятия с использованием автономных энергоцентров с использованием местных возобновляемых ресурсов.

На этапе поиска концептуального проектирования системы показывает статический анализ принимаемых решений, выбор мощности инновационных структур планируемых к разработке таких энергоинноваций обеспечивает возможность повышения их эффективности на один-два порядка, в то время как использования новых конструктивных решений позволяет повысить только на 10–50 %, а выбор оптимальных параметров на 2–7 %, снизить сроки разработки технического проекта в 1,5–2 раза с использованием опыта выявленных протатипов проектирования и эксплуатации энергосистем.

#### Список использованных источников

1. Герасимович Л.С. Методология научного обоснования аграрных комплексных энергосистем с использованием местных ресурсов / Л.С. Герасимович [и др.]. – Весці Нац. Акадэміі навук Беларусі, серыя агр. навук. – 2019. № 1. – С. 93–109.

2. Энергоэффективность аграрного производства/В.Г. Гусаков [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Отд. аграр. наук, Ин-т экономики, Ин-т энергетики; под общ. ред. акад. В.Г. Гусаков, Л.С. Герасимовича. – Минск: Беларуская наука, 2011.

3. Научные системы ведения сельского хозяйства Республики Беларусь / В.Г. Гусаков [и др.]; редкол.: В.Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.] / Нац. акад. наук Беларуси, М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь. – Минск: Беларуская навука, 2020.

**Герасимович Л.С., академик, Михайлов В.В., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК  
ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ  
И СВЕТОДИОДОВ ДЛЯ ТЕПЛИЦ**

В последние годы в мире значительно возрос интерес к облучателям со светодиодами для сооружений защищенного грунта. По прогнозам доля теплиц со светодиодными облучателями в 2022 году составит не менее 5 % [1]. Эффективные светодиодные облучатели все чаще находят замену облучателям с натриевыми лампами высокого давления. Несмотря на более высокую стоимость светодиодных облучателей они являются более энергоэффективными по сравнению с натриевыми лампами высокого давления, имеют более высокий КПД (до 45 %), обладают высокой механической прочностью, имеют увеличенный срок службы (до 100 тыс. ч.); безопасное напряжение питания и отсутствие зависимости работы при низких температурах. Но из-за высокой цены их использование требует технико-экономического обоснования, и при расчетах необходимо учитывать некоторые добавочные критерии: продолжительность срока службы, стоимость электроэнергии, затраты на обслуживание и ремонт и др. [2]. Определено положительное влияние излучения светодиодов на формирование растений рассады томатов и огурца при выращивании в условиях светокультуры [3], также выявлено раннее созревание рассады готовой к высадке. В некоторых исследованиях американских ученых особых различий в показателях роста, биологических характеристик качества выращиваемых культур при исследовании натриевых и светодиодных источников не выявлено [4].

Было проведено сравнение некоторых стоимостных показателей натриевых и светодиодных фитооблучателей со схожим фотонным потоком в области ФАР и дана сравнительная оценка эффективности натриевых ламп и светодиодных облучателей.

Критерием эффективности этих источников света была принята: эффективная отдача лампы, измеряемая в микромолях фотосинтетических фотонов на 1 джоуль энергии, потребляемой лампой; эффективность поглощения фотонов фотосинтетического

потока (PPF), (длины волн 400...700 мм), которая представляет собой долю фотонов, поглощенную листьями растения, в потоке излучаемом лампой.

Таблица 1 – Энергетическая эффективность отдельных светодиодов [2]

| Цвет          | Светоотдача, лм/Вт | Энергетическая эффективность, % |
|---------------|--------------------|---------------------------------|
| Холодно-белый | 111                | 33                              |
| Красный       | 47                 | 32                              |
| Голубой       | 17                 | 49                              |

У светодиодных фитооблучателей, у которых энергетически эффективные цвета находятся в красном и синем диапазоне длин волн фотосинтез и рост растений определяется количеством микромолей, которые потребляются растением (таблица 1).

В среднем срок службы фитооблучателей со светодиодами с сохранением 75 % от исходного светового потока обычно составляет около 50–55 тыс. часов, что составляет 16,7 лет при использовании 8 часов в день или 3000 часов в год. Экономический срок службы зависит от стоимости производимого вида продукции, т.е. облучаемой культуры. Техническое обслуживание светодиодных фитооблучателей дороже, чем замена газоразрядных ламп, также солнечное излучение может сокращать срок службы светодиодов из-за излишнего нагрева. Другие компоненты облучателей со светодиодами могут выйти из строя раньше, чем сами светодиоды [4].

Затраты на производство работ по монтажу светодиодных и HPS облучателей примерно сопоставима. А годовые затраты на техническое обслуживание невелики по сравнению со стоимостью потребляемой электроэнергии.

Далее представлен пример сравнительной оценки энергоэффективности светодиодных и облучателей с натриевыми лампами и светодиодными излучателями, где получено выражение взаимосвязи мощности светодиодных и натриевых облучателей [1]:

$$P_{LED} = 0,72 \cdot P_{HPS} - 31,85 \quad (1)$$

Из выражения (1) можно определить соотношение мощностей светодиодных и натриевых облучательных установок по стандартным значениям, в среднем оно составило 0,66 (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристики натриевых ламп высокого давления и светодиодных фитооблучателей с сопоставимой интенсивностью ФАР [1].

| <i>P<sub>led</sub></i> | <i>P<sub>hps</sub></i> | <i>P<sub>led</sub>/P<sub>hps</sub></i> |
|------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| 164                    | 250                    | 0,65                                   |
| 256                    | 400                    | 0,64                                   |
| 400                    | 600                    | 0,67                                   |
| 688                    | 1000                   | 0,69                                   |

Потребляемая активная мощность светодиодных облучателей меньше на 33 % по сравнению с натриевыми, при равном фотосинтетическом фотонном потоке. Однако из-за высокой стоимости их внедрение требует технико-экономического обоснования, включающего дополнительные критерии оценки (срок службы, эксплуатационные затраты, цену электроэнергии и др.). Использование фитооблучателей со светодиодами наиболее обоснованно в условиях управляемой светокультуры с учетом изменяющихся условий выращивания растений.

#### Список использованных источников

1. Прикупец Л.Б., Светодиоды в тепличном освещении: возможности и реальность // Светотехника. Специальный выпуск. 2019. С. 8–12.
2. Кондратьева Н.П., Филатов Д.А., Терентьев П.В., Аль-Хелю А.С. Сравнительная оценка основных характеристик натриевых и светодиодных тепличных облучателей // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. №1. С. 50–54. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-50-544.
3. Герасимович Л.С., Исследование влияния светодиодного освещения на рост томатов в теплицах / Л.С. Герасимович, В.В. Михайлов // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: сб. науч. ст. Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 23–24 ноября 2017 г. – Минск : БГАТУ, 2017. – С. 181–184.
4. Schwend T., Prucker D., Peisl S., et al. The rosmarinic acid content of basil and borage correlates with the ratio of red and far-red light. European Journal of Horticultural Science. 2016. 81. 5. 243–247.

Гурбанович А.В.<sup>1</sup>, Гурбанович А.В.<sup>1</sup>, Митюк В.И.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н.,  
Ткаченко Т.М.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
Головчан А.В.<sup>3</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
Вальков В.И.<sup>3</sup>, д.ф.-м.н., профессор, Суруев З.<sup>4,6</sup>, д.ф.-м.н.,  
Маширов А.В.<sup>5</sup>, к.ф.-м.н.

<sup>1</sup>Научно-практический центр НАН Беларуси  
по материаловедению, Минск

<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Минск

<sup>3</sup>Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина,  
Донецк

<sup>4</sup>Институт физики Университета М. Кюри-Склодовской,  
Люблин

<sup>5</sup>Институт радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН, Москва

<sup>6</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна  
**МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ  
В МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ПНИКТИДАХ МАРГАНЦА**

Изучение магнитных материалов на основе пниктидов марганца стимулировано обнаруженным в них разнообразием магнитных фазовых превращений и, как следствие, высоким значением обратного магнитокалорического эффекта [1], что позволяет значительно упростить конструкцию магнитных рефрижераторов и снизить тепловые потери [2]. Перспективным для магнитного охлаждения в криогенной области температур является сплав  $Mn_{2-x}Cu_xSb$ , в котором переход типа “порядок – порядок” наблюдается в районе 100 К [3]. Такие переходы порядок-порядок зачастую сопровождаются обратным магнитокалорическим эффектом.

Образцы были синтезированы методом прямого сплавления. Фазовый состав и параметры элементарной кристаллической ячейки определены при комнатной температуре методом рентгеноструктурного анализа с использованием  $CuK_\alpha$ -излучения. Для определения изотермического изменения энтропии в области фазового перехода были проведены измерения намагниченности в статических полях до 10Тл. Магнитные измерения были проведены на поликристаллических образцах по индукционной методике на вибрационном магнитометре (VSM) фирмы Cryogenic Limited.



Магнитокалорические характеристики рассчитывались косвенным методом на основе термодинамических соотношений Максвелла. Электронная структура и межатомные обменные интегралы рассчитывались полностью релятивистским ККР-ПКП методом (пакет SPRKKR v8.6 [4]).

В результате рентгеноструктурных исследований установлено, что сплав  $\text{Mn}_{1.9}\text{Cu}_{0.1}\text{Sb}$  обладает тетрагональной кристаллической структурой типа  $\text{Cu}_2\text{Sb}$  (группа симметрии  $P4/nmm$ ) с параметрами кристаллической решетки  $a=4.078 \text{ \AA}$ ,  $c=6.539 \text{ \AA}$ . Измерения намагниченности показали, что при охлаждении ниже  $100 \text{ K}$  образец испытывает фазовый переход.

Для расчета кристаллического потенциала использовалось приближение атомных сфер. Для обменно-корреляционной энергии выбрана аппроксимация, дающая наилучшее согласие рассчитанных магнитных моментов с экспериментальными. Использовано приближение локальной плотности без учета градиентных поправок. Межатомные обменные интегралы рассчитывались по методике, основанной на расчете вариации функционала полной энергии по отклонению выбранной пары спинов от положения равновесия. Параметры решетки определены по данным рентгеноструктурного анализа ( $a=4.078 \text{ \AA}$ ,  $c=6.539 \text{ \AA}$ ). В исследуемой структуре атомы Mn занимают позиции типа  $2a(0,0,0)$  и  $2c(1/4,1/4,z_1)$ , атомы Sb – позиции типа  $2c(1/4,1/4,z_2)$  пространственной группы  $P4/nmm$ . Параметры позиций  $z_1=0.2897$ ,  $z_2=0.7207$  соответствуют структуре чистого  $\text{Mn}_2\text{Sb}$ . Атомы Cu предполагались равномерно распределенными по позициям Mn. Рассматривались четыре типа магнитных структур – ферромагнитная (FM), ферримагнитная (FIM) и две антиферромагнитных (AF1, AF2). Ориентация магнитных моментов марганца в структуре AF1 соответствует антиферромагнитной структуре  $\text{Mn}_2\text{As}$  (магнитные моменты атомов  $\text{Mn}_I$  и  $\text{Mn}_{II}$  из соседних слоев направлены противоположно), а структура AF2 соответствует антиферромагнитной структуре  $\text{Fe}_2\text{As}$  (магнитные моменты атомов  $\text{Mn}_I$  и  $\text{Mn}_{II}$  из соседних слоев сонаправлены). Согласно данным расчетов, наименьшей энергией обладает FIM(-70727.47111598 Ry), далее следует FM(-70727.46506323 Ry), AF1(-70727.46152557 Ry) и AF2(-70727.41038789 Ry). Магнитные моменты атомов марганца составляют  $M(\text{Mn}_I)=3.2 \mu_B$ ,  $M(\text{Mn}_{II})=3.76 \mu_B$  и варьируются на  $0.1\text{-}0.3 \mu_B$  по величине при изменении ориента-

ции. Магнитные моменты атомов меди и сурьмы не превосходят  $0,2 \mu_B$ .

Спин-поляризованная плотность электронных состояний имеет типичную многопиковую структуру, характерную для соединений 3d-металлов. Основной вклад в формирование магнитных и транспортных свойств вносят d-электроны марганца. Сопоставление парциальных плотностей электронных состояний атомов марганца в FIM и AF1 структурах указывает на существенное изменение поведения плотности состояний  $Mn_I$  в окрестности уровня Ферми, что должно существенно повлиять на межатомные обменные взаимодействия  $Mn_I-Mn_I$  в рассматриваемом сплаве. Прямые расчеты межатомных обменных интегралов, проведенные для различных магнитных структур, подтверждают это предположение.

В результате проведенных исследований было обнаружено, что при изменении магнитного поля от 0 до 10 Тесла максимальное изменение магнитной энтропии для сплава  $Mn_{1,9}Cu_{0,1}Sb$  составляет  $\sim 2$  Дж/кг·К. Установлено наличие относительно резкого уменьшения намагниченности в области 100К, которое, согласно проведенным первопринципным расчетам можно интерпретировать как переходы антиферромагнетизм-ферромагнетизм. Наличие магнитного фазового перехода из ферромагнитного в антиферромагнитное состояние ( $\Phi \leftrightarrow A\Phi$ ) приводит к появлению обратного магнитокалорического эффекта, который, в отличие от ряда других соединений, сохраняется в магнитных полях вплоть до 10 Тесла, что делает перспективным использование  $Mn_{1,9}Cu_{0,1}Sb$  в качестве рабочего тела для магнитных рефрижераторов.

#### Список использованных источников

1. Shen Q., Batashev I., Zhang F. et al. // Journal of Alloys and Compounds. 2021. V. 866. P. 158963. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.158963>.
2. Zhang H., Gimaev R., Kovalev B. et al. // Physica B: Condensed Matter. 2019. V.558. P.65. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2019.01.035>
3. Matsumoto Y., Matsubayashi K., Uwatoko Y. et al. // AIP Conf.Proc. 2015. V. 1763. P. 020005. <https://doi.org/10.1063/1.4961338>
4. Вальков В.И., Головчан А.В. // ФНТ. 2008. Т.34. №1. С. 53.

**Дворник Г.М., к.п.н., доцент, Крутов А.В., к.т.н., доцент,  
Зайцев Е.В., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА РАЗВИТИЕ  
НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В АПК**

Известный лозунг периода революционных преобразований в СССР – кадры решают все, является актуальным и по сей день. Широкое внедрение нетрадиционных источников энергии в АПК напрямую зависит от компетентности специалистов, работающих в этой отрасли. Однако по данным направлениям деятельности наши вузы специалистов практически не готовят. Необходимый объём новых компетенций в ходе профессиональной деятельности приобретается в рамках переподготовки, повышения квалификации либо самообразования. Эффективность этого направления работы во многом зависит от уровня развития образовательной среды региона.

**Образовательная среда** – это психолого-педагогическая реальность, сочетание уже сложившихся исторических влияний и обстоятельств, направленных на формирование и развитие личности.

С точки зрения синергетики **образовательная среда** – это системно образованное пространство, в котором реализуется взаимодействие субъектов образовательного процесса с внешней средой, в результате чего раскрываются индивидуальные черты личности обучаемого.

Анализ научных работ позволяет рассматривать образовательную среду вуза как сложную интегративную систему, включающую совокупность всех социальных, материальных, организационно-педагогических и психологических условий и постоянно развивающихся взаимодействий всех участников образовательного процесса, направленных на их эффективное личностно-профессиональное развитие и самореализацию [1].

Современные специалисты погружены в новую глобальную (преимущественно стихийную) виртуальную информационную среду. Они активно обращаются к Интернет-ресурсам, электронным библиотекам, пользуются электронными учебниками, а также общаются в различных социальных сетях. По доступности и объёму информации электронные ресурсы намного опережают традиционные бумажные носители. Одной из важнейших задач вуза в

этих условиях является обеспечение достойного качества его виртуальной информационной среды (понимаемой в широком смысле слова, а не только как конкретную обучающую программу), гармонично интегрируя ее с образовательной средой страны. Подобная интеграция усилит культурный и научно-образовательный потенциал вуза и повысит эффективность коммуникации всех субъектов образовательного процесса.

Проведенный ИИТО ЮНЕСКО анализ распространения открытых образовательных ресурсов в Азербайджане, Армении, Беларуси, Казахстане, Кыргызстане, Молдове, РФ, Украине и Узбекистане подтвердил, несмотря на то, что вопросам информатизации систем образования в этих странах уделяется серьезное внимание, в большинстве из них идеи и принципы открытого образования и ООР пока недостаточно широко известны, а их потенциал для расширения доступа к образованию и повышения его качества остаются недооцененными [2]. В каждой из этих стран имеются виртуальные коллекции и хранилища образовательных ресурсов, к которым возможен свободный доступ через Интернет. Однако крупные депозитарии, количество ресурсов в которых превышает тысячу, пока немногочисленны.

Исследование подтвердило, что идея открытого образования пока не получила широкого признания, и странам СНГ предстоит долгий путь прежде чем они будут интегрированы в глобальное открытое образовательное сообщество. В результате исследования выяснилось, что лишь к очень незначительной части ресурсов, опубликованных в открытом доступе в СНГ сегменте Интернета, применимо определение ООР, принятое ЮНЕСКО: «ООР – учебные и научные ресурсы, существующие в открытом доступе или выпущенные под лицензией, которая разрешает их бесплатное использование и модификацию третьими лицами».

Теоретический анализ научных исследований и нормативно-правовых документов в области образования показал, что разработка и внедрение электронных образовательных ресурсов является одним из ключевых направлений развития и совершенствования национальной системы образования [3].

Электронные образовательные ресурсы обеспечивают создание современной инфраструктуры в высших учебных заведениях и являются основой образовательной среды определяющей вектор развития науки в государстве. Поэтому развитие и использование не-

традиционных источников энергии в АПК напрямую увязано с развитием образовательной среды и ее основных компонентов – современных электронных образовательных ресурсов.

#### Список использованных источников

1. Жук О.Л. Виртуальная образовательная среда вуза как фактор личностно-профессионального развития будущего специалиста// сб. научных статей, Габрово 2011. – С. 133–137.
2. СНГ на пути к открытым образовательным ресурсам// Аналитический обзор ЮНЕСКО – М., 2011. – С.8
3. Мусаев Ш.Р. К вопросу о структуре электронного образовательного ресурса //Мир науки, культуры, образования, 2020. №5. С. 201–209.

**Зыкун А.С., Плискевич Е.В., Чеботарёв В.П., д.т.н., профессор  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА  
В ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИНАХ  
КАК СРЕДСТВО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

В подготовке почвы под посадку картофеля с целью энергосбережения наблюдается тенденция минимизации приёмов обработки почвы и дифференциации способов обработки почвы в зависимости от ее окультуренности, механического состава и природно-климатических условий.

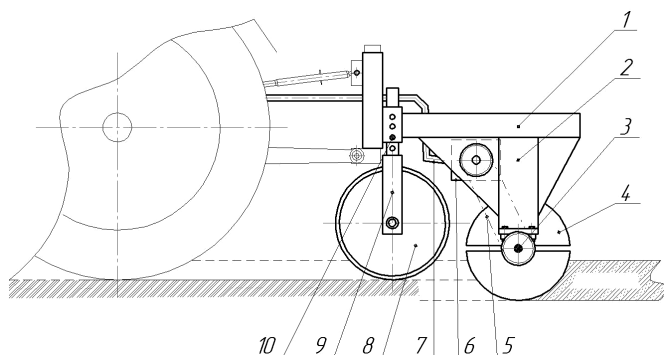
Рациональное использование энергетических средств, природных и материальных ресурсов, а также самой почвы при возделывании картофеля требует наряду со снижением числа обработок (экономия энергоресурсов, сохранение влаги), применение приемов как разового, так и продолжительного действия [1].

Подготовка почвы является самым энергоёмким, дорогостоящим и ответственным этапом в растениеводстве. От качества и своевременности проведения предпосевной обработки при посеве овощных культур, напрямую зависит урожайность и экономическая эффективность их возделывания.

Сейчас в Республике Беларусь, в странах СНГ и зарубежом для подготовки почвы под посев сельскохозяйственных культур при-

меняют почвообрабатывающие машины с активными рабочими органами. Этот тип машин создаёт мелкокомковатую структуру почвы за счет послойного отрезания стружки от почвенного массива, интенсивного крошения и перемешивания рабочими органами. Поэтому они нашли достаточно широкое применение при предпосевной обработке почвы, особенно на тяжёлых и средних по механическому составу почвах. Машины данного типа отличают высокое качество крошения обработанного слоя почвы на полях с любым механическим составом, а также возможность увеличения периода их использования. Увеличение периода использования связано с обеспечением требуемого качества обработки как в более ранние сроки при повышенной влажности, так и в более поздние при низком ее содержании, что невозможно выполнить машинами с пассивными рабочими органами [2].

Для подготовки почвы под посадку корнеплодов в БГАТУ разработан гребнеобразователь с активными полудисковыми рабочими органами [3]. Конструкция машины (рисунок 1) включает в себя раму 1, две вертикальные стойки 2, рабочий вал 3 с полудисками 4, закреплёнными под углом, а также механизм привода 5. Привод рабочего вала – от двух гидромоторов 6 через цепную передачу 5.



1 – рама; 2 – стойка; 3 – рабочий вал; 4 – полудиск; 5 – привод рабочего вала;  
6 – гидромотор; 7 – гидролиния; 8 – колесо опорное; 9 – стойка колеса опорного;  
10 – механизм регулировочный.

Рисунок 1 – Схема гребнеобразователя с активными полудисковыми рабочими органами

Применение гидравлического привода объясняется целым рядом его преимуществ по сравнению с другими типами приводов: высокая компактность при небольших массе и габаритах гидрообо-

рудования; возможность реализации больших передаточных чисел; небольшая инерционность, обеспечивающая хорошие динамические свойства; бесступенчатое регулирование частоты вращения рабочего органа для работы на разных видах почв; удобство и простота управления; надежное предохранение от перегрузок приводного двигателя; применение унифицированных сборочных единиц (насосов, гидромоторов, гидроклапанов, гидрораспределителей, фильтров, соединений трубопроводов и другое).

Гребнеобразователь (рисунок 2) позволяет получить мелкокомковатую профилированную поверхность в виде гребней правильной геометрической формы высотой 18–20 см при ширине междурядий 70 см (рисунок 3), что создаст благоприятные условия для посева семян, развития растений, а также для работы агрегатов по уходу за ними. Создание профилированной поверхности способствует снижению затрат труда не только при подготовке почвы, но и при последующем уходе за посадками, и уборке культур.



Рисунок 2 – Роторный гребнеобразователь



Рисунок 3 – Профилированная поверхность

Использование гидравлического привода рабочих органов с низкой металлоемкостью, надежной защитой исполнительных органов от перегрузок позволит эксплуатировать агрегат в различных почвенно-климатических условиях на почвах разного механического состава с высокими технико-экономическими показателями, низкими затратами энергии и расхода топлива.

#### Список использованных источников

1. Холодок Л.А., Лахмаков В.С. Водно- и энергосберегающие технологии в Агропромышленном комплексе. Монография – Мн., 2004. – 264 с.

2. Яцук Е.П., Панов И.М. и др. Ротационные почвообрабатывающие машины. – М.: Машиностроение, 1971. – 256 с.

3. Роторный рабочий орган для гребнеобразования: патент на полезную модель 6392U, МПК А01В 13/02 / Зыкун А.С., Лахмаков В.С. и др.; опубл. 30.08.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 4. – С. 157.

**Коровкина Н.П., к.п.н., доцент, Барашко О.Г., к.т.н., доцент,  
Кобринiec В.П., к.т.н., доцент**

**УО «Белорусский государственный технологический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
НА ОСВЕЩЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК**

Освещение является одной из основных статей расхода электрической энергии на предприятиях. Расход электроэнергии на освещение предприятий сельского хозяйства непрерывно растет и составляет в среднем по отраслям 5–30 % от их общего потребления. Электрическое освещение – наряду с другими устройствами технического оснащения производственных сельскохозяйственных помещений создает комфортные условия для производительного труда, уровень освещенности значительно влияет на производительность труда.

Основными методами энергосбережения на осветительных установках на предприятиях можно считать: замену низкоэффективных источников света (ЛН) на высокоэффективные (энергосберегающие) источники – натриевые лампы высокого давления, люминесцентные лампы с ЭПРА, ЭСБ; замену эффективных источников света (ДРЛ) на еще более эффективные (ДНАТ); оптимальному сочетанию общего и местного освещения, естественного и искусственного освещения; применение осветительных приборов меньшей мощности там, где это допустимо по условиям работы (лестничные клетки, дежурное освещение у выходов и в коридорах); разработку отдельных групп управления световыми приборами для помещений с высокой плотностью осветительной нагрузки.

Рассмотрим некоторые из них.



Экономия электрической энергии  $\Delta W$  при замене общего освещения на местное.

Экономия электрической энергии  $\Delta W$  при замене общего освещения производственного помещения (10 светильников с лампами по 400Вт) на местное (2 светильника с лампами по 80Вт) составит:

$$\Delta W = W_o - W_m, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где  $W_o, W_m$  – расход электроэнергии на общее и местное освещение:

$$W_o = K_{co} \cdot \Sigma P_o \cdot t_{op}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}; W_m = K_{cm} \cdot \Sigma P_m \cdot t_{om}, \text{ кВт}\cdot\text{ч/год},$$

$\Sigma P_o, \Sigma P_m$  – суммарная установленная мощность соответственно ламп общего и местного освещения, необходимого для создания светового потока, соответствующего нужной освещенности, кВт;

$t_{op}$  – число часов использования общего освещения в году, час;

$$t_{op} = 1,02(N - n) t_{cp} - t_{пр.}$$

где  $t_{cp}$  – среднее число часов использования осветительных установок общего освещения за сутки, час; 1,05 – коэффициент, учитывающий дополнительное число часов освещения в пасмурные дни;  $N$  – число календарных дней в году;  $n$  – число нерабочих дней в году;  $t_{пр}$  – число часов, на которое сокращена продолжительность работы в предвыходные и праздничные дни в течение года, час;

$$t_{om} = (N - n) t_{cpm} - t_{пр.}$$

где  $t_{cpm}$  – среднее число часов использования осветительных установок местного освещения в сутки, час;  $K_{co}, K_{cm}$  – коэффициенты спроса соответственно установок общего и местного освещения.

Экономия электроэнергии составит:

$$\Delta W = 13628,9 - 506,3 = 13,122 \text{ т. кВт}\cdot\text{ч/год}.$$

Экономия электроэнергии при раздельном питании систем освещения двух участков цеха. Определим экономию электроэнергии при раздельном питании систем освещения двух участков цеха. Площади участков одинаковы.

Тогда расход электроэнергии на общее  $W_{общ}$  освещение двух участков:

$$W_{общ} = k_c P_{уст} t_0,$$

где  $k_c$  – коэффициент спроса;  $P_{уст}$  – установленная мощность систем освещения, кВт;  $t_0$  – число часов работы систем освещения в году, час.

Экономия электроэнергии:

$$\Delta W = W_{\text{общ}} - (W_{\text{рб}} + 0,5W_{\text{общ}}) = 87552 - 58368 = 29184, \text{ кВт}\cdot\text{ч./год.}$$

Экономия электроэнергии при замене в производственном помещении осветительных приборов т. РСП с лампами ДРЛ мощностью 400 Вт на светильники т. ЛПП с люминесцентными лампами фирмы «Osram» в количестве 4 штук по 54 Вт каждая.

Потребление электроэнергии за год  $W_c$  при старых осветительных приборах составляет:

$$W_c = n_1 * P_{\text{л}} * t_{\text{р}} * k_{\text{и}},$$

где  $n_1$  – количество светильников, шт;  $P_{\text{л}}$  – мощность применяемых ламп, кВт;  $t_{\text{р}}$  – число часов работы освещения в году, час;  $k_{\text{и}}$  – коэффициент использования, равный 0,8.

В данном случае ожидаемый одовой экономический эффект  $\Delta W$  составит:

$$\Delta W = W_c - W_{\text{н}} = 1145,4 \text{ т.кВт ч./год}$$

Экономия электроэнергии при замене ламп ДРЛ на лампы ДНаТ. Для освещения наружной территории предприятия в темное время суток используют светильники с лампами ДРЛ мощностью 400 Вт. Световой поток ламп ДРЛ-400 составляет 20800 лм. Срок службы 12000 часов. Эти лампы рационально заменить на лампы ДНаТ-150, световой поток которых 14000 лм. Спад светового потока в течении срока службы лампы не более 15–20 %. Средний срок службы более 11000 часов. Экономия электроэнергии при замене ламп:

$$\Delta W = \Sigma [n \cdot (P_1 - P_2)] \cdot t,$$

где  $n$  – количество ламп, шт;  $P_1$  – мощность лампы существующего светильника с учетом потерь в ПРА, кВт;  $P_2$  – мощность лампы, предлагаемой для замены с учетом потерь в ПРА, кВт;  $t$  – число часов работы наружного освещения, час.

Экономия электроэнергии составит:  $\Delta W = 25740 \text{ т.кВт/год.}$

Приведенные выше расчеты показывают, что при введении организационно-технических мероприятий на производстве можно значительно сократить потребление электроэнергии на осветительные нужды.

**Кравцов А.М., к.т.н., доцент,  
Войтешонок П.Л., магистрант  
Белорусский государственный аграрный технический  
университет, г. Минск**  
**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ  
ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

Республика Беларусь не располагает достаточным количеством собственных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) для обеспечения потребностей народного хозяйства. Стране приходится импортировать около 84 % потребляемых энергоносителей. Снижение зависимости от импортных энергоресурсов для государства является важнейшим вызовом с точки зрения национальной и экономической безопасности. Основными направлениями развития энергетики Республики Беларусь [1, 2] являются: диверсификация поставщиков ТЭР; развитие нетрадиционной и возобновляемой энергетики; максимальное использование местных видов топлива; внедрение энергосберегающих технологий, и т.д. Концепцией энергетической безопасности Республики Беларусь, в частности, предусмотрено увеличение уровня обеспеченности национальных потребностей в энергии за счет собственных ТЭР, в том числе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), до 20 % в 2035 году.

Широкое использование ВИЭ и развитие энергосберегающих технологий в сельском хозяйстве позволило бы снизить себестоимость продукции и существенно улучшить конкурентоспособность предприятий АПК [3, 4].

Для систем теплоснабжения перспективным направлением является развитие комплексных систем с использованием возобновляемых источников энергии. Например, использование прямой солнечной энергии при помощи гелиоустановок, и низкопотенциальной геотермальной энергии при помощи тепловых насосов. Развитие данных ВИЭ согласуется с Комплексным прогнозом научно-технического прогресса Республики Беларусь на 2021–2025 гг. и на период до 2040 года [5].

Каждый вид ВИЭ обладает преимуществами и недостатками. Основным преимуществом использования прямой солнечной энергии является использование бесплатного возобновляемого источника – Солнца, что обеспечивает низкую себестоимость энергии. При этом имеются существенные недостатки: 1) малое количество солнечных дней в ряде регионов Земли и связанная с этим низкая

эффективность использования солнечных энергоустановок; 2) существенное изменение мощности солнечных энергоустановок в зависимости от сезона, погодных условий и времени суток, что требует подключения их к единой энергосистеме или наличия дополнительного источника энергии.

Комбинирование гелиоустановки с тепловым насосом (рисунок 1) позволит нивелировать недостатки использования прямой солнечной энергии для получения тепла. В этом случае гелиоустановка является основным источником энергии, а тепловой насос – вспомогательным в периоды низкой освещенности, в сумерках и в ночное время.

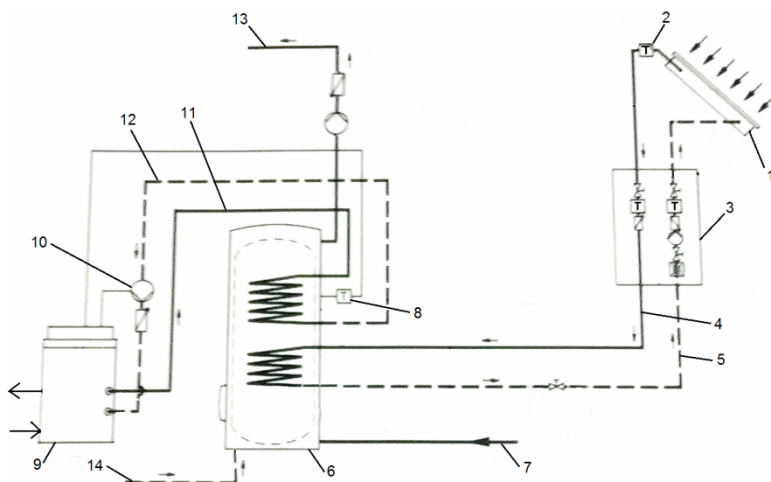


Рисунок 1 – Схема теплоэнергетической установки:

1 – гелиоколлектор; 2 – датчик температуры; 3, 4, 5 – насосный узел, подающая и обратная магистрали гелиоколлекторного контура; 6 – емкостной водонагреватель-аккумулятор; 7 – подача холодной воды; 8 – датчик температуры емкостного водонагревателя; 9 – тепловой насос; 10, 11, 12 – насосный узел, подающая и обратная магистрали теплового насоса; 13 – магистраль подачи нагретого теплоносителя в систему отопления; 14 – обратная магистраль охлажденного теплоносителя из системы отопления

Для широкого внедрения и эффективной эксплуатации комплексных систем с использованием возобновляемых источников энергии необходимо решить важную задачу по разработке научно обоснованной методики подбора энергетического оборудования и оп-

тимизации режимов работы комплексной установки с учетом сезонных факторов и температурного режима объекта теплоснабжения.

#### Список использованных источников

1. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21501084&p1=1>. – Дата доступа: 22.11.2022.
2. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100103>. – Дата доступа: 22.11.2022.
3. Герасимович, Л.С. Методология научного обоснования аграрных комплексных энергосистем с использованием местных ресурсов / Л.С. Герасимович, О.Л. Сапун, А.В. Синенький // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2019. Т. 57. № 1. С. 93–109.
4. Русан, В. И. Возобновляемая энергетика в агропромышленном комплексе : [монография] / В.И. Русан, Ю.С. Почанин ; под ред. В.И. Русана ; М-во сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, УО "Белорусский государственный аграрный технический университет". – Минск : БГАТУ, 2013. – 538 с.
5. Комплексный прогноз научно-технического прогресса Республики Беларусь на 2021–2025 гг. и на период до 2040 г. Том 2 / под ред. А.Г. Шумилина. – Минск: ГУ «БелИСА», 2020. – 752 с.

**Кузьмина Т.Н.<sup>1</sup>, ст. научный сотрудник,**

**Кузьмин В.Н.<sup>1</sup>, гл. научный сотрудник,**

**<sup>1</sup>ФГБНУ «Росинформагротех», рп Правдинский, Россия**

**Болтянская Н.И.<sup>2</sup>, к.т.н., доцент,**

**<sup>2</sup>Мелитопольский государственный университет,**

**Мелитополь, Россия**

## **ПРИРОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ УКРАИНЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

Природный потенциал Украины для развития нетрадиционных и возобновляемых источников энергии прогнозируется следую-

шим. Добыча первичного топливно-энергетических ресурсов и производство электроэнергии в Украине к 2022 г. – это: 1) гидроэнергетика – 4,32 млн. т у.т.; 2) ветроэнергетика (к 2020 г. – 0,8–1,5 ГВт, ежегодное производство до 2 млрд. кВт-ч); 3) солнечная, геотермальная энергия (к 2020 г. ежегодное производство до 10 млн. т у. п.); 4) биогаз, утилизация отходов (ежегодное производство до 10 млн т органического топлива).

Общий технически возможный потенциал нетрадиционных и возобновляемых источников энергии составляет около 78 млн. т у. п. в год (100 %), по направлениям использования распределяется: ветроэнергетика – 24,6 млн. т у.т. (31,4 %), малая гидроэнергетика – 2,24 (2,865 %), солнечная энергетика – 4,92 (6,295 %), биоэнергетика – 21,2 (27,11%), искусственные горючие газы и метан шахтных месторождений – 13,2 (16,88 %), другие направления использования источников энергии (геотермальная энергетика, теплонасосные установки, рапсовое масло, спирты, водотопливные эмульсии, техногенные месторождения, резиновые отходы) – 12,03 млн. т у.т. (15,38 %) [5].

Гидроэлектроэнергия. Потенциальные ресурсы мощных ГЭС составляют до 4700 МВт. Потенциальные ресурсы (суммарные) малых рек составляют около 2400 МВт. На этих реках есть 27 тыс. Прудов и водохранилищ местного водохозяйственного назначения, на которых могут быть сооружены мини и микро ГЭС мощностью 5–250 кВт [2]. Потенциал использования гидроресурсов как источник производства электроэнергии ограничивается имеющимися в стране водными ресурсами и нецелесообразностью затопления значительной площади земель сельскохозяйственного назначения из-за равнинного характера местности в Украине. Следовательно, имеющиеся объемы гидроэнергетики Украины не имеют перспективы значительного увеличения.

Ветроэнергетика. Развитие ветроэнергетики обусловлено наличием большого технически доступного потенциала энергии ветра на территории Украины. Для размещения ветроэнергетических установок (ВЭУ) могут использоваться площади, не задействованные в хозяйстве, пастбища и безлесные участки гор, мелководные акватории искусственных и природных водохранилищ, озер, лиманов, заливов и морей.

Для постройки ВЭС может быть использована практически вся площадь Азовского моря, а в Черном море только в Одесской области есть возможность разместить ВЭС установленной мощностью до 20 тыс. МВт. С учетом участков на суше общий потенциал территории, где могут быть размещены ВЭС, превышает нынешнее производство электроэнергетики в Украине [4,5].

Самые среднегодовые по скорости ветры, превышающие 5 м/с, наблюдаются в приморских районах, южных степях и Донбассе. Эти территории, а также горные районы Карпат и Крыма наиболее перспективны с точки зрения использования энергии ветра. Но в горных районах – зоне активного ветра – существуют некоторые ограничения для использования ветровой энергии. Здесь воздушные потоки отличаются сильной турбулентностью, резкой сменой скорости и направления ветра. Для надежной эксплуатации ВЭУ, например, в Карпатах, считается пригодной только 1–2 % территории. Солнечная энергия. В Украине годовое количество солнечного излучения составляет 3500–5200 МДж/м<sup>2</sup>, находящегося на одном уровне со странами, активно использующими солнечные коллекторы. Вся территория Украины пригодна для развития солнечного теплоснабжения.

Технологии утилизации биомассы находятся в начале своего развития в Украине и имеют хорошие перспективы для коммерциализации в ближайшем будущем. Сегодня Украина потребляет биомассу преимущественно в виде древесного топлива – около 1 млн. т у.п./год при традиционном сжигании дров для отопления частных домов, а также в более чем 1000 котлах, установленных на предприятиях лесной и деревообрабатывающей отраслей Украины. Количество отходов растительной биомассы в Украине составляет ежегодно 40 млн. т, что эквивалентно 25–30 млрд. м<sup>3</sup> газа; ежегодные отходы животноводства и птицеводства в Украине составляют 32 млн т или 10,3 млрд м<sup>3</sup>. В Украине в лесных отвалах накопилось более 14 млн. м<sup>3</sup> отходов, в лесах находится еще 7 млн. м<sup>3</sup>, причем процесс наращивания отходов продолжается.

Очевидно, что начинать процесс широкого внедрения биоэнергетических технологий следует с ввода в эксплуатацию современных котлов для сжигания отходов древесины, соломы и торфа, а также строительства мини-электростанций на биогазе из полигонов ТБО (твердых бытовых отходов). Другие технологии производства

энергии из биомассы (биогаз из навоза, жидкие топлива, энергетические культуры) не менее важны и будут приоритетными в ближайшем будущем, однако им еще необходимо пройти демонстрационную стадию для подтверждения конкурентоспособности их экономических показателей. Результаты технико-экономического анализа показывают, что производство теплоты из биомассы конкурентоспособно даже при использовании зарубежного оборудования.

#### Список использованных источников

1. Podashevskaya H. Problems of implementation of digital technologies in animal husbandry. / H. Podashevskaya // Інформаційні технології в енергетиці та АПК: матеріали X-ої Міжн. наук.-практ. конф. – ЛНАУ, 2021. – С. 70–72.
2. Boltianska N. Ways to Improve Structures Gear Pelletizing Presses / N. Boltianska // ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow, 2018. – Vol. 18. No 2. – P. 23–29
3. Boltianskyi O. Solving the problem of air pool pollution in the area of livestock farms. / O. Boltianskyi // Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: Мат. X-ї Міжнародної науково-технічної конференції. – Глеваха-Київ, – 2021. – С. 6–8.
4. Serebryakova N. Areas of energy conservation in animal feed production of Ukraine. / N. Serebryakova // Сб. научн. ст. Межд. научно-практ. конф. (Минск, 26–27 ноября 2020 года). – Минск: БГАТУ, 2020. – С. 276–278.

**Попкова Н.А.**

**Белорусский национальный технический университет, г. Минск**

#### **АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

В системе экономики Республики Беларусь агропромышленный комплекс (АПК) занимает одну из важнейших ролей, обеспечивая не только продовольственную безопасность, но и формируя значительную часть национального дохода. Для успешного функционирования и развития АПК постоянно модернизируются технологические процессы, вводятся средства автоматизации и расширяется



перечень применяемого оборудования. Любое развитие техники и технологии сопровождается увеличением объема потребляемой электрической энергии. АПК, как потребитель электроэнергии, обладает рядом технических особенностей [1], которые необходимо учитывать при выборе источника генерации электрической мощности.

Известно, что строительство атомной электрической станции и ее интеграция в электроэнергетическую систему Республики Беларусь, снизили темпы наращивания суммарной установленной мощности возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в стране [2,3]. Несмотря на данный факт, ВИЭ могут рассматриваться в качестве децентрализованных малых источников энергии или же источников энергии, не подключенных к общей электроэнергетической системе страны. Ряд государств, такие как Российская Федерация, страны европейского и азиатского регионов эффективно используют малые децентрализованные источники энергии, использующие возобновляемые ресурсы для электроснабжения удаленных сельскохозяйственных потребителей. Использование ВИЭ в таком сценарии позволяет не только обеспечить потребителей необходимым объемом электрической энергии, но и решить ряд сопутствующих задач: экологические, социальные и экономические.

Использование энергии ветра, солнца и биологического топлива позволяет снизить расход углеводородного топлива и увеличить долю местных видов топлива в энергобалансе страны, тем самым обеспечивая энергетическую независимость страны. В качестве одной из причин необходимости использования ВИЭ для нужд электроснабжения АПК можно отнести статистические наблюдения за изменением температурных показателей на территории Республики Беларусь (Рисунок 1) [4].



Рисунок 1 – Изменение максимальной месячной температуры воздуха и среднегодовой температуры в Республике Беларусь в период с 1990 по 2021 год

В последние 30 лет наблюдается постепенный рост показателей отклонения средней годовой температуры от средней многолетней температуры воздуха, в долгосрочной перспективе сохранение имеющейся тенденции приведет кроме всего прочего к увеличению количества суток с температурой воздуха более +25<sup>0</sup>С. При температуре воздуха выше указанного значения не только затрудняется охлаждение крупных энергетических установок по выработке электрической энергии, но и снижается эффективность процесса передачи электрической энергии по линиям электропередачи, что приводит к неутешительным последствиям. В подобных условиях использование малых источников энергии, находящихся в непосредственной близости от потребителя, является логичным решением.

Исходя из имеющихся климатических условий на территории страны наиболее перспективными ВИЭ являются: ветроэнергетика, солнечная энергетика и использование биотоплива различных видов. Предполагаемый рост температуры не угрожает развитию ветроэнергетики, но может снизить эффективность работы солнечных установок из-за риска их перегрева, и внести изменения в структуру растительных культур, используемых в качестве твердого топлива.

Задача выбора оптимального возобновляемого источника энергии для конкретного района Республики Беларусь должна решаться индивидуально, с учетом не только имеющихся закономерностей и опыта эксплуатации подобных установок, но и с учетом потенциального изменения климатических показателей. Использование децентрализованных ВИЭ позволит снизить нагрузку на энергетическую систему Республики Беларусь, увеличить эффективность использования первичных энергетических ресурсов и снизить зависимость от стран-поставщиков топлива для генерирующих объектов.

#### Список использованной литературы

1. Русан, В.И. Повышение надежности электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса / В.И. Русан, О.Ю. Пухальская // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2009;(3):41–49.
2. Бринь, А.А. Возобновляемые источники энергии в отечественном аграрном производстве / А.А. Бринь, А.Н. Косько, А.В. Синенький // Наука и инновации: научно-практический жур-

нал / учредитель Национальная академия наук Беларуси. – 2019. – № 2. – С. 33–36.

3. Протосовицкий, И.В. Обеспечение надежности и эффективности электроэнергетики сельскохозяйственной отрасли республики в современных условиях. / И.В. Протосовицкий, Е.П. Забелло, М.А. Прищепов // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2020;63(2):116–128.

4. Температура воздуха. [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/b-izmenenie-klimata/v-1-temperatura-vozduha/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/b-izmenenie-klimata/v-1-temperatura-vozduha/?ysclid=lazg9qnpin854336434) ?ysclid=lazg9qnpin854336434. – Дата доступа: 26.11.2022.

**Пуртова А.С.**

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,  
г. Москва, Россия**

**РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ  
ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ В ТРУДАХ  
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ АКАДЕМИКА СТРЕБКОВА Д.С.**

В развитии научных исследований различных отраслей науки велико значение научных школ и выдающихся ученых, организовавших их. Так как объекты сельскохозяйственного производства зачастую удалены от источников централизованного электроснабжения, обеспечение их тепловой и электрической энергией обретает особую актуальность [1, 2]. В данной работе приведены некоторые результаты работы научной школы академика РАН Д.С. Стребкова.

Основой данной работы являются публикационные работы Д.С. Стребкова, диссертационные исследования его учеников, а также международные публикации с его участием [3-8].

С 1980 года под руководством Д.А. Стребкова защищено 25 диссертаций. Также исследования посвящены применению гидроэнергии, получению биогаза, резонансным способам электроснаб-

жения потребителей и повышению электробезопасности потребителей.

Основной пласт работ направлен на развитие теории и оборудования применения солнечной энергетики. В рамках работ, связанных с получением и использованием тепловой энергии солнца под руководством Д.С. Стребкова было выполнено ряд работ. Авторами этих работ являются Мамедсахатов Б.Д., Базарова Е.Г., Митина И.В., Ахмед Торки, Ахмед Джайлани, Панченко В.А., Филиппченкова Н.С., Безруких П.П., Пенджиев А.М.

Несомненно, что в рамках данной работы нет возможности детально рассмотреть все результаты, полученные авторами, особенности их технических решений и внедрения в производственные процессы. Только анализ данных работ может быть предметом отдельного исследования.

Ряд работ, посвященный разработке и совершенствованию фотоэлектрических преобразователей, наиболее объемный в научной школе Д.С. Стребкова. Исследования носят как теоретический, так и прикладной характер [3-8].

Существенное количество работ направлено на разработку концентраторов солнечной энергии и методов проектирования автономных систем электроснабжения различных потребителей. Так как многие сельскохозяйственные потребители удалены от систем централизованного электроснабжения, разработанные решения проектировались для них и проверялись в условиях сельскохозяйственного производства. Например, работа Алиева Р.К. направлена на разработку переносных фотоэлектрических станций для электроснабжения отгонного животноводства.

Анализ диссертационных работ, выполненных под руководством академика Стребкова Д.С., позволяет судить о следующих достигнутых результатах:

1. Применение солнечных тепловых коллекторов в условиях сельскохозяйственного производства на животноводческих фермах позволяет обеспечить энергообеспечение тепловых процессов.
2. Солнечные тепловые коллекторы можно использовать для большинства процессов, связанных с подготовкой воды для технологических и бытовых нужд.

3. Солнечные тепловые коллекторы могут использоваться для большинства процессов, связанных с подготовкой воды для технологических и бытовых нужд.

4. Расчет рентабельности использования различных типов солнечных тепловых коллекторов необходимо проводить применительно к технологическому процессу.

Если солнечные тепловые коллекторы используются на животноводческих фермах, их можно устанавливать, как на крышах, так и на стенах зданий. Повышение рентабельности производства зависит от согласованности выбора оборудования, его размещения и согласования с технологическими процессами.

На основании рассмотренных данных можно сделать следующие выводы:

1. Применение солнечных тепловых коллекторов в условиях сельскохозяйственного производства на животноводческих фермах позволяет обеспечить энергообеспечение тепловых процессов.

2. Солнечные тепловые коллекторы можно использовать для большинства процессов, связанных с подготовкой воды для технологических и бытовых нужд.

3. Солнечные тепловые коллекторы могут использоваться для большинства процессов, связанных с подготовкой воды для технологических и бытовых нужд.

4. Расчет рентабельности использования различных типов солнечных тепловых коллекторов необходимо проводить применительно к технологическому процессу.

#### Список использованных источников

1. Бутузов, В.А. Российские научные кадры для энергетики на основе ВИЭ / В.А. Бутузов, Р.А. Амер-ханов, О.В. Григораш, Д.А. Будников // Энергосбережение и водоподготовка. – 2022. – № 3(137). – С. 17–28.

2. Purtova, A., Panchenko, V., (2023). Contribution of Academician D.S. Strebkov's Scientific School to the Development of Renewable Energy Sources in the Agricultural Industry. In: Vasant, P., Weber, G.W., Marmolejo-Saucedo, J.A., Munapo, E., Thomas, J.J. (eds) Intelligent Computing & Optimization. ICO 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 569.

3. Strebkov D. Biofuels and food security. *Front. Agr. Sci. Eng.* 2015, 2(1): 1–12.
4. Panchenko V. Kharchenko V. Vasant P. (2019). Modeling of Solar Photovoltaic Thermal Modules. *Intelligent Computing & Optimization. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 866, 108–116. 10.1007/978-3-030-00979-3\_11.
5. Panchenko V. A. Solar Roof Panels for Electric and Thermal Generation. *Applied Solar Energy*, 2018, Vol. 54, No. 5, 350–353. doi.org/10.3103/S0003701X18050146.
6. D.S. Strebkov, N.S. Filippchenkova, I.P. Gadjiev Solar Concentrator Modules for Residential Power Supply. *Applied Solar Energy (IF)*, Pub Date: 2020-10-20, DOI: 10.3103/s0003701x2004012x.
7. Strebkov, D.S., Penjiyev, A.M. Study of Solar Power Modules with Axisymmetric Prism Concentrators. *Appl. Sol. Energy* 57, 198–204 (2021). <https://doi.org/10.3103/S0003701X21030087>.
8. Strebkov, D.S. Solar Photovoltaic Plants / D.S. Strebkov, A.K. Shogenov. – DOI 10.1007/. s10749-018-0914-4 // *Power Technology and Engineering*. – 2018.

**Романов И.Г., магистрант, Кравцов А.М., к.т.н., доцент  
Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Минск, Республика Беларусь  
УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ  
ВЫБРОСОВ ОБЪЕКТОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ:  
АКТУАЛЬНОСТЬ, ПРОБЛЕМЫ, ПУТИ РЕШЕНИЯ**

Перспективным направлением развития энергосбережения является использование теплоты вентиляционных выбросов, в том числе объектов общественного питания, где можно осуществлять рекуперацию теплоты, выделяющейся в процессе производства.

Принципиально новые технологии значительно расширяют возможности производства подобных систем, способствуют росту эффективности и ведут к повышению энергоэффективности [1].

Расход теплоты на нагрев вентиляционного воздуха в жилых зданиях составляет 40–50 % расхода на отопление, в общественных – 40–80 %. Эффективной альтернативой различным отопительным системам по разумной цене является система воздушного обогрева

помещений, в которой в качестве источника теплоты используется теплообменник-утилизатор, работающий на теплоте вентиляционных выбросов [2].

Утилизация теплоты вентиляционных выбросов может осуществляться следующими способами:

- рециркуляцией части вытяжного воздуха;
- применением рекуперативных теплообменников-утилизаторов;
- применение регенеративных теплообменников-утилизаторов;
- применение двух рекуперативных теплообменников, использующих промежуточный теплоноситель;
- применение теплопередающих труб.

По результатам обзора современных технических решений в области снижения энергопотребления систем жизнеобеспечения, а также с учетом технико-экономических показателей внедрения теплоутилизующего оборудования был выявлен ряд проблем в области создания и применения устройств, как активной, так и пассивной теплоутилизации:

1) высокие показатели коэффициента температурной эффективности достигаются в пассивных аппаратах, которые имеют ряд конструктивных особенностей, ограничивающих возможность их применения;

2) невозможность полностью обеспечить нагрев приточного воздуха;

3) в периоды на границах отопительного сезона, когда температура наружного воздуха уже требует активного нагрева на приточной линии, а системы отопления еще не задействованы, наблюдается падение температуры воздуха в вентилируемом помещении;

4) недостатком как пассивных, так и теплонасосных систем является риск обмерзания теплообменных аппаратов вытяжной линии при низких температурах наружного воздуха;

5) для нужд охлаждения воздуха в теплый период года вентиляционным системам на базе пассивных утилизаторов необходима подсистема охлаждения воздуха.

Исследование эффективности утилизации теплоты в рекуперативных теплообменниках установок автономной вентиляции проводится в соответствии с методикой [3].

При сходных массогабаритных показателях наибольшей энергетической эффективностью обладают регенеративные теплоутилизаторы (80–95 %), далее следуют рекуперативные (65–75 %) и на

последнем месте теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем (45–55 %) [4].

Развитие методов совершенствования роторных теплообменных аппаратов представлено переходом от аналитического определения эффективных геометрических параметров набивки ротора к методам исследования, основанным на математическом моделировании. Более современные методы исследований позволяют помимо теплофизических параметров обрабатываемого воздуха учитывать при моделировании такие факторы как аэродинамическое сопротивление, степень загрязнения воздуха твердыми фракциями, выпадение конденсата и образование льда на теплопередающих поверхностях.

Утилизаторы с промежуточным теплоносителем или RAC (Run Around Coil) обладают более широким потенциалом модернизации. Помимо встраиваемых в вентиляционную сеть теплообменных аппаратов данные устройства содержат в своей принципиальной конструкции контур теплоносителя, что позволяет в дополнение к интенсификации теплообменных процессов обеспечить более гибкое управление утилизированной энергией.

Включение в контур теплоносителя теплоаккумуляторов, сделало возможным приведение в соответствие фактически утилизируемых объемов тепловой энергии и реальной потребности системы вентиляции, а также использование альтернативных источников тепловой энергии для энергоснабжения.

В регенеративных и воздуховоздушных (воздухожидкостных) рекуперативных теплоутилизаторах рабочим веществом являются сами теплообменивающиеся среды.

Таким образом, теплоутилизатор – это:

- решение проблемы энергоэффективности производства;
- нормализация экологической обстановки;
- наличие комфортных условий на производстве – тепла, горячей воды в административно-бытовых помещениях;
- уменьшение затрат на энергоресурсы.

Выбор схемы и типа теплоутилизаторов определяет характер нагрузки теплопотребителей, так как существенно влияет на экономичность системы в целом. Таким образом, для широкого внедрения и эффективной эксплуатации систем с утилизацией теплоты вентиляционных выбросов необходимо решить важную задачу по



совершенствованию методики компоновки и подбора теплоутилизирующего оборудования, а также оптимизации режимов его работы.

#### Список использованных источников

1. Чернова, В.Ю. Импортзамещение как фактор модернизации внешнеторговой и структурной политики России в современных условиях (на примере агропродовольственного сектора) 08.00.14 – мировая экономика Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук. – Москва – 2020. – 50 с.

2. Овсянник, А.В. Оценка энергетической эффективности приточно-вытяжных вентиляционных систем с тепловыми насосами / А.В. Овсянник, Д.С. Трошев // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого: научно-практический журнал. 2014. № 4. С. 64–68.

3. Костуганов, А.Б. Исследование эффективности утилизации теплоты в рекуперативных теплообменниках установок автономной вентиляции // Градостроительство и архитектура. – 2020. – Т. 10. – № 1. – С. 36–46.

4. Здитовецкая, С.В. Эффективность теплоутилизационных устройств в системе приточно-вытяжной вентиляции / С.В. Здитовецкая, В.И. Володин // Труды БГТУ. Серия 3, Химия и технология неорганических веществ. – 2010. – С. 210–212.

**Селюк Ю.Н., Бондарчук О.В., Дубкова А.В.**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК**

В настоящее время функционирование различных отраслей агропромышленного комплекса (АПК) отличается достаточно высокой эффективностью и значительным объёмом производимой продукции. Однако, производственный процесс неизбежно вызывает образование значительного количества органических отходов, главным образом в животноводстве (навоз коров, свиней и других животных, птичий помёт). Проблема утилизации указанных отхо-

дов, которые представляют серьёзную угрозу для экологической обстановки на окружающих территориях, является актуальной.

Наиболее рациональным способом утилизации органических отходов сельскохозяйственных предприятий является применение для этой цели биогазовых установок. В процессе работы указанного оборудования происходит переработка навоза, помёта и растительных отходов в биогаз и биологические удобрения, которые используются в процессах производства продукции.

Производственные объекты АПК (животноводческие, птицеводческие фермы и комплексы и пр.), как правило, располагаются на значительном расстоянии от населённых пунктов и источников энергоснабжения (линий электропередачи, трансформаторных подстанций, котельных). Это обстоятельство зачастую вызывает необходимость сооружения местных источников энергии непосредственно на территории предприятий АПК. В связи с этим требуется организовать снабжение потребительских подстанций электроэнергией, а котельных либо мини-ТЭЦ – топливом, что приводит к увеличению производственных затрат и себестоимости продукции животноводства и птицеводства. Использование на сельскохозяйственных производственных объектах биогазовых установок способствует созданию на их основе систем автономного энергоснабжения, не требующих подачи топлива и электроэнергии. В этом случае традиционные источники энергоснабжения выполняют функции резервных, что значительно снижает требования к их мощности и оснащению.

Применение на объектах АПК энергоисточников на базе биогазовых установок является частным случаем реализации принципа автономного обеспечения энергией. Это решение характеризуется простотой и значительно более низкой стоимостью по сравнению с рассмотренной в [1] системой на постоянном токе. Предложенное устройство фактически представляет собой вариант микро- либо минигрида для АПК – локальной энергосистемы с собственным источником энергии, которая функционирует совместно с системой централизованного энергоснабжения, подобно рассмотренной в [2]. Использование микрогридов (смартгридов) – перспективное направление развития энергетики, внедрение которого в сельскохозяйственном производстве обеспечит повышение надёжности и качества энергоснабжения при одновременном снижении потерь энергии в процессе её передачи.

Для осуществления генерации энергии биогазовая установка дополняется соответствующим оборудованием; виды и характеристики устройств-энергоисточников определяются в зависимости от количества потребляемой электрической и тепловой энергии для каждого из животноводческих (птицеводческих) объектов с учётом возможности централизованного снабжения энергией указанных потребителей. Как правило, предлагаемые на рынке биогазовые комплексы (станции) для АПК оснащаются газопоршневыми которые вырабатывают одновременно как электрическую, так и тепловую энергию. Основой указанных энергоисточников является двигатель внутреннего сгорания, использующий биогаз в качестве топлива.

Однако, следует отметить, что некоторые виды сельскохозяйственных потребителей, в частности, молочно-товарные фермы, предъявляют специфические требования к энергоснабжению. Это связано с наличием на их территории доильно-молочных блоков, в которых реализуются технологические процессы доения и первичной обработки молока. Важным этапом последней является охлаждение продукта для его длительного либо кратковременного хранения, что требует соответствующих энергозатрат. Указанный процесс в основном обеспечивается холодильными установками с электроприводом, однако при наличии биогазового комплекса возможно некоторое усовершенствование процесса охлаждения. С этой целью в существующий комплект оборудования дополнительно включается источник хладоносителя, который непосредственно используется для охлаждения молока при его обработке либо хранении.

Наиболее целесообразно использование в данном качестве абсорбционных холодильных машин (АБХМ) с прямым сжиганием топлива (биогаза). Немаловажным является и то, что указанная разновидность машин обеспечивает также получение теплоносителя для нужд отопления и горячего водоснабжения, то есть тригенерацию энергии. Поэтому в ряде случаев возможна замена когенерационной установки на газопоршневую электростанцию, которая обеспечивает электроснабжение потребителей, при этом АБХМ является источником энергии для отопления и охлаждения. В случае отсутствия потребности в охлаждении продукции (фермы по откорму КРС, свинофермы и пр.) перспективным является использо-

вание в составе биогазовых комплексов абсорбционных тепловых насосов (АБТН) для теплоснабжения потребителей.

Реализация комплексного снабжения сельскохозяйственных потребителей различными видами энергии с использованием биогазовых установок и абсорбционных машин позволит повысить эффективность производства, а также значительно улучшить экологическую ситуацию. Особенно актуальным и перспективным является создание на предприятиях АПК микро- и минигридов на базе указанных энергоисточников.

#### Список использованных источников

1. Шульга, Р.Н. Мобильные модульные подстанции для АПК/ Р.Н. Шульга, И.В. Путилова, Т.С. Смирнова// Альтернативная энергетика и экология. – 2019. – № 19–21. – С. 74–82.
2. Фишов, А.Г. Технические и экономические аспекты создания минигридов и их интеграции с централизованным энергоснабжением/А.Г. Фишов// Энергетика. – 2022. – № 4. – С. 27–34.

**Синица С.И., ст. преподаватель, Головач И.Н., аспирант  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

В связи с истощением запасов органического топлива, большим количеством вредных выбросов в атмосферу и ухудшением экологической обстановки одним из эффективных путей экономии топливно-энергетических ресурсов является использование экологически чистых нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Однако периодичность действия и низкий температурный потенциал этих источников не позволяют применять их энергию для использования непосредственно без преобразования.

Рациональное использование электрической энергии стало одним из основных направлений Государственной программы «Энергосбережение» на 2021–2025 годы. Действующие в настоящее время тарифы на тепловую энергию, в сочетании с затратами на подключение к тепловым сетям, заставляют все чаще задумываться над альтернативными способами теплоснабжения.

В Республике Беларусь был введен специальный субсидируемый тариф на электроэнергию, расходуемую на нужды отопления и горячего водоснабжения. Теперь, при наличии отдельного прибора индивидуального учета расхода электрической энергии и отсутствии централизованного тепло- и газоснабжения, электроэнергия, потребляемая электрическим котлом или тепловым насосом, может оплачиваться по одному из самых низких тарифов. Ввод в эксплуатацию БелАЭС усилил потенциал использования тепловых насосов в Республике Беларусь.

Очень часто при строительстве новых объектов встает вопрос об источниках теплоснабжения для постройки, т.к. подключение к теплоснабжающим организациям может быть невозможно из-за дефицита тепловой мощности, дорого из-за строительства протяженных тепловых сетей. Отопление некоторых населенных пунктов осуществляется посредством использования дорогого завозного дизельного топлива и мазута. В этом случае должны рассматриваться проекты установки тепловых насосов в конкуренции с другими технологическими решениями и проектами по теплоснабжению.

Тепловой насос (ТН) – устройство, позволяющее посредством затрат электрической энергии использовать низкотемпературную тепловую энергию для получения теплоносителя пригодного для тепло- и хладоснабжения помещений, зданий, сооружений.

Электричество, потребляемое тепловым насосом, тратится лишь на перемещение хладагента по системе с помощью компрессора точно так же, как в холодильных машинах. Система работает как котел при отоплении и как кондиционер при охлаждении. Эффективность цикла теплового насоса характеризуется коэффициентом преобразования. Расчетные данные значения этого коэффициента около четырех, это в несколько раз больше единицы, что показывает, что в систему отопления помещения отдается теплоты больше, чем затрачено работы, совершаемой компрессором, за счет использования теплоты окружающей среды.

Энергетическая эффективность применения тепловых насосов зависит от температуры низкопотенциального источника и будет тем выше, чем более высокую температуру он будет иметь.

В качестве низкопотенциального источника тепловой энергии может быть использовано тепло естественного происхождения (наружный воздух; тепло грунтовых, артезианских и термальных вод; воды рек и других незамерзающих природных водоемов) или низ-

копотенциальная теплота искусственного происхождения (сбросные воды; нагретые продукты технологических процессов; вытяжной воздух системы вентиляции).

Так как тепловой насос имеет низкое энергопотребление, он не требует больших значений выделенной мощности электроэнергии, как при стандартном электроотоплении, обеспечивает энергосберегающие режимы работы, максимальную продуктивность.

Тепловые насосы зарекомендовали себя в совместной работе в комплексе с солнечными коллекторами и солнечными фотоэлектрическими модулями, тем самым еще больше увеличивая энергоэффективность системы теплоснабжения. Они в автоматическом режиме управляют бойлерами и резервными источниками отопления (электронагревателями, котлами и прочими устройствами). Это экономичный выбор отопительного оборудования как для агрогородков, так и для производственных объектов, так как для его работы можно использовать только природные ресурсы.

Приведем таблицу 1 экономических показателей различных вариантов электроотопления [2]:

Таблица 1

| Наименование затрат                                                        | Электрический котел | Электрические конвекторы | Тепловой насос «грунт-вода» | Тепловой насос |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|
| Земляные работы                                                            | 0                   | 0                        | 10 000                      | 0              |
| Стоимость оборудования                                                     | 1 700               | 0                        | 27 000                      | 12 500         |
| Стоимость системы отопления                                                | 12 300              | 4 000                    | 12 300                      | 12 300         |
| Монтаж                                                                     | 3 250               | 1 000                    | 4 400                       | 4 400          |
| Расходы на электроэнергию за 10 лет с учетом ежегодного подорожания на 10% | 53 346              | 43 010                   | 14 038,35                   | 17 781,9       |

Из таблицы видно, что несмотря на максимальные капитальные вложения при выборе теплового насоса «грунт-вода», в структуре затрат расходы на потребляемую электроэнергию минимальны. Таким образом, из сравниваемых вариантов, данный тепловой насос в

перспективе 10-и летней эксплуатации наиболее выгоден. В условиях маломощных электросетей этот вариант в свою пользу имеет важный аргумент – если для электрокотла нужно зарезервировать 9 кВт мощности, то для теплового насоса достаточно 3 кВт.

Применение тепловых насосов как источника тепловой энергии для отопления и ГВС позволяет:

- экономически – снизить расход денежных средств по сравнению с электроотоплением, а при определенных факторах конкурировать с теплоснабжением от централизованных систем (котельных, ТЭЦ); не проводить масштабной реконструкции систем отопления ГВС помещений, зданий, сооружений;
- экологически – по сравнению с другими источниками тепловой энергии не выделяет вредных веществ;
- прост в обслуживании. Современные тепловые насосы представляют собой полностью автоматизированное устройство;
- независимость от поступления топлива.

#### Список использованных источников

1. Режим доступа: [https://books.google.by/books/about/Industrial\\_Heat\\_Pump\\_Assisted\\_Wood\\_Drying](https://books.google.by/books/about/Industrial_Heat_Pump_Assisted_Wood_Drying). – Дата доступа: 08.11.2022.
2. Режим доступа: [real.by/news/article/31680](https://real.by/news/article/31680). – Дата доступа: 15.11.2022.

**Токарева А.Н., к.т.н., доцент, Демченко М.С., к.т.н.,  
Грачева Н.Н., к.т.н., доцент  
Азово-Черноморский инженерный институт  
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г.Зерноград, Россия  
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ ЗАКЛАДКИ В ГРУНТ  
ИСПАРИТЕЛЯ СИСТЕМЫ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛИЦЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
ЗАТРАТЫ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ  
РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Одним из мероприятий, направленных на снижение потребления тепловой энергии в тепличных хозяйствах является использовании системы геотермального теплоснабжения на базе теплонасосных установок [1].

При разработке конструктивно-технологических решений данных систем возникает ряд вопросов по размещению теплообменника-испарителя.

В связи с этим было решено дать оценку влияния глубины закладки испарителя на энергетические показатели теплового насоса. Исследования проводились применительно к климатическим условиям Ростовской области для типовой теплицы ООО «Солнечное» Аксайского района. Остекленное здание имеет размеры 75х12х4,4м. Проведенный по традиционной методике [2] расчет тепловых нагрузок для данного помещения позволил определить тепловую мощность, которая составила 456,8кВт.

Холодильные агенты были выбраны с учетом требований ретрофита. В качестве первого холодильного агента был выбран углекислый газ (R744), который набирает все большую популярность в теплонасосных системах и холодильных установках. Изучение тепловых диаграмм гидрофторуглеродов (ГФУ) [3] позволило определить, что для температурного диапазона работы теплонасосных установок наиболее подходит холодильный агент R507.

Обработка числовых массивов по данным температур грунта в различные месяцы и на различных глубинах позволил установить минимальную величину температуры грунта в течение года. Температура кипения холодильного агента была принята равной на 10°С ниже минимальной температуры грунта. Температура конденсации была взята по максимально возможной температуре рабочего диапазона холодильного агента [3] (таблица 1).

Таблица 1 – Данные для построения цикла теплонасосной установки

|                                                 |       |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------|-------|------|------|------|------|
| Глубина закладки испарителя, м                  | 0,4   | 0,8  | 1,6  | 2,5  | 3,2  |
| Минимальная температура грунта за год, °С       | -0,3  | 1,3  | 0,8  | 2,67 | 7,7  |
| Температура кипения холодильного агента, °С     | -10,3 | -8,7 | -9,2 | -7,3 | -2,3 |
| Температура конденсации холодильного агента, °С |       |      |      |      |      |
| R744                                            | 20    | 20   | 20   | 20   | 20   |
| R507                                            | 50    | 50   | 50   | 50   | 50   |

Используя данные таблицы 1 и тепловые диаграммы холодильных агентов [3], были построены циклы работы теплонасосной установки. Определены параметры характерных точек цикла, по которым рассчитаны [4] тепловая нагрузка на испаритель  $\Phi_0$  (кВт),



удельная работа за цикл  $N$  (кВт) и коэффициент преобразования теплоты.

Результаты расчетов представлены в виде графических зависимостей на рисунках 1 и 2.

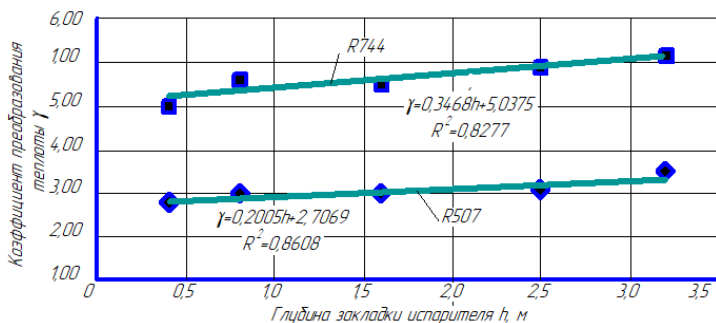


Рисунок 1 – Изменение коэффициента преобразования теплоты от глубины закладки испарителя

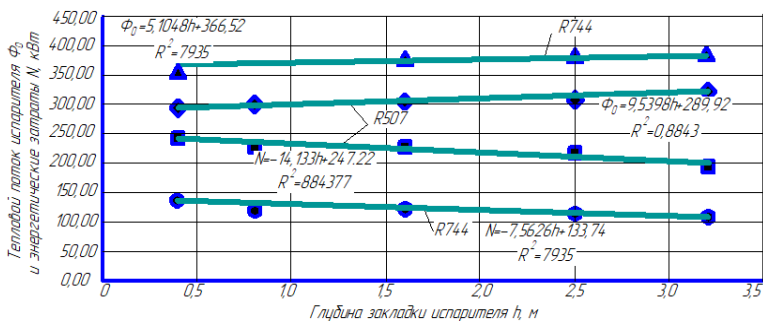


Рисунок 2 – Изменение тепловой нагрузки на испаритель и затрат энергии на привод компрессора от глубины закладки испарителя

Как видно из представленных зависимостей, увеличение глубины закладки испарителя с 0,4 м до 3,2 м увеличивает коэффициент преобразования теплоты при использовании холодильных агентов R744 и R507 соответственно на 4,7 и 10,9 %, энергетические затраты на 18,8 и 19,4 %.

#### Список использованных источников

1. Абрамов, С.Б. Разработка эффективной системы подогрева теплицы в условиях Забайкальского края / С.Б. Абрамов, Суворов И.Ф.//: Interna-

tional scientific review of the problems and prospects of modern science and education. Collection of scientific articles LXIII international correspondence scientific and practical conference. 2019. – С. 15–21.

2. Амерханов, Р.А. Проектирование систем теплоснабжения сельского хозяйства: /Р.А. Амерханов, Б.Х. Драганов. – Краснодар, 2001. – 200 с.

3. Термодинамические диаграммы I-LGP для хладагенов. М.: Ависанко, 2003. – 50 с.

4. Калинин, А.Э. Использование теплонасосной установки в системе геотермального теплоснабжения/А.Э. Калинин и [др]// чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. – 2018. №3 (35).– С. 112–118.

**Цубанов И.А., Цубанова И.А., Гакало К.В.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ОЦЕНКА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**  
**ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**  
**В ЗЕРНОСУШЕНИИ**

Одной из стратегических задач в сфере энергосбережения является снижение зависимости экономики Республики Беларусь от импортируемых углеводородов и повышение энергоэффективности за счет максимально возможного вовлечения в топливно-энергетический баланс страны собственных источников энергии.

С вводом в промышленную эксплуатацию первого энергоблока Белорусской АЭС значительно возросли объёмы производства электрической энергии. Отсутствие экспорта электрической энергии привело к острой постановке вопроса увеличения энергопотребления. При этом речь идет не о потреблении ради потребления, а о рациональном использовании энергоресурсов. Для решения этого вопроса необходимо предусмотреть увеличение доли электрической энергии в конечном потреблении энергоресурсов с уменьшением потребления первичного импортируемого углеводородного топлива, что позволит обеспечить необходимую загрузку мощностей станции и снизить зависимость от поставок природного газа.

В связи с этим перспективным решением представляется использование компрессионных тепловых насосов в качестве утилизаторов теплоты отработавшего агента сушки для снижения расхода топлива на подогрев воздуха.

Теплота отработавшего агента сушки является низкопотенциальным энергоресурсом. В испарителе теплового насоса эта теплота расходуется на парообразование хладона. После конденсатора агент сушки удаляется в атмосферу.

Пар низкотемпературного хладона сжимается в компрессоре. Далее высокотемпературный хладон поступает в конденсатор. В результате конденсации пара происходит предварительный нагрев наружного воздуха за счет теплоты, переданной хладону в испарителе, и работы, затраченной на привод компрессора теплового насоса. После конденсатора жидкий хладон направляется в дроссельный вентиль, а затем поступает в испаритель.

Догрев наружного воздуха до заданной температуры происходит в теплогенераторе за счет теплоты газообразных продуктов сгорания топлива. После чего приготовленный агент сушки направляется в сушильную камеру.

Выполним расчет экономии теплоты на испарение 1 кг влаги из фуражного зерна влажностью более 20 % при использовании теплового насоса в шахтной прямоточной зерносушилке.

Исходные данные к расчету:

- температура агента сушки  $t_1 = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- температура отработавшего агента сушки  $t_2 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- разность добавлений и затрат теплоты отнесенная к 1 кг испаренной влаги  $\Delta = -1450\text{ кДж/кг}$ ;
- КПД теплогенератора  $\eta_r = 0,91$ ;
- коэффициент потерь электроэнергии в электрических сетях ГПО «Белэнерго» (с учетом распределительных)  $k_{\text{сч}} = 0,08$ .

Коэффициент преобразования теплового насоса типа «воздух–воздух» в значительной степени зависит от температуры наружного воздуха  $t_0$ . При значении  $t_0 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  коэффициент преобразования теплового насоса  $\mu \approx 3,8$ .

Температура воздуха после подогрева в конденсаторе:

$$t_4 = a + b / \mu = 18 + 136,5 / 3,8 = 53,9\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  для указанного режима сушки приведены в [1].

Параметр, характеризующий процесс сушки:

$$A = 2500 + 1,88t_2 - \Delta = 2500 + 1,88 \cdot 55 - (-1450) = 4053,4\text{ кДж/кг}.$$

Расход теплоты на испарение 1 кг влаги (удельный расход теплоты) при традиционном способе сушки определяем по формуле [1]:

$$q = \frac{A(t_1 - t_0)}{(t_1 - t_2)\eta_t} = \frac{4053,4(120 - 15)}{(120 - 55) \cdot 0,91} = 7195,4 \text{ кДж/кг.}$$

Для определения удельного расхода теплоты при использовании теплового насоса в конвективной зерносушилке авторами предложено следующее уравнение:

$$q' = \frac{A}{t_1 - t_2} \left[ \frac{t_4 - t_0}{\mu(1 - k_{\text{эс}})\eta_{\text{тэс}}} + \frac{t_1 - t_4}{\eta_t} \right] =$$

$$= \frac{4053,4}{120 - 55} \left[ \frac{53,9 - 15}{3,8(1 - 0,08)} + \frac{120 - 53,9}{0,91} \right] = 5223,5 \text{ кДж/кг.}$$

В расчетах не учитывается КПД тепловой электростанции  $\eta_{\text{тэс}}$ , на которой производится электрическая энергия на привод компрессора теплового насоса, т. к. подразумевается, что электроснабжение осуществляется от БелАЭС. Использование собственной электрической энергии без затрат импортируемого топлива позволяет увеличить эффект энергосбережения.

Тогда экономия теплоты равна:

$$\Delta q = \frac{q - q'}{q} 100 = \frac{7195,4 - 5223,5}{7195,4} 100 = 27,4 \text{ \%}.$$

Объём реальной экономии тепловой энергии зависит от температуры наружного воздуха, продолжительности работы зерносушилki и режима сушки.

Эффективность применения тепловых насосов во многом определяется соотношением цен на тепловую и электрическую энергию. Снижение себестоимости электрической энергии и увеличение цен на топливо неизбежно поспособствует увеличению экономического эффекта при использовании тепловых насосов в конвективных зерносушилках.

#### Список используемых источников

1. Цубанов, А.Г. К вопросу энергосбережения в конвективных зерносушилках / А.Г. Цубанов, А.Л. Синяков, И.А. Цубанов // Агропанорама, № 3, 2009. – С. 22–27.

### **СЕКЦИЯ 3 ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В АПК**

**Белов Е.Л., к.т.н., доцент, Шаронова Т.В., к.т.н., доцент,  
Петров А.Ю., магистрант  
Чувашский государственный аграрный университет,  
г. Чебоксары**

#### **РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА ПОЧВЫ ТЕПЛИЦЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

Выращивание растений в тепличных условиях требует особого внимания ко всем нюансам и условиям. Для создания благоприятного микроклимата ранней весной необходимо обогревать почву, т.к. воздух обычно быстрее разогревается за счет солнца, а почва еще остается холодной. Также для растений особенно опасны заморозки. Поэтому обгорев почвы в тепличных условиях является актуальным.

Одним из самых простых методов обогрева является электрически нагрев. [2, 3] С этой целью на кафедре механизации, электрификации и автоматизации с.-х. производства Чувашского ГАУ разработаны различные методы подпочвенного обогрева, в том числе и за счет электричества.

Для проведения анализа электрического обогрева почвы в лабораторных условиях нами разработана принципиальная схема (рисунк 1). На схеме показана условно разделённые отдельные секции теплицы для обогрева почвы с разными источниками тепла. Секции между собой в почве разделены теплоизолятором. Каждая секция обогревается разным электрическим источником тепла. Также на схеме указаны места прокладки кабелей, места соединения, измерительные приборы. Кроме этого планируется поставить датчики температуры в каждую секцию.

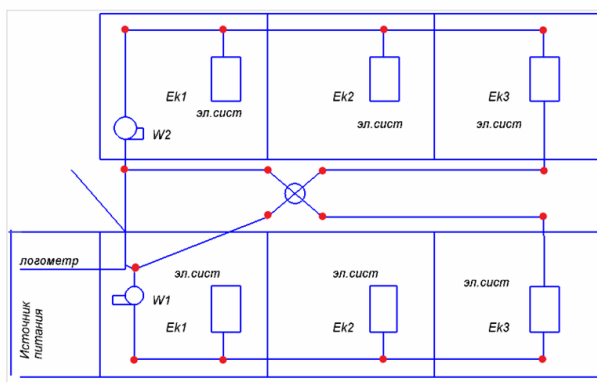


Рисунок 1. Принципиальная электрическая схема обогрева ящиков

Чтобы разные электрические системы не влияли на друг друга и для более удобного проведения исследования для каждой секции сделаны ящики (рисунок 2). Они позволят разным электрическим системам не влиять друг на друга, т.е. в каждой секции – разный источник тепла.

Источниками тепла будут использованы различные лампы накаливания (с изоляционным слоем от перегрева), греющие кабели, инфракрасный пленочный обогреватель. [1]



Рисунок 2 – Ящик для электрической системы обогрева почвы

Предварительные испытания показывают, что применение обогрева почвы в тепличных условиях дает возможность посадки

растений на 2–3 недели раньше, чем обычно. Также на обогреваемых грунтах рост и развитие стеблей растений заметно лучше.

В целом можно отметить следующие преимущества электрообогрева почвы [4, 5]:

1. Почва не будет промерзнуть даже в сильный мороз.
2. Высадку рассады можно производить раньше.
3. В теплой почве растения растут быстрее.
4. Продляется сезон сбора урожая.
5. Возможен рост растений и в холодное время года, хоть зимой, хоть холодным летом.
6. Возможно выращивание теплолюбивых растений в несвойственных для них условиях.
7. Процесс проращивания семян также ускоряется.

Оптимальной считается температура на уровне 15–25 градусов Цельсия. [6, 7] При этом не следует превышать указанные параметры, поскольку перегрев корневой системы так же, как и переохлаждение – опасен.

Для экономии нагревательных элементов следует его укладывать только в тех местах, где будут произрастать растения. Прогрев почвы под тропинками и проходами просто бессмысленен.

#### Список использованных источников

1. Белов, В.В. Обогрев теплиц естественной солнечной энергией / В.В. Белов, Е.Л. Белов, А.Г. Свешников [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. – 2019. – № 47. – С. 5–9.
2. Белов, В.В. Тепличное устройство с обогревательными элементами / В.В. Белов, Е.Л. Белов. // Вестник Чувашской ГСХА. Научный журнал. № 3(10), 2019. – С. 85–89.
3. Белов, Е.Л. Автономная теплица с подогревом почвы / Е.Л. Белов // Перспективы развития технического сервиса в агропромышленном комплексе: Сборник материалов Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции, посвященной 55-летию создания кафедры технического сервиса (ремонта машин и технологии конструкционных материалов), Чебоксары, 05 декабря 2019 года. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 419–424.
4. Патент № 2723036 С1 Российская Федерация, МПК А01G 9/24. Тепличное устройство с обогревом почвы: № 2019114890: за-

явл. 12.05.2019: опубл. 08.06.2020 / В.В. Белов, Е.Л. Белов, С.В. Белов [и др.].

5. Свешников, А.Г. Исследование температурного режима в экспериментальной теплице / А.Г. Свешников, Е.Л. Белов, В.В. Белов // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: Материалы II Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции, Чебоксары, 20 марта 2020 года. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 61–65.

6. Шаронова, Т.В. Особенности влияния дополнительного освещения в теплицах на развитие растений / Т.В. Шаронова, Е.Л. Белов, Т.П. Виеру // Духовные основы отношений человек – природа: Материалы Всероссийской (Национальной) с международным участием научно-практической конференции, Чебоксары, 21–22 января 2021 года. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2021. – С. 87–90.

7. Belov, V.V. Evaluation of the effectiveness of a helio-greenhouse with soil heating / V.V. Belov, E.L. Belov, T.V. Sharonova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Cheboksary, 10 апреля 2020 года. – Cheboksary, 2020. – P. 012021. – DOI 10.1088/1755-1315/604/1/012021.

**Бондарчук О.В.**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» г. Минск, Республика Беларусь**  
**УСТАНОВКА ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ ПИВОВАРЕННОГО**  
**ЯЧМЕНЯ ПЕРЕД СОЛОДОПРОИЗВОДСТВОМ**

С целью повышения качества солода, разработан способ обработки пивоваренного ячменя перед солодоращением [1]. Суть которого заключается в воздействии на зерно переменного электрического поля промышленной частоты и высокой напряженности. Время нахождения зерна в электрическом поле составляет 3 с, затем следует пауза (время релаксации) 5 с. Обработка повторяется дважды. Однако в литературных источниках отсутствуют сведения об устройствах, реализующих указанный режим электровоздействия. Поэтому для его осуществления, предложена конструкция



электроактиватора биологической системы ячменя, работающего в поточной линии, что обеспечивает минимальное время пребывания зерна в процессе обработки.

Предложенная конструкция состоит из секций электродов и горизонтального транспортера. Выбор конструктивных элементов электроактиватора заключается в установлении размеров устройства и подборе материалов. Расчетными параметрами являются: производительность, скорость движения ячменя в зоне обработки, геометрические размеры секции электродов, расстояние между секциями, характеристики редуктора, преобразователя частоты, электропривода. Расчету подлежит определение величины пондеромоторной силы, прижимающей зерно к электродам, время нахождения зерна в поточной линии.

Исходными данными служат технологические требования к процессу соложения – доза энергии, диапазон напряженности электрического поля в ячмене, экспозиция, режим обработки, влажность зерна, технологическая схема, производительность и другие [1].

Основные конструктивные элементы электроактиватора представлены на рисунке 1. Ячмень после вторичной очистки и сортировки поступает в загрузочный бункер 1, где механизмом дозированной подачи 2 распределяется в один слой на ленту транспортера. Для устранения провисания ленты 3 под собственной тяжестью и зерном, под ней располагают армирующую текстолитовую пластину 7. В пластине на некотором расстоянии друг от друга устанавливают три секции электродов 4. Зерно, перемещаясь на ленте над секцией электродов, попадает в зону электрообработки  $L_{сэ}$ , затем в зону релаксации  $L_{зр}$ . Этот процесс повторяется дважды. По окончании электрообработки зерно ссыпается в выгрузной бункер 9 для хранения и отлежки. Лента очищается щеткой 8, отходы сбрасываются в контейнер 10. Все элементы устройства смонтированы на раме 11 [2].

Расчета электроактиватора основана на методике инженерного проектирования горизонтального транспортера с учетом силы сопротивления, обусловленной пондеромоторной силой, влияющей на тяговое усилие при движении ленты. Которая зависит от физико-химических характеристик обрабатываемого ячменя и напряжения, подаваемого на электроды.

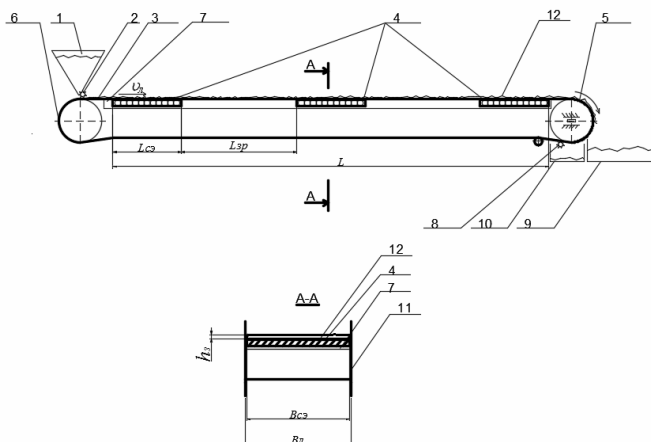


Рисунок 1 – Конструктивные элементы электроактиватора:

- 1 – загрузочный бункер; 2 – валик-дозатор; 3 – лента транспортера;
- 4 – электродные секции; 5 – натяжной барабан; 6 – приводной барабан;
- 7 – армирующая пластина; 8 – щетка; 9 – выгрузной бункер;
- 10 – контейнер для отходов; 11 – рама; 12 – обрабатываемое зерно

По данным исследований [3] величина пондеромоторной силы при использовании ячменя стандартной влажности (не более 14 %) будет мала. Поэтому при расчете силы сопротивления движению ленты, достаточно ввести коэффициент дополнительной нагрузки учитывающий силу сопротивления вызванную пондеромоторной силой –  $k_n=1,1$ .

#### Список использованной литературы

1. Пашинский, В.А. Влияние обработки пивоваренного ячменя переменным электрическим полем на экстрактивность солода. /В.А. Пашинский, Н.Ф. Бондарь, О.В. Бондарчук // Агропанорама, № 4, 2013. – С. 28–30.
2. Бондарчук, О.В. Методика расчета основных узлов электроактиватора биологической системы ячменя / О.В. Бондарчук // Агропанорама. – 2022. – № 3. – С. 25–28.
3. Тарушкин, В.И. Диэлектрическая сепарация семян : дис. ...докт. техн. наук : 05.20.02 / В.И. Тарушкин ; Московский ордена красного знамени институт инженеров с.-х. производства им. В.П. Горячкина. – Москва, 1991. – 401 с.

**Бондарчук О.В.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет» г. Минск, Республика Беларусь**  
**СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ЗАГРУЖЕННОЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ**  
**СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОАКТИВАТОРА**

Электроактиватор биологической системы ячменя предназначен для активизации ферментативных и ростовых процессов в зерне пивоваренного ячменя перед соложением. Конструктивно он может быть выполнен периодического, непрерывного и комбинированного действия.

Рассмотрим схему замещения рабочего органа – электродной секции электроактиватора непрерывного действия. Секция выполнена из параллельно уложенных проводников, имеющих изоляцию. Перемещение ячменя в зону обработки и из нее осуществляется на ленте горизонтального транспортера. Электродную секцию с транспортирующей лентой и зерном можно представить в виде схемы замещения для исследования механизма появления токов, протекающих через систему. Указанная схема замещает компоненты установки и обрабатываемый материал как элементы электрической цепи, которыми они фактически и являются (рисунок 1).

Полученная схема замещения устанавливает взаимосвязь основных параметров рабочих элементов установки с электрофизическими свойствами ячменя и позволяет разработать способы и приемы совершенствования конструкции установки. Схема замещения дает возможность рассматривать систему “изоляция электродов – транспортирующая лента – зерно – лента – изоляция электродов” как единую, характеристики которой определяются свойствами зерна, среды и параметрами электродов. Обобщенными количественными показателями этой системы являются сопротивление и емкость, образованная зерном и электродами.

Представив данную систему в виде элемента, по которому протекает общий ток, анализируя влияние на него параметров среды, можно судить об эффективности воздействия электрического поля на биотехнологические процессы.

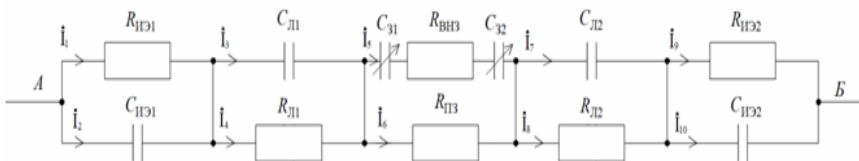


Рисунок 1 – Эквивалентная электрическая схема замещения электродной системы в режиме загрузки:

$I_1 \dots I_{10}$  – токи в ветвях, А;  $R_{ИЭ1}$ ,  $R_{ИЭ2}$  – сопротивление изоляции электродов, Ом;  $R_{Л1}$ ,  $R_{Л2}$  – сопротивление ленты, Ом;  $R_{ПЗ}$  – сопротивление поверхности зерна, Ом;  $R_{ВНЗ}$  – сопротивление внутри зерна, Ом;  $C_{ИЭ1}$ ,  $C_{ИЭ2}$  – электрическая емкость изоляции электродов, Ф;  $C_{Л1}$ ,  $C_{Л2}$  – электрическая емкость ленты, Ф;  $C_{З1}$ ,  $C_{З2}$  – электрическая емкость поверхности зерна и эндосперма, Ф

Физическую сущность элементов системы можно представить следующим образом.

К системе приложено переменное напряжение  $U_{AB}$ .

Входное сопротивление системы, Ом:

$$Z_{ЭКВ} = Z_{ИЭ1} + Z_{Л1} + Z_{ПЗ'} + Z_{Л2} + Z_{ИЭ2}, \quad (1)$$

где  $Z_{ИЭ1}$ ,  $Z_{ИЭ2}$  – комплексное значение сопротивления изоляции электрода, Ом;

$Z_{Л1}$ ,  $Z_{Л2}$  – комплексное значение сопротивления ленты, Ом;

$Z_{ПЗ'}$  – комплексное значение сопротивления зерна, Ом.

Эквивалентное сопротивление:

$$Z_{ЭКВ} = \frac{R_{ИЭ1} \cdot \left( -j \frac{1}{\omega \cdot C_{ИЭ1}} \right)}{R_{ИЭ1} - j \frac{1}{\omega \cdot C_{ИЭ1}}} + \frac{R_{Л1} \cdot \left( -j \frac{1}{\omega \cdot C_{Л1}} \right)}{R_{Л1} - j \frac{1}{\omega \cdot C_{Л1}}} + \frac{R_{ПЗ} \cdot \left( -j \frac{1}{\omega \cdot C_{ПЗ1}} + R_{ВНЗ} - j \frac{1}{\omega \cdot C_{ПЗ2}} \right)}{R_{ПЗ} - j \frac{1}{\omega \cdot C_{ПЗ1}} + R_{ВНЗ} - j \frac{1}{\omega \cdot C_{ПЗ2}}} + \frac{R_{Л2} \cdot \left( -j \frac{1}{\omega \cdot C_{Л2}} \right)}{R_{Л2} - j \frac{1}{\omega \cdot C_{Л2}}} + \frac{R_{ИЭ2} \cdot \left( -j \frac{1}{\omega \cdot C_{ИЭ2}} \right)}{R_{ИЭ2} - j \frac{1}{\omega \cdot C_{ИЭ2}}}. \quad (2)$$

где  $\omega$  – угловая частота, рад/с.

Ток в комплексном виде:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{ЭКВ}}. \quad (3)$$

Полная мощность, потребляемая системой при обработке (без учёта потерь в окружающую среду):

$$\dot{S} = \dot{U}_{AB} \cdot \dot{I}^* = \frac{\dot{U}_{AB}^2}{\left( \frac{R_{III} \cdot \left( -j \frac{1}{\omega \cdot C_{III}} \right) + R_L \cdot \left( -j \frac{1}{\omega \cdot C_L} \right)}{R_{III} - j \frac{1}{\omega \cdot C_{III}}} + \frac{R_L \cdot \left( -j \frac{1}{\omega \cdot C_L} \right)}{R_L - j \frac{1}{\omega \cdot C_L}} + \frac{R_{II} \cdot \left( -j \frac{1}{\omega \cdot C_{II}} + R_{ВНЗ} - j \frac{1}{\omega \cdot C_{II}} \right)}{R_{II} - j \frac{1}{\omega \cdot C_{II}} + R_{ВНЗ} - j \frac{1}{\omega \cdot C_{II}}} \right)} + , \quad (4)$$

$$+ \frac{R_L \cdot \left( -j \frac{1}{\omega \cdot C_L} \right)}{R_L - j \frac{1}{\omega \cdot C_L}} + \frac{R_{III} \cdot \left( -j \frac{1}{\omega \cdot C_{III}} \right)}{R_{III} - j \frac{1}{\omega \cdot C_{III}}} \right)$$

где,  $\dot{I}^* = \pm \dot{I}$ .

Схема замещения имеет принципиальное значение для расчета установки под нагрузкой и подбора конструктивного решения с целью осуществления необходимого энергетического воздействия. С ее помощью определяют характеристики основных элементов системы, а также энергетические показатели работы оборудования. Это позволяет не останавливаться на определенной конструкции установки. Схема замещения дает возможность численно моделировать другие варианты исполнения электроактиватора.

#### Список использованной литературы

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник для бакалавров / Л.А. Бессонов. – 12-е изд., исправ. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2016. – 701с.

**Гвоздев А.В., к.т.н., Клевцова Т.А., к.т.н.,  
Старовойт Н.А., аспирант, Зайцев Р.Р., аспирант  
Мелитопольский государственный университет,  
г. Мелитополь, Россия  
ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА  
С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЕГО СЕПАРАЦИЕЙ**

Повысить эффективность измельчения зерна можно за счет многоступенчатого его дробления и удаления измельченных частиц из

камеры дробления, при переходе от одной ступени дробления к другой, что означает, отсутствие переизмельчения материала и уменьшение массы циркулирующей нагрузки. А для снижения энергоемкости процесса и эффективного измельчения зерна необходимо направленное его движение навстречу рабочему органу для осуществления прямого удара. Более того, прямой удар должен быть сделан тонкими молотками, например, в виде пальцев, стержней [1].

Повысить производительность дробилки можно путем предварительной сепарации зерна и увеличения интенсивности сепарации решётной поверхности за счет применения специальной формы разделяющих поверхностей, например, поверхностей брахистохронного свойства [2].

Основываясь на вышесказанном и на результатах наших собственных исследованиях, мы разработали способ сепарации зерна и подачи его на измельчение, который реализован следующим образом (рисунок 1).

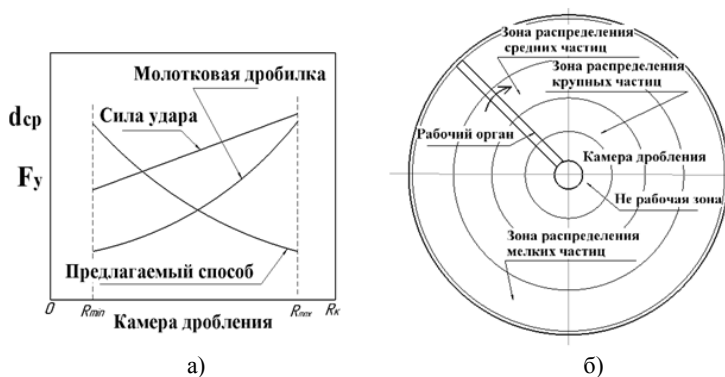


Рисунок 1: а) – графики распределения частиц зерна по размеру и силе удара в зоне дробления; б) – Распределение фракций зерна по камере дробления после предварительной сепарации.

Предварительно очищенное зерно гравитационно подается на устройство для предварительной сепарации на фракции по размеру с помощью поверхностей брахистохронного свойства с щелевыми отверстиями. Разделение зерна с помощью поверхностей брахистохронного свойства с щелевыми отверстиями обеспечивает выделение сначала фракций большего размера, затем среднего и далее мелкого (рисунок 1б). Что обеспечивает рациональный режим загрузки камеры измельчения от центра до периферии, что соответ-

ствует рациональному распределению силы удара на измельчение для каждой фракции в отличие от молотковой дробилки (рисунок 1а). Это приводит к существенному снижению удельной энергоёмкости измельчения зерна и повышению качества дробления.

Были проведены экспериментальные исследования для определения основных конструктивных и технологических параметров дробилки с предварительным гравитационным разделением зерна. На основании полученных экспериментальных данных делаем вывод, что получение готового продукта заданного гранулометрического состава, в зависимости от выбранного режима работы дробилки прямого удара с предварительной сепарацией зерна возможно. Что соответствует цели исследования.

В соответствии с частотным распределением фракций зерна в кинематическом режиме измельчения и параметрами дробилки прямого удара зерна при производительности  $Q = 800 \dots 1100$  кг/ч. и частоте вращения ротора  $n = 2000$  об / мин. содержание фракции пыли (диаметр менее 0,25 мм) в готовом продукте при влажности зерна 14...15 % составляет: для пшеницы – 2,77 %; ячменя – 2,86 % и их смеси не более 2,81 %. Это в 3 ...5 раз меньше, чем при измельчении на молотковых дробилках. Качественная оценка полученного продукта соответствует установленным стандартам зоотехнических требований. Удельная энергоёмкость процесса измельчения зерна в дробилке прямого удара с предварительной сепарацией зерна в 1,2 ...1,5 раза меньше, чем у молотковой и других дробилок (рисунок 2).

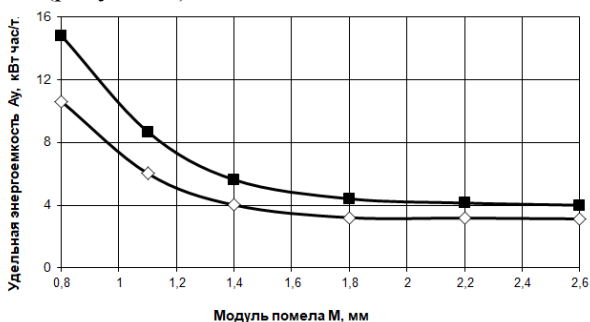


Рисунок 2 – Зависимость удельной энергоёмкости дробилок от модуля помола:



- экспериментальная дробилка;
- молотковая дробилка

На основе анализа полученных данных имеем, что для получения максимальной однородности измельченного материала необходимо применять подачу зерна на измельчение с предварительной сепарацией на фракции, осуществлять измельчение его прямым ударом и удаление измельченных частиц из дробильной камеры по мере их образования. При этом удельная энергоемкость дробилки с предварительной сепарацией зерна в 1,2...1,5 раза меньше, чем у молотковой.

Список использованных источников.

1. Семенов Е.В., Коробицын А.А., Карамзин В.А. Определение эффективности измельчения зерна в молотковой дробилке // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1995. – №1. – С. 38–40.
2. Некрасов А.В. Совершенствование процесса гравитационной классификации зернистых смесей и расширение области применения гравитационных сепараторов: Автореф. дис....канд. техн. наук. Воронеж. – 2001. – 19 с.

**Гвоздев А.В., к.т.н., доцент, Мирошниченко Я.А., аспирант  
Мелитопольский государственный университет,  
г. Мелитополь, Россия  
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СМЕСИТЕЛИ  
ГРАВИТАЦИОННОГО ТИПА**

Современное состояние агропромышленного комплекса требует использование широкой гаммы многокомпонентных смесей различных сыпучих материалов (комбикорма, пищевые добавки, удобрения и т.д.). Создание экономичных высокоэффективных путей реализации процесса смешивания сыпучих компонентов и оборудования для его реализации – одна из проблем в развитии машиностроения [1]. Традиционно используемые конструкции смесительного оборудования, реализуют стохастический по характеру процесс. Получение готовых смесей высокой степени однородности требует значительных затрат как на стадиях проектирования, так и доводки новых образцов техники. Среди причин неудач проектирования конструкций смесителя следует выделить объективные: специфичность свойств системы "сыпучие компоненты – их смесь", непостоянство свойств этих видов материи и



субъективные: отсутствие надежной информации о происходящем при "смешивании - сегрегации" и приверженность проектировщиков к традиционности в принятии решений. Устранение названных причин в принципе возможно двумя путями. Первый путь – это исследование происходящего при обработке (механические процессы) сыпучих материалов с целью получения надежных с точки зрения описания, физически понимаемых картин. Отметим, что это направление весьма трудоемко и длительно по времени преодоления. Второй путь – устранение отрицательного влияния недостаточности информации при проектировании на качество получаемого решения более актуален. Используя этот подход, возможно уже сегодня получить хорошие результаты при создании конструкций смесителей, снижающих отрицательное влияние нашего незнания о процессе на качество получаемого продукта.

К рассмотрению предложен ряд конструкций смесителей, отличных от традиционно используемых. Следует отметить, что традиционные конструкции отличает простота, сравнительно низкая стоимость и невысокий уровень качества смеси.

Существует несколько видов конструкций [2] гравитационных смесителей непрерывного действия: ударно-распылительный, виброгравитационный и др.

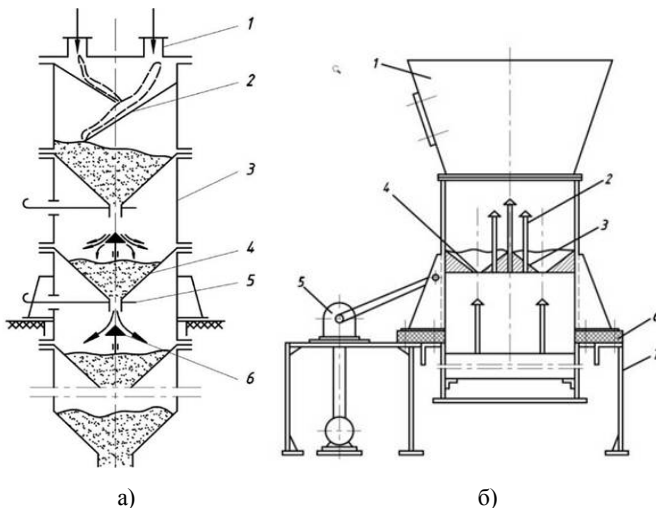


Рисунок 1 – а) схема ударно-распылительного смесителя (обозначение по тексту); б) схема виброгравитационного смесителя (обозначение по тексту).

На рисунке 1 а) приведена схема ударно-распылительного смесителя. В данном типе смесителя, материал по секциям перемещается вниз под действием сил тяжести.

Струя высыпающихся сыпучих компонентов из приемный патрубков 1 попадая на наклонный желоб 2, распыляется ударом об отражатели и обечайку 3, установленные в каждой секции, в результате чего получающийся факел приобретает форму полого параболоида. Перемешивание материала происходит как при ударе об отражатель, так и при перемещении по конусообразному днищу 4, после чего попадая на задвижку 5 и ударно-распылительную насадку 6. Гравитационные смесители рассмотренных конструкций пригодны для смешивания лишь хорошо сыпучих материалов (сухих комбикормов, кварцевого песка, соли, каменного угля, семян).

Виброгравитационный смеситель на рисунке 1, б) состоит из нескольких секций прямоугольного сечения, расположенных вертикально друг над другом. На верхней секции имеется дозатор 1 непрерывного действия, способный принимать до шести разных компонентов одновременно. В каждой секции смесителя на различной высоте установлены ударно-распылительные отражатели, а также имеется днище 3 с четырьмя отверстиями 4. Принцип перемещения материала по секциям схож с таковым в ударно - распылительном, но в ходе его пересыпания в виброгравитационном смесителе происходит образование несколько факелов распыла, в остальном процесс аналогичен. Из нижней секции готовая смесь поступает в тару через выходное отверстие. Процесс перемешивания материалов, в основном, происходит при образовании нескольких факелов распыла частиц, перекрещивании их траектории полета и перемещении по стенкам днища. Застой частиц на стенках днищ в секциях предотвращается вибрацией смесителя, передаваемой пневматическим либо механическим эксцентриковым вибратором 5. Корпус смесителя установлен на резинометаллическом амортизаторе 6, который смонтирован на станине 7.

Таким образом на основании сделанного выше обзора гравитационных смесителей непрерывного действия мы можем сделать вывод о том, что смесители ударно-распылительного типа менее энергоемкие за счет простоты конструкции и техобслуживания, отсутствие движущихся рабочих органов и соответственно их ремонта и низких энергозатрат на единицу готовой смеси. Также в смесите-

лях данного типа эффективность смешивания возрастает с увеличением числа пересечений траекторий и встречных движений компонентов, высокой температуры гранулированной среды, которая создаст благоприятные условия для наиболее полного взаимного проникновения смешиваемого материала.

#### Список использованных источников

1. Гусев Ю.И. Конструирование и расчет машин химических производств/Ю.И. Гусев, И.Н. Карасев, Э.Э. Кольман-Иванов и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
2. Анциферов С.И. Повышение эффективности процесса смешивания, а счет совершенствования конструкции планетраного смесителя: Дисс. канд. техн. наук. – Белгород, 2017. – 187 с.

**Домбровская Я.П., к.т.н., доцент**  
**ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет**  
**инженерных технологий», г. Воронеж**  
**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ**  
**ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБА С ВОДНО-МЕДОВЫМ**  
**ЭКСТРАКТОМ ТРАВЫ ЗВЕРОБОЯ, СБРОЖЕННЫМ**  
**МОЛОЧНОКИСЛЫМИ БАКТЕРИЯМИ**

С целью изучения влияния параметров замеса теста для пшеничного хлеба на показатели качества готовых изделий, было применено центральное композиционное ротатабельное униформ-планирование. Метод позволяет получить математическое описание исследуемого процесса, некоторой локальной области фактического пространства, так называемых «звездных точек», что позволяет построить математическую модель в виде уравнения регрессии второго порядка. Уравнение регрессии позволяет геометрически интерпритировать результаты планирования эксперимента.

Основными факторами, влияющими на показатели качества изделия (за образец был взят хлеб белый из пшеничной муки высшего сорта ГОСТ 26987-86) определены: влажность теста –  $X_1$ , %, дозировка сброженного экстракта травы зверобоя –  $X_2$ , %. Все эти факторы совместимы и некоррелированы между собой. Критерием оценки влияния условий приняли удельный объем –  $Y_1$ , см<sup>3</sup>/100 г

массы и пористость изделий –  $Y_2$ , %. Пределы изменения факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики планирования

| Характеристики планирования | $x_1$ , % | $x_2$ , % |
|-----------------------------|-----------|-----------|
| Основной уровень            | 44,50     | 6,00      |
| Интервал варьирования       | 3,00      | 3,00      |
| Верхний уровень             | 47,50     | 9,00      |
| Нижний уровень              | 41,50     | 3,00      |
| Верхняя «звездная» точка    | 48,74     | 10,02     |
| Нижняя «звездная» точка     | 40,26     | 1,76      |

В результате статистической обработки экспериментальных данных получили уравнения регрессии, адекватно описывающие при 5 %-ном уровне значимости данный процесс под влиянием исследуемых факторов:

$$Y_1 = 349,0 - 1,9X_1 - 0,41X_2 + 0,5X_1 \cdot X_2 - 5,28X_1^2 - 4,53X_2^2, \quad (1)$$

$$Y_2 = 75,91 - 1,61X_1 - 3,64X_2 + 0,63X_1 \cdot X_2 - 2,58X_1^2 - 2,45X_2^2. \quad (2)$$

Поверхности отклика, описываемые уравнениями (1 и 2) приведены на рисунке 1, центры поверхностей отклика  $y_1$  и  $y_2$  расположены в окрестности центра плана эксперимента.

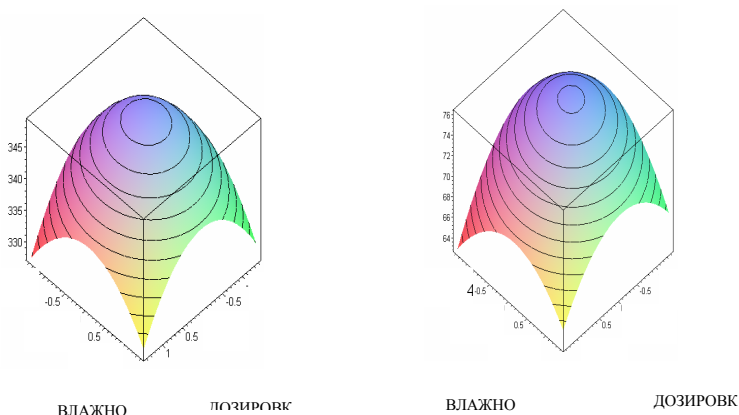


Рисунок 1 – Поверхности отклика зависимости удельного объема  $y_1$ ,  $\text{см}^3/100 \text{ г}$  и пористости  $y_2$ , % от влажности теста  $x_1$ , % и дозировки СБВМЭ травы зверобоя  $x_2$ , %

Для поиска оптимальных параметров  $x_1$  и  $x_2$  сформулировали задачу оптимизации следующим образом. Необходимо найти такие значения независимых переменных  $x_1$  и  $x_2$ , обеспечивающих заданные значения функций отклика  $y_1 = f_1(X_1, X_2)$  и  $y_2 = f_2(X_1, X_2)$ . Значения независимых переменных  $X_1$  и  $X_2$  при этом не должны выходить за область эксперимента, границы которой определяются значениями факторов в звездных точках. Указанное ограничение аналитически может быть записано в виде выражения:

$$\varphi(X_1, X_2) = X_1^2 + X_2^2 = \rho^2, \quad (3)$$

что в факторном пространстве (в случае двух независимых переменных) представляет собой сферу радиусом  $\rho$ , центр которой совпадает с центром эксперимента. Таким образом, задача оптимизации аналитически записывается как

$$\begin{cases} y_1(X_1, X_2) \rightarrow \max \\ 80 \leq y_2(X_1, X_2) \leq 90; \\ X_1^2 + X_2^2 = \rho^2 \end{cases} \quad (4)$$

Для решения поставленной задачи воспользовались методом неопределенных множителей Лагранжа. Для этого составили целевую функцию вида

$$F(X_1, X_2, \lambda) = y_1(X_1, X_2) + \lambda \varphi(X_1, X_2), \quad (5)$$

где  $\lambda$  – неопределенный множитель Лагранжа.

С учетом уравнений (4) и (5) получили целевую функцию  $F(X_1, X_2, \lambda) = 349,0 - 1,9X_1 - 0,41X_2 + 0,5X_1 \cdot X_2 - 5,28X_1^2 - 4,53X_2^2 + \lambda(X_1^2 + X_2^2 - \rho^2)$ , (6)

Составим систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{dF(X_1, X_2, \lambda)}{dX_1} = -1,9 + 0,5X_2 - 10,56X_1 + 2\lambda X_1 = 0 \\ \frac{dF(X_1, X_2, \lambda)}{dX_2} = -0,41X_2 + 0,5X_1 - 9,06X_2 + 2\lambda X_2 = 0 \\ \frac{dF(X_1, X_2, \lambda)}{d\lambda} = X_1^2 + X_2^2 - \rho^2 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Для решения системы уравнений (7) с последующим вычислением значений функций отклика воспользовались интегрирован-

ным пакетом MAPLE 8. Расчет вели при изменении радиуса сферы в диапазоне от 1,4 до 0.

Таким образом, с помощью математического аппарата подтверждена рациональная дозировка сброженного экстракта травы зверобоя – 6,00 % при влажности теста 43,5 %. Эти значения параметров обеспечивают максимальные значения удельного объема ( $355,00 \text{ см}^3/100 \text{ г массы}$ ) и пористости (80,00 %).

#### Список использованных источников

1. Домбровская, Я.П. Анализ технологических факторов, влияющих на экстрагирование биологически активных веществ из растительного сырья [Текст] / Я.П. Домбровская // Материалы LX отчётной научной конференции преподавателей и сотрудников ВГУИТ за 2021 г. в 3 частях. под ред. О.С. Корнеевой; Воронеж. гос. ун-т инж. технолог. – 2022 г. С. 17.

**Дубодел И.Б., к.т.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент,  
Кардашов П.В., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ВОЗМОЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ  
рН ВОДНЫХ РАСТВОРОВ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ**

Изменение рН в водных растворах солей будет происходить в том случае, если электрохимически изменять концентрацию либо ионов водорода, либо ионов гидроксила.

Уменьшение ионов водорода, т.е. повышение рН раствора будет происходить в том случае, если на катоде будет достигнут потенциал более отрицательный, чем потенциал водородного электрода, соответствующий окислительно-восстановительному равновесию:  $2H^+ + 2e = H_2$ :

$$\varphi_{H_2} = \varphi_{H_2}^0 + \frac{2,303RT}{2F} \lg \frac{P_{H_2}}{a_{H^+}^2} = -0,0591 \text{pH}.$$

Уменьшение ионов гидроксила, т.е. понижение рН, будет наблюдаться в прианодной зоне при достижении потенциала более

положительного, чем потенциал кислородного электрода, соответствующий окислительно-восстановительному равновесию:

$$2OH = 1/2O_2 + H_2O + 2e.$$

$$\varphi_{O_2} = \varphi_{O_2}^0 + \frac{2,303RT}{2F} \lg \frac{P_{O_2}}{a_{OH^-}^2} = 1,23 - 0,0591 \text{pH}.$$

Использование разделительной мембраны значительно усложняет картину изменения pH в прианодном и прикатодном пространствах, поскольку на процесс электролиза накладывается изменение концентрации за счет переноса ионов, который будет изменяться во времени, что означает изменение чисел переноса. В случае электролиза раствора соли, содержащего различные катионы и анионы, в двухмерном диафрагменном электролизёре числа переноса  $i$  – катиона и  $j$ -го аниона определяют уравнениями:

$$n_{k_i} = \frac{C_{k_i}^A \lambda_{k_i}}{\sum_{i=1}^a C_{k_i}^A \lambda_{k_i} + \sum_{j=1}^b C_{A_j}^k \lambda_{A_j}}.$$

$$n_{A_j} = \frac{C_{A_j}^k \lambda_{A_j}}{\sum_{i=1}^a C_{k_i}^A \lambda_{k_i} + \sum_{j=1}^b C_{A_j}^k \lambda_{A_j}},$$

где  $\lambda_{k_i}, \lambda_{A_j}$  – подвижности  $i$ -го катиона и  $j$ -го аниона (значки  $k$  и  $A$  обозначают катодное и анодное пространство,  $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$ )

Решение этих уравнений, а также уравнения, учитывающего начальную концентрацию веществ, объём анодного и катодного пространства, диффузионную и электрическую миграцию, фазово-дисперсные превращения представляет собой искомую модель расчёта изменения концентрации в рассматриваемом (катодном или анодном) пространстве при электролизе с разделительной мембранной.

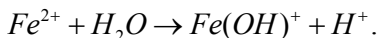
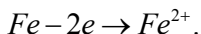
Картофельный сок, представляющий собой раствор аминокислот таких органических, как лимонная, щавелевая, яблочная, яв-

ляющихся слабыми электролитами, имеет в естественном состоянии  $\text{pH} \approx 6,5$ , что говорит о невысокой преобладающей концентрации ионов водорода.

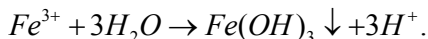
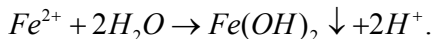
Проведение электролиза без использования разделительной мембраны не будет приводить к изменению  $\text{pH}$  подвергаемого электрохимической обработке раствора, поскольку убыль ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  будут эквивалентны. Изменение  $\text{pH}$  в прикатодном и прианодном пространствах будет наблюдаться в случае использования разделительной мембраны. Подвижность ионов водорода (предельная эквивалентная ионная электропроводность) значительно выше для иона гидроксила поэтому использование катионообменной мембраны будет предпочтительнее, т.к. носителем электричества в этом случае будут ионы водорода, тем более, что концентрация ионов водорода в картофельном соке относительно выше концентрации ионов гидроксила.

Таким образом, ИЭТ картофельного сока можно достичь, вызвав тем самым коагуляцию, электролизом на постоянном токе с применением разделительной, предпочтительно катионообменной, мембраны. В этом случае уменьшение  $\text{pH}$  будет наблюдаться в прианодном пространстве.

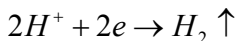
При проведении электролиза на постоянном токе лучше использовать нерастворимые электроды, т.е. такие, окислительно-восстановительный потенциал которых значительно выше, чем кислородного электрода. В первую очередь это касается материала анода. Так использование в качестве анода железных электродов будет приводить к его окислению в результате реакции



При дальнейшем окислении  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$  возможно образование и выпадение плохо растворимых гидроксидов железа  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ :



Наложение процесса восстановления ионов  $\text{H}^+$





будет приводить к росту рН во всем объёме для бездиафрагменных электролизёров и более быстрому росту рН в катодном и падению в анодном пространстве. Кроме того, объём электролизёра и продукты электролиза будут загрязняться гидроксидами двух и трёхвалентного железа, выпадающими в осадок. Использование в качестве анода не чистого, а легированного железа (сталей) приводит к повышению значения потенциала растворения (окисления), однако не исключает возможность его окисления и при использовании таких электродов возможно параллельное протекание окисления Fe и ионов  $\text{OH}^-$ .

Поэтому предпочтительнее использование анодов из углерода или графита. Однако, у этих материалов низкая термостойкость, высокая пористость.

Поэтому, наилучшим сочетанием материалов электродов при проведении электролиза на постоянном токе будет – анод, выполненный из угля или графита, по-возможности не содержащий пор, и стальной катод.

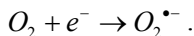
**Заяц Е.М., д.т.н., профессор, Янко М.В.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ДИСМУТАЦИЯ АЭРОИОНОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

Понятие «аэроион» объединяет положительно и отрицательно зараженные ионы:  $\text{O}^+$ ,  $\text{O}_2^+$ ,  $\text{N}^+$ ,  $\text{N}_2^+$ ,  $\text{CO}_2^+$ ,  $\text{O}^-$ ,  $\text{O}_2^-$ ,  $\text{O}_3^-$ ,  $\text{O}_4^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_4^-$ ,  $\text{OH}^-$ . Образуются они в результате ионизации газов, при этом одна из нейтральных молекул окисляется, теряя электрон и превращаясь в положительный ион, а другая – восстанавливается, присоединяя электрон и приобретая отрицательный заряд.

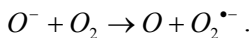
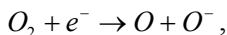
Благотворное действие отрицательно заряженных аэроионов (ОАИ) на организм впервые отметил известный российский ученый А.Л. Чижевский в 30-х годах минувшего столетия, но до сих пор, несмотря на десятилетия исследований, отношение к ОАИ неоднозначно. Сторонники идеи считают их панацеей. Противники же выражают сомнения в их биологической эффективности вообще. А при успешном лечении дыхательных путей аэроионы, тем не менее, в легких не обнаружены до сих пор.

Сомнения о влиянии аэроионов подкрепляются неясностью, как такое малое количество может воздействовать на среду. Искусственная ионизация создает  $10^{10}$ - $10^{12}$  ионов в  $\text{м}^3$  воздуха, в котором содержится около  $2,7 \times 10^{25}$  молекул. Или, например, в питательной среде для выращивания дрожжей содержится ортофосфорной кислоты 0,015%, около 1,5 мМ, что соответствует примерно  $10^{23}$  ион/ $\text{м}^3$ , и  $10^{12}$  аэроионов никак не повлияют на суммарный заряд уже имеющихся ионов. Тем не менее, такое влияние есть. Не углубляясь в детали исследований, проведенных к настоящему времени, можно подытожить следующее [1-7].

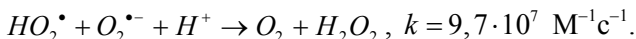
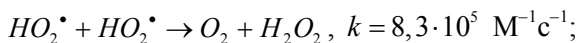
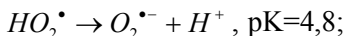
Экспериментально доказано, что биологическая активность и благотворное действие на организм связаны не с электрическим зарядом аэроионов, а с радикальной природой одного единственного иона кислорода – супероксидного анион-радикала кислорода ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ) и с образованием при его дисмутации пероксида водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) [1].  $\text{O}_2^{\bullet-}$  и  $\text{H}_2\text{O}_2$  относят к группе «активных форм кислорода» (АФК), которые при действии в больших концентрациях повреждают клетки, а в малых – являются сигнальными молекулами, выполняющими ряд регуляторных функций. То есть, биологически активные отрицательно заряженные аэроионы – это гидратированные супероксидные анион-радикалы  $(\text{O}_2^{\bullet-})(\text{H}_2\text{O}_2)_m$ , которые оказывают свое действие благодаря тому, что представляют собой свободно-радикальные частицы, порождающие все другие формы АФК, а не за счёт того, что несут электрический заряд [2]. Ключевую роль в образовании  $\text{O}_2^{\bullet-}$  выполняют свободные электроны с энергией около 40 кДж/моль, которые при взаимодействии с кислородом образуют радикал кислорода [2]:



При более высоких энергиях происходит диссоциация кислорода:



Образование  $O_2^{\bullet-}$  в биологической или модельной системе сопровождается образованием  $H_2O_2$  в результате реакции дисмутации  $O_2^{\bullet-}$  [2]:



Время жизни, химическая активность и, следовательно, расстояние, которое успевают пройти молекулы АФК до взаимодействия с мишенью, зависят от их типа. Вследствие высокой химической активности время жизни  $O_2^{\bullet-}$  составляет около  $10^{-6}$  с [2], по этому он практически неуловим. С другой стороны,  $H_2O_2$  является наиболее стабильной формой АФК, время жизни которой в клетке достигает 100 с [7]. Например в питательной среде для выращивания дрожжей отсутствуют специализированные ферменты, разлагающие  $H_2O_2$ , в результате этого время жизни и концентрация окислителя могут значительно превосходить внутриклеточные. Показано [7], что  $H_2O_2$  в концентрациях до 0,4 мМ увеличивает рост дрожжей на 30 %. Увеличение концентрации  $H_2O_2$  более 0,5 мМ вызывает гибель клеток.

По мнению авторов работы [7],  $H_2O_2$  вызывает адапционный ответ клеток, стимулируя синтез более 115 белков в хлебопекарных дрожжах *S. cerevisiae*.  $H_2O_2$ , в результате инициированных адапционных процессов, изменяет химический состав, биофизические характеристики и проницаемость плазматической мембраны *S. cerevisiae*.

Вышеизложенный обзор и наши собственные исследования [8] расширяют представление о механизме влияния ионизированного воздуха на живые объекты макро- и микромира. Показывают глубину и многогранность воздействий аэроионов, дисмутированных в активные формы кислорода, азота и другие, на обширный круг биологических, и не только, процессов, переходящих по мере их изучения, в новое направление использования электрической энергии — электронно-ионные технологии в медицине, биологии, сельском хозяйстве.

#### Список использованных источников

1. Goldstein, N.I. Negative air ions as a source of superoxide / N.I. Goldstein, R.N. Goldstein, M.N. Merzlyak // International Journal of Biometeorology. – 1992. – Vol. 36. – P. 118–122.
2. Мартинович, Г.Г. Активные формы кислорода в регуляции функций и свойств клеток: явления и механизмы / Г.Г. Мартинович // Минск : БГУ. – 2021. – 239 с.
3. Semchyshyn, H.M. Hormetic concentrations of hydrogen peroxide but not ethanol induce crossadaptation to different stresses in budding yeast / H.M. Semchyshyn // International journal of microbiology. – 2014. – Vol. 2014. – Article ID 485792. – 5 p.
4. Multiple means to the same end: the genetic basis of acquired stress resistance in yeast / Berry D.B., [et al.] // PLoS Genetics. – 2011. – Vol. 7, № 11. – e1002353. – 11 p.
5. Lushchak, V.I. Adaptive response to oxidative stress: bacteria, fungi, plants and animals / V.I. Lushchak // Comparative Biochemistry and Physiology C. – 2011. – Vol. 153, № 2. – P. 175–190.
6. Demirovic, D. Establishing cellular stress response profiles as biomarkers of homeodynamics, health and hormesis / D. Demirovic, S. I. S. Rattan // Experimental Gerontology. – 2012. – Vol. 48, № 1. – P. 94–98.
7. Acetate but not propionate induces oxidative stress in baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae* / H. Semchyshyn, [et al.] // Redox Report. – 2011. – Vol. 16, № 1. – P. 15–23.
- 8 Заяц, Е.М. Влияние отрицательно заряженных аэроионов на среду выращивания *Saccharomyces cerevisiae* / М.В. Янко, Е.М. Заяц // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2022. – № 3 – С. 62–68.

**Кардашов П.В., к.т.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент,  
Дубодел И.Б., к.т.н., доцент; Мрыхин Ф.И., аспирант  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

Экспериментальный образец электрохимической установки УЭХ-60 для приготовления консерванта разработан совместно с

ГПО «Белагромаш» в соответствии с техническим заданием и прошел испытания в научно-исследовательской лаборатории УО «БГАТУ».

Электрохимическая установка позволяет получать активированные водно-солевые растворы (анолит и католит), которые могут использоваться в качестве консерванта, дезинфицирующих, стерилизующих, моющих и других растворов. В зависимости от области применения параметры получаемого на установке активированного раствора могут изменяться.

Установка комплектуется реактором (рисунок 1) производительность 60 л/ч, содержащим 5 электродов. Основными частями реактора являются: винипластовый корпус 1, контакты 2, мембраны 3 и электроды 4.

Электроды выполнены из титана. Размеры электродов (ширина х высота) 200 х 300 мм. Расстояние между электродами – 9 мм. Расстояние от электрода до мембраны 4,5 мм.

Анод покрыт окисью рутени. Катод не покрывают.

Мембрана – хлорированная ткань, прошедшая усадку.

Источник постоянного тока обеспечивает максимальный ток 20А, напряжение 80 В, работает в непрерывном режиме и позволяет регулировать ток.

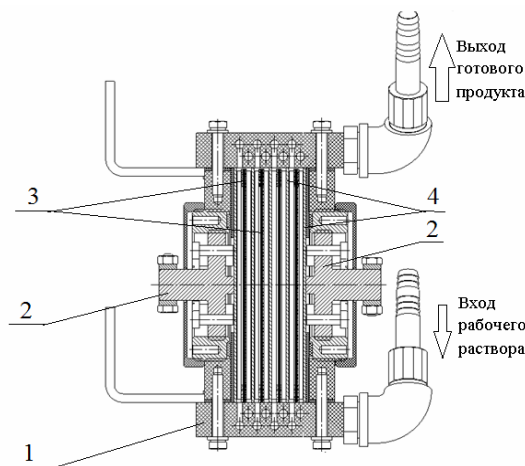


Рисунок 1 – Реактор (вид с боку в разрезе)

1 – корпус; 2 – контакты; 3 – мембраны; 4 – электроды

Принцип работы установки заключается в следующем. Водно-солевой раствор активируется в электрохимической установке и разделяется на две фракции «Анолит» (консервант, дезинфицирующий и стерилизующий раствор) и «Католит» (моющий и регенерирующий раствор). Степень активации получаемых анолита и католита регулируется путём изменения скорости подачи и (или) концентрации раствора соли, а также изменением силы тока.

Предварительными испытаниями определены фактические значения показателей установки электрохимической УЭХ-60.

Соответствие технических параметров установки техническому заданию представлено в таблице 1.

В процессе предварительных испытаний выявлены недостатки: производительность установки за час основного времени по анолиту и католиту, рабочий ток и напряжение не соответствовали техническому заданию.

Для устранения выявленных недостатков выполнены следующие мероприятия: уменьшено расстояние между электродами в камерах реактора до 8 мм; увеличено количество электродов до 8 шт., мембран до 7 шт.

Таблица 1 – Технические параметры установки

| Наименование показателей                                         | Значения                            |             |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------|
|                                                                  | по техническому заданию             | по факту    |
| 1                                                                | 2                                   | 3           |
| 1. Тип                                                           | Стационарная, переносная            |             |
| 2. Источник электропитания                                       | сеть переменного тока, 220 В, 50 Гц |             |
| 3. Номинальная мощность, Вт, не более                            | 800                                 | 800         |
| 4. Производительность за час основного времени, л/час, не менее: |                                     |             |
| - суммарная                                                      | 120                                 | 116,4       |
| - по анолиту                                                     | 60                                  | 58,2        |
| - по католиту                                                    | 60                                  | 58,2        |
| 5. Рабочее напряжение, В                                         | 40                                  | 80          |
| 6. Рабочий ток, А                                                | 20                                  | 16          |
| 7. Габаритные размеры установки, мм, не более:                   | 400х600х650                         | 400х600х650 |
| 8. Масса, кг, не более:                                          | 46                                  | 45          |
| 11. Обслуживающий персонал, чел.                                 | 1                                   | 1           |

С учетом устранения выявленных в процессе испытаний недостатков и внедрения соответствующих корректирующих мероприятий технические параметры установки УЭХ-60 приведены в соответствии с техническим заданием.

**Клевцова Т.А., к.т.н., Гвоздев А.В., к.т.н., Зайцев Р.Р., аспирант  
Мелитопольский государственный университет,  
г. Мелитополь, Россия**

## **СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА**

Наряду с неоспоримыми преимуществами молотковым дробилкам свойственны и недостатки. Это относительно высокая энергоемкость процесса, неравномерность гранулометрического состава получаемого продукта, повышенное содержание пылевидной и переизмельченной фракций, приводящие к увеличению энергозатрат. Значительные затраты энергии, необходимые на дробление и большие объемы работ ставят вопросы об удельных затратах энергии, производительности, металлоемкости дробилок на первое место [1].

Поэтому разработка и усовершенствование малоэнергоемных и надежных технических средств для измельчения зерна, которые обеспечивают снижение энергопотребления и улучшают качество готового продукта, является актуальным и важным заданием.

Технологические схемы измельчения зерна сегодня развиваются в направлении снижения энергозатрат, улучшения качества, равномерности помола и расширения технологических возможностей [1,2,3].

К дробилкам кормов на сегодняшний день предъявляются довольно жесткие требования, среди которых: простота и надёжность конструкции, компактность установки, равномерность гранулометрического состава измельчённого материала и невысокая энергоемкость процесса дробления.

Исходя из основных направлений развития технологических схем измельчения зерна и требований, которые предъявляют к дробилкам, рассмотрим основные пути повышения эффективности измельчения зерна и совершенствования конструкции дробилки, направленные на снижение энергоемкости процесса.

С целью снижения энергозатрат на процесс получили развитие многоступенчатые схемы измельчения кормов, в которых материал проходит обработку последовательно через несколько измельчителей, и конечная степень измельчения достигается постепенно.

Обзор научно-технической литературы показывает, что все исследователи указывают на высокую эффективность технологии многоступенчатого измельчения зерна, с уменьшением энергозатрат, т. как происходит процесс постепенного уменьшения размеров частиц и, следовательно, требуется меньшая интенсивность воздействия рабочих органов на материал. В некоторых схемах измельчения при переходе от ступени к ступени осуществляется удаление измельчённых частиц из дробильной камеры, а значит, отсутствует переизмельчение материала и происходит уменьшение массы циркулирующей нагрузки [2,3].

В молотковых дробилках основными рабочими органами, осуществляющими процесс разрушения материала, являются ротор с молотками, решета и деки. Исследователи [1] отмечают, что наиболее эффективными являются тонкие молотки. Авторы, предполагая величину импульса от удара тонкого и толстого молотка одинаковой, считают, что интенсивность разрушения материала тонкими молотками более вероятна. Исследованиями [4] доказано преимущество тонких молотков меньшим сопротивлением воздушному потоку. С уменьшением толщины молотков понижается также и удельный расход энергии. Недостатком тонких молотков является их быстрый износ. Однако с развитием современных технологий конструкционных материалов этот недостаток вполне может быть устранен. Поэтому, в качестве рабочего органа в дробилке можно применить сверхтонкий молоток в виде тонкого металлического стержня или металлической струны из высокопрочного материала.

О роли решета в рабочем процессе молотковых дробилок авторы научных работ высказывают разные мнения. Установка в дробильной камере еще и бокового решета увеличивает производительность и снижает энергоемкость [1]. При этом модуль помола увеличивается, а количество мучной фракции уменьшается.

Повысить производительность дробилки можно путем предварительной сепарации зерна [5] и увеличения интенсивности сепарации решётной поверхности за счет применения специальной



формы разделяющих поверхностей, например, поверхностей брахистохронного свойства [6].

Проведенный анализ научных публикаций позволил выявить наиболее перспективные пути совершенствования конструкций молотковых дробилок: снижение удельного расхода энергии и удельной металлоемкости за счет применения в качестве рабочего органа в дробилке сверхтонкого молотка в виде тонкого металлического стержня из высокопрочного материала; максимальное выделение измельчённого продукта заданной крупности за счёт создания эффективных конструкций сепараторов для предварительной сепарации зерна и отвода продуктов измельчения; увеличение интенсивности сепарации решётной поверхности за счет применения специальной формы разделяющей поверхности, например, поверхности брахистохронного свойства; максимальное использование периферийной и торцевых поверхностей дробильной камеры.

#### Список использованных источников

1. Поярков М.С. Совершенствование рабочего процесса молотковых дробилок с жалюзийными сепараторами при одно- и двухступенчатом измельчении зерна. Автореф. дис. ...канд. техн. наук. Киров – 2001. – 22 с.
2. Алешкин В.Р. Повышение эффективности процесса и технических средств механизации измельчения кормов: Дис...д-ра техн. наук. Киров – 1995. – 412 с.
3. Денисов В.А. Повышение эффективности процесса измельчения зерновых компонентов комбикормов: Автореф. дис. ...д-ра. техн. наук. Москва – 1992. – 32 с.
4. Семенов Е.В., Коробицын А.А., Карамзин В.А. Определение эффективности измельчения зерна в молотковой дробилке // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1995. – №1. – С. 38–40.
5. Шпиганович Т.А. Совершенствование процесса предварительной сепарации зерна в дробилке прямого удара: Автореф. дис... канд. техн. наук. Симферополь – 2012. – 20 с.
6. Некрасов А.В. Совершенствование процесса гравитационной классификации зернистых смесей и расширение области применения гравитационных сепараторов: Автореф. дис....канд. техн. наук. Воронеж. – 2001. – 19 с.

**Ключников А.И., д.т.н., доцент,  
Ключникова Д.В., к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет  
инженерных технологий», г. Воронеж  
ПРИМЕНЕНИЕ НЕПРОНИЦАЕМЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ  
ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ТРУБЧАТЫХ МЕМБРАННЫХ  
МОДУЛЕЙ**

Выпускаемые на сегодняшний день мембранные аппараты призваны реализовывать различные задачи по очистке, разделению и / или концентрированию жидких пищевых сред. Очень часто технологическая эффективность мембранных аппаратов существенно ограничена явлением концентрационной поляризации на поверхности полупроницаемых мембран. В этом случае приходится применять разнообразные мероприятия по удалению слоя высокой концентрации с поверхности мембран, восстанавливая, тем самым, их пропускную способность.

Большинство существующих трубчатых мембран не позволяют конструктивно устанавливать внутри них турбулизаторы для интенсификации гидродинамических условий, поэтому, приходится ограничиваться узким набором мероприятий по снижению явления концентрационной поляризации.

Благодаря современным технологиям 3D-печати стало возможно получение пористых материалов абсолютно любой конфигурации, что открывает перспективные возможности для интенсификации мембранных процессов.

За счет применения непроницаемых эластомеров внутри трубчатого мембранного канала увеличенного диаметра стало возможным создание гидродинамических условий переменной интенсивности [1–3].

Например, в мембранном аппарате с нестационарной гидродинамикой (рисунок а) непроницаемый эластичный рукав позволяет обеспечить: низкий уровень концентрационной поляризации вследствие противоточного движения цепи с набором шаровых элементов и разделяемого потока; полную герметизацию отвода продуктов разделения, благодаря использованию непроницаемого рукава; сохранность мембранной поверхности в результате защиты

движущихся частей аппарата непроницаемым рукавом; получение широкого диапазона производительности за счет изменения гидродинамических условий в аппарате, связанных с частотой вращения ведомой звездочки и скоростью прокачки разделяемого потока [4].

В мембранном аппарате с импульсным режимом фильтрации (рисунок б) применение эластомера позволяет обеспечить: эффективную регенерацию пор мембраны и ее поверхности вследствие импульса потенциальной энергии потока исходного раствора, создаваемого образующимися кольцевыми выступами непроницаемого рукава и кольцами, размещенными на мембранной поверхности; широкий диапазон производительности за счет вариаций гидродинамических параметров потока исходного раствора в мембранном канале, осуществляемых изменением конфигурации профильных элементов, их относительным расположением на валу и частотой вращения последнего; бережную обработку исходного раствора за счет отсутствия сдвиговых напряжений со стороны непроницаемого рукава и контакта с вращающимися деталями аппарата [5].

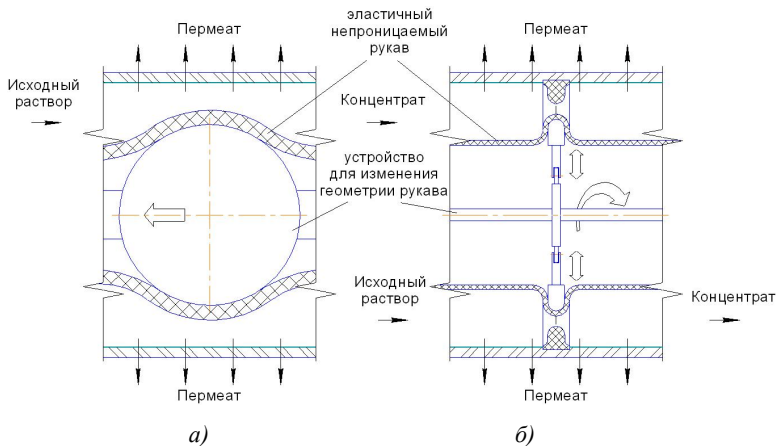


Рисунок – Техническая реализация непроницаемого эластомера внутри трубчатого мембранного модуля.

#### Список использованных источников

1. Ключников, А.И. и др. Мембранные аппараты, реализующие гидродинамическую неустойчивость на межфазной границе «мембрана - исходный раствор» [Текст] / А.И. Ключников, А.И. Потапов,

Д.В. Ключникова. Сборник тезисов IX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии». – Т 2. Инженерные технологии / под общ. ред. А.Ю. Просекова; ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет». – Кемерово, 2021. – С. 51–53.

2. Антипов, С.Т. и др. Интенсификация процессов переработки жидких пищевых сред мембранными методами [Текст] : монография / С.Т. Антипов, А.И. Ключников; Воронеж. гос. ун-т инж. техн. – Воронеж: ВГУИТ, 2017. – 304 с.

3. Ключников, А.И. и др. Создание мембранных аппаратов трубчатого типа при исследовании процессов в биореакторах [Текст]: А.И. Ключников, А.И. Потапов, В.В. Колядин // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. – №1. – Т. 79. – С. 55–61.

4. Пат. № 2174432 РФ МПК В01 D63/06. Мембранный аппарат с нестационарной гидродинамикой / Кретов И.Т., Шахов С.В., Ключников А.И., Ряжских В.И.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. техн. акад. – № 2000130308/12, заявл. 04.12.2000; опубл. 10.10.2001; Бюл. № 28.

5. Пат. № 2238794 РФ МПК В01 D63/06 Мембранный аппарат с импульсным режимом фильтрации / Кретов И.Т., Востриков С.В., Ключников А.И., Ключникова Д.В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. техн. акад. – № 2004113915/15, заявл. 05.05.2004; опубл. 27.05.2005; Бюл. № 15.

**Кривовязенко Д.И., к.т.н., Заяц Е.М., д.т.н., профессор,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИИ  
НА ВЫДЕЛЕНИЕ БЕЛКОВ ИЗ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ**

Беларусь производит более 7 млн тонн молока в год. Переработка молока дает побочный продукт – молочную сыворотку, количество которой приближается к 3 млн тонн в год. *Углубленная переработка сыворотки* может дать дополнительно народному хозяйству Беларуси до 20 тыс. тонн белка [1].

Различные способы обработки отличаются составом оборудования, разной энергоемкостью, степенью выделения белка из сыворотки. Примем за базовый вариант наиболее эффективный – способ ультрафильтрации.

Таблица 1 – Исходные данные к расчету экономической эффективности электрокоагуляции

| Показатели                    | Единицы измерения | Варианты  |         |
|-------------------------------|-------------------|-----------|---------|
|                               |                   | базовый 1 | новый 2 |
| Годовая выработка сыворотки   | тонн              | 5000      | 5000    |
| Содержание белков в сыворотке | %                 | 0,8       | 0,8     |
| Выделение белков из сыворотки | %                 | 84        | 95      |
| Масса выделенных белков       | тонн              | 20,16     | 22,8    |
| Расход электроэнергии         | кВт·ч/кг          | 0,08      | 0,01    |
| Обслуживающий персонал        | чел.              | 1         | 1       |

Расчет экономической эффективности выполнен в соответствии с методиками и рекомендациями, изложенными в [2-3].

Приняты следующие допущения:

- срок службы оборудования рассматриваемых вариантов одинаков;
- расход воды, воздуха на аэрацию одинаков;
- сопутствующие капитальные вложения одинаковы;
- годовая выработка принята для среднего молочного завода районного масштаба.

Дополнительный объем производства белков в год

$$\Delta m = m_2 - m_1, \quad (1)$$

где  $m_2$  – годовой объем производства белков в проектируемом варианте;

$m_1$  – годовой объем производства белков в базовом варианте.

$$\Delta m = 22800 - 20160 = 2640 \text{ кг.}$$

Капиталовложения в новое оборудование

$$K = C_{об} \left( 1 + \frac{k_{ГР}}{100} + \frac{k_M}{100} \right), \quad (2)$$

где  $C_{об}$  – стоимость оборудования, руб.;

$k_{ГР}$  – коэффициент, учитывающий затраты на упаковку и транспортировку;

$k_M$  – коэффициент, учитывающий затраты на монтаж оборудования и пусконаладочные работы.

$$K = 26000 \left( 1 + \frac{10}{100} + \frac{15}{100} \right) = 36450 \text{ руб.}$$

Учитывая ранее принятые допущения о равенстве капиталовложений, количестве обслуживающего персонала, эксплуатационные издержки будут отличаться только затратами на оплату электроэнергии.

Эксплуатационные затраты

$$И = И_A + И_{РТО} + И_{Э} + И_{ЗП} + И_{ОС}, \quad (3)$$

где  $И_A$  – амортизационные отчисления, руб.;

$И_{РТО}$  – затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб.;

$И_{Э}$  – затраты на потребляемые энергоресурсы, руб.;

$И_{ЗП}$  – расходы на оплату труда, руб.;

$И_{ОС}$  – отчисления на социальные нужды, руб.

Таблица 2 – Техничко-экономические показатели проекта

| Показатели                                     | Варианты |        | Изменения<br>(2-1) |
|------------------------------------------------|----------|--------|--------------------|
|                                                | I        | II     |                    |
| 1. Годовая выработка сыоворотки, т             | 5000     | 5000   | –                  |
| 2. Капиталовложения в новое оборудование, руб. | –        | 36450  | 36450              |
| 3. Расход электроэнергии, кВт·ч/кг             |          | 0,08   | 0,01               |
| 4. Потребляемая электроэнергия, кВт·ч/год      | 400000   | 50000  | -350000            |
| 5. Эксплуатационные издержки, руб./год         | 104313   | 19281  | -85032             |
| 6. Годовой доход, руб.                         | –        | 85643  | 85643              |
| 7. Чистый дисконтированный доход, руб.         | –        | 455997 | 455997             |
| 8. Индекс доходности, отн. ед.                 | –        | 3,2    | –                  |
| 9. Срок возврата капиталовложений, лет         | –        | 0,5    | –                  |

Экономическая оценка электрической коагуляции белков молочной сыворотки показывает прибыльность способа от реализации дополнительно выделенного белка и снижения затрат на оплату электроэнергии. В проекте не учтены возможные доходы от снижения экологической угрозы загрязнения сточных вод. Это может быть важнее экономической выгоды.

#### Список использованной литературы

1. Короткий, И.А. Современные тенденции в переработке молочной сыворотки / И.А. Короткий, И.Б. Плотников, И.А. Мазеева // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 2. – С. 227–234.

2. Методические рекомендации по оценке эффективности научных, научно-технических и инновационных разработок и их внедрения : постановление Государственного комитета по науке и технологиям Респ. Беларусь, 20 апреля 2017 г., № 9 // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://mshp.gov.by/documents/nts/a4e25cd93eb26108.html>. – Дата доступа: 22.05.2020.

3. Ширшова, В.В. Теория и практика инвестиционных расчетов : учеб. пособие / В.В. Ширшова, А.В. Королев. – Минск : Изд-во Гревцова, 2009. – 296 с.

**Крутов А.В., к.т.н., доцент, Дворник Г.М., к.п.н., доцент,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ДЕКОНТАМИНАЦИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ  
В ПОМЕЩЕНИЯХ УЧРЕЖДЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ  
УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Поточные аудитории, учебные лаборатории, компьютерные классы, читальные залы в учреждениях образования являются помещениями с повышенным риском распространения возбудителей различных инфекций в период активизации острых респираторных заболеваний. Они характеризуются большим скоплением обучающихся, состав которых может меняться в течение дня многократно. Респираторные инфекции передаются, главным образом, воздуш-

но-капельным и контактным путем. Для борьбы с респираторными заболеваниями, коронавирусными инфекциями применяется ряд мер, в числе которых повышение иммунитета, вакцинация, ограничение посещения массовых мероприятий, ношение марлевых повязок и другие. Вирусы поражают нас чаще в холодное время года. В холодную погоду реже проветривание помещений, а это благоприятствует развитию инфекции. Человек – основной источник загрязнения воздушной среды в закрытом помещении. При чихании у него выделяется до 40000 частиц/мин, потенциально содержащих микроорганизмы [1].

Очищать воздух в закрытых помещениях от бактерий, вирусов и других патогенных микроорганизмов важно не только в больницах и поликлиниках. В учреждениях образования с целью снижения уровня бактериальной обсемененности, предотвращения распространения возбудителей вирусных инфекционных болезней практически не используются ультрафиолетовые бактерицидные установки. Наряду с проветриванием, использованием марлевых повязок для защиты дыхательных путей, обработкой рук, общедоступных контактных поверхностей дезинфицирующими растворами в периоды возрастания заболеваемости гриппом, распространения острой респираторной вирусной инфекции следует их использовать. Ультрафиолетовое обеззараживание в ряде случаев более эффективно, чем использование химических дезинфицирующих средств, имеет минимальное влияние на физико-химические и органолептические свойства воздуха.

Известно, что бактерицидным действием обладает ультрафиолетовое излучение с диапазоном длин волн 205–315 нм, которое проявляется в деструктивно-модифицирующих фотохимических повреждениях ДНК клеточного ядра микроорганизма, что приводит к гибели микробной клетки в первом или последующем поколении. Для большинства микроорганизмов максимальное значение спектральной бактерицидной эффективности достигается при длине волны 265 нм [2].

Открытые УФ облучатели могут быть потолочные, настенные или передвижные. Сравнительная характеристика различных технических средств обеззараживания воздуха представлена в таблице.



Таблица. Некоторые характеристики технических средств обеззараживания воздуха в помещениях

| Параметры                          | УФ-облучатели рециркулятор. типа             | УФ-лампы (без рециркуляции)                    | Импульсные ксеноновые лампы                        | Аэрозольные генераторы                                          | Озоновые генераторы                              |
|------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Назначение                         | обеззараживание воздуха                      | обеззараживание воздуха и поверхностей         | обеззараживание воздуха и поверхностей             | обеззараживание воздуха и поверхностей                          | обеззараживание воздуха и поверхностей           |
| возможности технологии             | уничтож. микроорганизмов (бактерии и вирусы) | уничтож. микроорганизмов (бак-терии и ви-русы) | уничтож. микроорганизмов (бактерии и вирусы и др.) | уничтож. микроорганизмов в зависим. от состава дезрас-творителя | уничтож. микроорганизмов и спор плесневых грибов |
| эффективность по устранению запаха | не действует                                 | не действует                                   | устраняет                                          | устраняет                                                       | устраняет                                        |
| режим работы                       | непрерывный, в присутствии людей             | в отсутствие людей                             | в отсутствие людей                                 | в отсутствие людей                                              | в отсутствие людей                               |

Использование ультрафиолетовых бактерицидных установок, наряду с обеспечением надлежащих условий оздоровления среды обитания должно исключить возможность вредного воздействия на человека избыточного облучения, чрезмерной концентрации озона и паров ртути. Поэтому обработку воздуха в аудиториях следует проводить, как правило, при отсутствии обучающихся, в перерывах или должны применяться закрытые установки для обеззараживания вытяжного воздуха в системах принудительной вентиляции.

Наибольшее распространение, благодаря высокоэффективному преобразованию электрической энергии в излучение, получили разрядные ртутные лампы низкого давления, у которых в процессе электрического разряда в аргонно-ртутной смеси более 60 % излучения переходит в излучение с длиной волны 253 нм, т.е. находится в диапазоне длин волн с максимальным бактерицидным действием. Такие лампы имеют большой срок службы (до 8000 ч) и мгновенную способность к работе после их зажигания.

С учетом периодически активизирующейся короновиральной инфекции целесообразно в учебных заведениях осуществлять дополнительные профилактические мероприятия с применением ультрафиолетовых бактерицидных установок, руководствуясь рекомендациями Минздрава Республики Беларусь по их использованию (для школьных классов).

#### Список использованных источников

1. Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография / Ф.В. Кармазинов, С.В. Костюченко, Н.Н. Кудрявцев, С.В. Храменков (ред.) – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2012. – 392 с.
2. Руководство по проектированию ультрафиолетовых бактерицидных установок для обеззараживания воздушной среды помещений предприятий мясной и молочной промышленности. 69(083.75) Р 84 VI. Пищепромдепартамент Минсельхоза РФ и Департамент Госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2002.

**Крутов А.В., к.т.н., доцент, Ковалев В.А., к.т.н., доцент,  
Крылова Н.Г., к.ф.-м.н., доцент, Скочек И.И.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ  
МАСТИТА У КОРОВ**

Известно, что электропроводность молока связана с содержанием в нем ионов натрия, калия, хлора и других химических элементов. При наличии мастита увеличивается содержание солей в молоке и соответственно его удельная электропроводность (в среднем с 0,5 до 1,3 См/м [1,2]). В соответствии с теорией Максвелла в среде, помещенной в электромагнитное поле, возникают два вида тока – проводимости и смещения. Ток проводимости обусловлен ионами  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и других, содержащихся в молоке. Ток смещения – обратимые колебательные движения молекул диэлектрической среды, подвергнутых поляризации (белки, жиры, казеин, молочный сахар и др.).

Схема высокочастотного устройства для измерения удельной электропроводности (УЭП) молока приведена на рисунке 1.

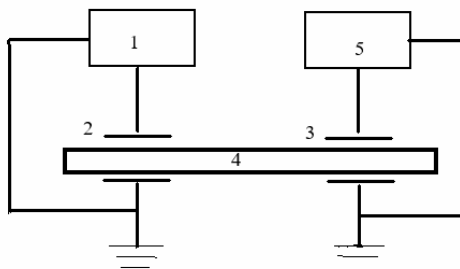


Рисунок 1 – Схема измерения УЭП: 1 – генератор, 2-3 – электроды, 4 –ячейка с молоком, 5 – измерительный блок

Высокочастотный детектор емкостного типа бесконтактный. Ячейка с молоком помещается между электродами конденсатора, подключенного к приборному блоку, и измеряется емкость конденсатора. Зависимость емкости измерительной системы от удельной электропроводности можно установить экспериментально. Система настраивается на подачу звукового и светового сигнала при превышении порогового значения удельной электропроводности молока.

Частота генератора должна быть такой, чтобы обеспечить высокую чувствительность измерения. Это будет иметь место, например, при наибольших диэлектрических потерях. В результате поляризации максимум диэлектрических потерь отмечается, когда  $\omega\tau = 1$ , где  $\omega$  – угловая частота ( $\omega = 2\pi f$ ),  $\text{с}^{-1}$ ,  $\tau$  – время поляризационной релаксации ( $10^{-5} \dots 10^{-9}$  с),  $f$  – частота генератора электромагнитных излучений. Следовательно, требуемая частота напряженности переменного электрического поля (частота генератора) находится в пределах от 15 кГц до 160 МГц. Предпочтительнее частота 50 МГц. Релаксационную поляризацию в эквивалентной схеме замещения можно учесть, введя понятие удельной комплексной проводимости,  $\underline{\gamma}$ . Здесь  $\underline{\gamma} = \gamma' + j\omega\epsilon_a$ , где  $\gamma'$  – прямая омическая удельная проводимость молока,  $\text{См/м}$ ;  $\epsilon_a$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость молока,  $\text{Ф/м}$ ;

Для описания поляризационных и электрохимических процессов в ячейке может быть использован ряд моделей (Максвелла, Фрумкина-Мелик-Гайказяна, лестничная и др.). Но, учитывая, что

в предлагаемом методе электроды не имеют прямого контакта с измеряемой средой (молоком), стенки измерительной ячейки обладают высоким электрическим сопротивлением, может быть рассмотрена следующая, более простая эквивалентная электрическая схема ячейки емкостного типа, приведенная на рис.2. В этой схеме  $C_1$  характеризует емкость двойного электрического слоя, она остается постоянной (удельная емкость  $C_1 \approx 10^{-10}$  Ф/м<sup>2</sup>), зависит только от площади электродов. В ходе измерения меняется лишь емкость конденсатора  $C_2$ , диэлектриком для которого является молоко. Омическое сопротивление  $R$  характеризует ионную проводимость молока. Проводимостью стенок ячейки пренебрегаем, так как она значительно ниже проводимости молока.

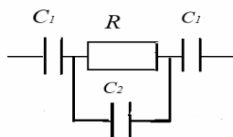


Рисунок 2 – Эквивалентная электрическая схема

Импеданс данной схемы в комплексной форме записи имеет вид:  $\underline{Z} = Z' + jZ'' = Ze^{j\varphi}$ ,

$$\text{где } Z' = \frac{R}{R^2\omega^2 C_2^2 + 1}, \quad Z'' = \frac{R^2\omega^2(2C_2^2 + C_1C_2) + 2}{\omega C_1(R^2\omega^2 C_2^2 + 1)}, \quad Z = \sqrt{(Z')^2 + (Z'')^2},$$

$$\varphi - \text{угол сдвига фаз, } \varphi = \arctg \frac{R^2\omega^2(2C_2^2 + C_1C_2) + 2}{\omega C_1 R}.$$

Комплексная проводимость схемы:  $\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}}$ . Удельная комплексная электропроводность ячейки с молоком  $\underline{\gamma} = \frac{Yl}{S}$ , где  $l$  и  $S$  – соответственно, расстояние между электродами и их площадь поверхности. УЭМ будет определяться как модуль комплексного числа.

#### Выводы

1. Высокочастотный метод исключает прямой контакт электродов с исследуемой средой, влияние поляризационных процессов в ней на электроды, их загрязнение и позволяет судить об относительном изменении электропроводности молока.

2. Для настройки высокочастотного устройства для работы в режиме детектора необходимо проведение экспериментальных исследований.

#### Список использованных источников

1. Кирсанов, В.В., Милешина, О.В. Способы и технические средства определения ранней диагностики мастита у коров и отделения аномального молока в потоке при доении на доильных установках//Вестник ВНИТИМЖ – 2020. – № 2. – С. 44–48.

2. Бактериальный мастит у коров /А.И. Краевский, М.В. Рубленко, Г.П. Дюльгер и др. – Сумы: «Сумской национальной аграрный университет», 2014. – 215 с.

3. Импедансная спектроскопия: теория и применение : учеб. пособие / [Ю.В. Емельянова, М.В. Морозова, З.А. Михайловская, Е.С. Буянова ; под общ. ред. Е. С. Буяновой] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 156 с.

**Крылова Н.Г., к.ф.-м.н., доцент, Крутов А.В., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
МОЛОКА В НИЗКОЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ**

Метод диэлектрической спектроскопии в широком диапазоне частот является перспективным для разработки высокочувствительных автоматизированных систем диагностики субклинического мастита коров [1]. Поэтому развитие теоретических моделей для описания диэлектрической дисперсии молока является актуальным.

Диэлектрические свойства жидкостей выражаются комплексной относительной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_r^*(f) = \varepsilon'(f) - j\varepsilon''(f)$  и определяются способностью системы поляризоваться в ответ на внешнее электрическое поле. Полярные жидкости, такие как вода, одноатомные спирты, а также разведенные растворы полярных жидкостей в неполярных растворителях характеризуются одним временем ориентационной релаксации и могут быть описаны уравнениями Дебая [2]. Однако большинство

полярных жидкостей имеют широкую область дисперсии с несколькими временами релаксации, и для описания дисперсии в таких случаях уравнения Дебая неприменимы. Так, в растворах электролитов дополнительная дисперсия диэлектрической проницаемости обусловлена процессами образования и разрушения ионной атмосферы. В периодических полях увеличение диэлектрической проницаемости, вызванное этим эффектом, определяется величиной дополнительного тока смещения и зависит от асимметрии в распределении зарядов [3].

Для моделирования свойств гетерогенных систем необходимо описывать многорелаксационный процесс, обусловленный наличием нескольких типов диполей. В самом простом случае, когда можно пренебречь кооперативными процессами и рассматривать релаксацию различных типов диполей как независимые релаксационные процессы (случай разбавленных растворов), диэлектрическая проницаемость определяется суммой вкладов каждого типа диполей [2]:

$$\frac{\varepsilon' - \varepsilon_\infty}{\varepsilon - \varepsilon_\infty} = \sum_k \frac{C_k}{1 + (\omega\tau_k)^2}, \quad \frac{\varepsilon'' - \varepsilon_\infty}{\varepsilon - \varepsilon_\infty} = \sum_k \frac{C_k \omega\tau_k}{1 + (\omega\tau_k)^2}, \quad (1)$$

где параметры  $C_k$  характеризуют вклад, вносимый каждым независимым релаксационным процессом, и удовлетворяют соотношению:  $\sum_k C_k = 1$ . Для каждого  $k$ -ого процесса, время релаксации мо-

жет быть определено через молекулярные постоянные по формуле  $\tau_\mu = 4\pi a^3 \eta / kT$ ,  $a$  – радиус сферической молекулы,  $\eta$  – вязкость раствора. В электролитах дополнительные вклады в поляризацию будут давать эффект Максвелла-Вагнера, обусловленный накоплением носителей заряда на межфазных границах, и формирование двойного электрически заряженного слоя Гельмгольца, имеющего диффузный характер распределения заряда на границах раздела фаз. Эти эффекты учитываются для системы непроводящих включений в проводящей среде в теории Духина-Шилова [4].

Учет двойного слоя в электролитах приводит к следующему выражению для инкремента диэлектрической проницаемости

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon^* - \varepsilon_1 = \frac{9}{4} \alpha \varepsilon_1 (\kappa a)^2 \frac{(A_1 a_2 - A_2 a_1)(1 + W + W^2)}{A_1^2 (1 + W)^2 + W^2 (A_1 + A_2 W)^2}, \quad (2)$$

где  $W = a/r_0 = a\sqrt{\omega/2D}$ ,  $D = D^+ D^- (z^+ + z^-)/(z^+ D^+ + z^- D^-)$ ,

$$a_1 = \alpha^+ (1 - z^- q + \alpha_c^- + q \alpha^-) - \alpha^- (1 + z^+ q + \alpha_c^+ + q \alpha^+),$$

$$A_1 = (z^- - \alpha^-)(1 + z^+ q + \alpha_c^+ + q \alpha^+) + (z^+ + \alpha^+)(1 - z^- q + \alpha_c^- + q \alpha^-),$$

$$a_2 = \alpha^+ (1 + z^- q + \frac{D}{D^-} \alpha_1^-) - \alpha^- (1 - z^+ q + \frac{D}{D^+} \alpha_1^+),$$

$$A_2 = -(z^- - \alpha^-)(1 + z^+ q + \frac{D}{D^+} \alpha_1^+) - (z^+ + \alpha^+)(1 - z^- q + \frac{D}{D^-} \alpha_1^-),$$

$$q = z^+ z^- (D^- - D^+) / (z^+ D^- + z^- D^+), \quad \alpha^\pm = \frac{1}{\kappa a} \left[ \frac{3}{2} m^\pm I_2^\pm \mp z^\pm I_1^\pm \right],$$

$$\alpha_c^\pm = \frac{1}{\kappa a} \left[ \frac{3}{2} m^\pm I_{2c}^\pm \mp z^\pm I_1^\pm \right], \quad \alpha_1^\pm = \frac{z^\mp}{\kappa a} [I_1^\pm + I_3^\pm], \quad m^\pm = \frac{\varepsilon_0}{6\pi\eta D^\pm} \left( \frac{RT}{F} \right)^2,$$

$D^\pm, z^\pm$  – коэффициенты диффузии и валентности положительных и отрицательных ионов, составляющих электролит;  $I_1^\pm, I_2^\pm, I_{2c}^\pm, I_3^\pm$  – определяются интегралами для тангенциальных потоков ионов и зависят от граничных условий и распределения концентраций ионов и потенциала в пределах двойного слоя; вид интегралов приведен в [4].

Молоко представляет собой сложную многокомпонентную полидисперсную систему. При моделировании диэлектрических свойств молока нужно основываться на модели Духина-Шилова, рассматривая в качестве непроводящих включений шарики жира, которые погружены в проводящую среду. В первом приближении можно пренебречь фракцией глобулярных белков и соматических клеток, и рассматривать в качестве полярной среды солевой раствор водной фазы молока. Простой учет релаксации белков и соматических клеток можно выполнить на основании формул (1), добавив соответствующие слагаемые к результирующей диэлектрической проницаемости, найденной по формуле (2).

#### Выводы

Таким образом, проанализированы подходы к теоретическому моделированию диэлектрических свойств гетерогенных жидких сред и сделано заключение, что наиболее подходящей моделью по-

ляризации молока является модель Духина-Шилова, учитывающая диффузное распределение заряда двойного электрически заряженного слоя Гельмгольца. Учет релаксации белков и соматических клеток предложено выполнять как вклады в комплексную диэлектрическую проницаемость независимых релаксационных процессов.

#### Список использованных источников

1. Lopes, A.M. Milk characterization using electrical impedance spectroscopy and fractional models / A.M. Lopes, J. A.T. Machado, E. Ramalho, V. Silva // Food Anal. Methods – 2018. – Vol. 11. – P. 901–912.
2. Гусев, Ю.А. Основы диэлектрической спектроскопии: Учебное пособие. – Казань: КГУ, 2008. – 112 с.
3. Методы измерения в электрохимии. Т.2. / Под ред. Э. Егера и А. Залкинда. – Мир, Москва, 1977.
4. Духин, С.С. Диэлектрические явления двойной слой в дисперсных системах и полиэлектролитах / С.С. Духин, В.Н. Шилов – Киев: Наукова думка, 1972. – 206 с.

**Кудинович А.Н., м.т.н., Ищенко Д.О.**

### **УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ВЕНТИЛИРОВАНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ**

Повсеместно в хозяйствах с содержанием животных или птицы для разных видов промышленности стараются обеспечить максимально комфортные условия с целью повышения качества продукции и ее возможный прирост. Согласно данным, поддержание сбалансированного питания увеличивает продуктивность животных на 50–60 %, обеспечение необходимого ухода по содержанию – на 15–20 %, а создание благоприятного микроклимата – на 10–30 %. Отклонение параметров микроклимата от установленных показателей приводит к сокращению производства: молока на 10–20%, прироста живой массы – на 20–33 %, яйценоскости кур – на 30–35 %. Кроме того, немаловажными факторами являются увеличение отхода молодняка, сокращение срока службы оборудования, машин и самих зданий, снижение устойчивости животных к заболеваниям.

Рассмотрим несколько видов вентиляции, предлагаемых на современном рынке промышленного оборудования.



Тоннельные системы с жалюзи, которые оснащаются эффективными серводвигателями для регулировки, создают довольно активную циркуляцию для большого количества животных. Избыточное тепло отводится за счет туннельного эффекта. Установка автоматических вентиляторов, которые останавливают свою работу при увеличении силы наружного ветра и продуваемости помещения, смогут обеспечить экономию потребления электроэнергии.

Существуют также системы с аэродинамическим дизайном для снижения эксплуатационных расходов. Отличительная характеристика усовершенствованных приточных клапанов и шахт вытяжки заключается в наличии крутого угла заслонки, благодаря чему поток воздуха направляется к потолку при минимальном уровне вентиляции.

При оснащении климатических установок настраиваемой системой управления можно достигнуть значительную (50–70 %) энергоэффективность при эксплуатации. Климатические регуляторы позволяют контролировать степень вентиляции помещения, его охлаждение и обогрев.

Предлагаются также системы с подвесным перфорированным потолком (рисунок 1), благодаря которому воздух может равномерно распределяться по всей площади, независимо от ведущего устройства.



Рисунок 1 – Система вентиляции фирмы WEDA (Германия)

Можно часто встретить крышную или поперечную вентиляцию. Принцип действия основан на использовании природного фактора – энергии ветра, за счет чего обеспечивается легкий монтаж и экономичность затрат. Но зависимость от погодных условий – ветренности, отсутствие системы климатического управления дает значительное отклонение от оптимальных параметров.

При выборе типа и расчете вентиляции, которая должна быть установлена на ферме, необходимо учитывать следующее:

- объем приточного воздуха увеличивается при повышении температуры окружающей среды, а в зимний период резко сокращается (оценка объемов по водяному пару и углекислому газу);

- скорость ветра в зоне содержания животных регулируется в зависимости от температуры;
- выбор характера циркуляции воздуха осуществляется в зависимости от типа объекта, месторасположения, габаритов и количества скота.

#### Список использованных источников

1. Электронный ресурс / Устройство вентиляции свинарника – Россия 2016 – режим доступа <https://yato-tools.ru/praviln-3/kak-pravilno-sdelat-ventilyacziyu-v-svinarnike-ustrojstvo-ventilyaczii-svinarnika.html>
2. Электронный ресурс / Микроклимат – режим доступа <https://www.skov.com/ru/mikroklimat/svin-i/>
3. Электронный ресурс / Вентиляционная техника – «WEDA Москва» 2013-2020 – режим доступа <http://weda.msk.ru/air/>

**Кульнева Н.Г., д.т.н., профессор  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет  
инженерных технологий», г. Воронеж, РФ**

**Журавлев М.В., к.т.н.  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет  
пищевых производств», г. Москва, РФ**

### **ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СВЕКЛОВИЧНОЙ ТКАНИ ПЕРЕД ЭКСТРАГИРОВАНИЕМ**

Эффективность диффузионного процесса в свеклосахарном производстве определяется степенью теплового воздействия на свекловичную стружку с целью разрушения протоплазмы, препятствующей высвобождению сахарозы из вакуоли клеток к периферии свекловичной ткани.

В условиях традиционных технологий решение данной задачи, особенно в аппаратах наклонного типа, весьма затруднительно. В связи с этим необходимо совершенствовать существующие технологические приемы для обеспечения высокого эффекта при минимальных затратах ресурсов и энергии [1, 2].

Одним из путей является использование электрохимических воздействий на технологические среды свеклосахарного производства. Для осуществления электрохимической активации растворов реагентов использовали экспериментальную установку, разработанную на кафедре технологии сахаристых веществ Воронежской государственной технологической академии [3].

В качестве технологических сред для термохимической обработки свекловичной стружки применили водные растворы сульфатов аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Для наглядного отображения получаемых результатов параллельно осуществляли экстрагирование сахарозы традиционным способом без предварительной обработки стружки.

Исследования проводили согласно следующей методике: получали свекловичную стружку с заданными геометрическими параметрами, отвешивали 3 пробы массой 200 г каждая, 2 из которых подвергали обработке паром температурой  $100\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 60 с и далее обрабатывали водными растворами реагентов, которые подвергали ЭХА в течение 120 с. Электрохимически активированные растворы реагентов подогревали до температуры  $72\text{ }^\circ\text{C}$  и добавляли к ошпаренной стружке в количестве 10 % к массе навески. Обработанную стружку помещали в экстрактор, приливали заданное количество экстрагента (90 % к массе стружки), в качестве которого использовался конденсат (дистиллированную воду), подогретый до  $70\text{ }^\circ\text{C}$ . Диффундирование сахарозы осуществляли при температуре  $70\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 60 мин в условиях постоянного перемешивания. Для сравнительной оценки проводили экстрагирование сахарозы из стружки, не подвергавшейся термохимической обработке. Далее обработку проводили по схеме, представленной на рисунке 1.

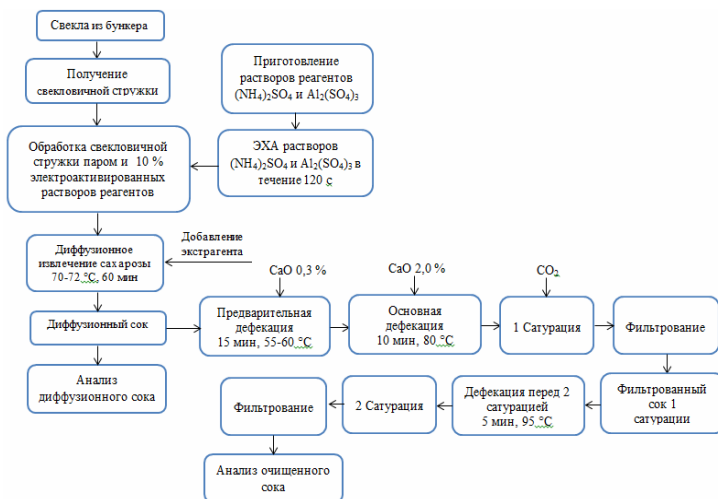


Рисунок 1 – Блок-схема проведения эксперимента по выбору рационального реагента

В полученных полупродуктах (диффузионный и очищенный сок) определяли качественные показатели по общепринятым методикам (таблица 1). Анализ качественных показателей полупродуктов свидетельствует о целесообразности электрохимической активации растворов реагентов перед обработкой свекловичной стружки. Приоритетным вариантом является ЭХА раствора сульфата аммония.

Таблица 1 – Качественные показатели полупродуктов

| Показатели полупродуктов                            | Типовой вариант | Реагенты для обработки стружки                  |                                                 |
|-----------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                     |                 | Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| Диффузионный сок                                    |                 |                                                 |                                                 |
| Чистота, %                                          | 86,0            | 88,2                                            | 88,8                                            |
| Содержание белков, мг/см <sup>3</sup>               | 0,24            | 0,17                                            | 0,14                                            |
| Содержание редуцирующих веществ, мг/см <sup>3</sup> | 0,29            | 0,08                                            | 0,06                                            |
| Содержание α-аминного азота, мг/см <sup>3</sup>     | 25              | 19                                              | 15                                              |
| Очищенный сок                                       |                 |                                                 |                                                 |
| Чистота, %                                          | 91,3            | 92,4                                            | 92,7                                            |
| Цветность, ед. опт. плот.                           | 351             | 264                                             | 228                                             |
| Массовая доля солей калыция, % СаО                  | 0,031           | 0,019                                           | 0,015                                           |
| Содержание редуцирующих веществ, мг/см <sup>3</sup> | 0,125           | 0,016                                           | 0,014                                           |
| Содержание α-аминного азота, мг/см <sup>3</sup>     | 21              | 18                                              | 15                                              |

Полученные высокие значения показателей соков обусловлены тем, что при ЭХА растворов происходит электрохимическое воздействие поля на ионы и молекулы, присутствующие в растворе, в результате чего увеличивается их каталитическая активность. Заряженные ионы активно взаимодействуют с сахарами свекловичной ткани, блокируя их переход в производственные растворы, что повышает чистоту экстракта на 2,2 %, очищенного сока на 1,2 %.

#### Список использованных источников

1. Кульнева Н.Г., Журавлев М.В., Селезнева И.Г. Использование электрохимической активации при обработке свекловичной стружки в сахарном производстве / Инновации в индустрии питания и сервисе : материалы I междунар. науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВПО «КубГТУ». – Ставрополь, 2014. – С. 340–345.

2. Kamal E., Rabhi Z. Effect of centrifugal force on the aqueous extraction of solute from sugar beet tissue pretreated by a pulsed electric field / Journal of Food Process Engineering. – 2015. – № 11. – P. 1346-1358.

3. Пат. № 2183676 Устройство для электрохимической очистки жидкости / Кульнева Н.Г.; заявл. 08.11.2000 ; опубл. 20.06.2002, Бюл. № 17.

**Лубинский Н.Н., к.х.н., Слонская С.В., к.х.н., доцент  
Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Минск, Республика Беларусь  
КОБАЛЬТИТЫ ЛАНТАНА, НЕОДИМА КАК МАТЕРИАЛЫ  
ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ ГАЗОВ  
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

В современной промышленности и всех сферах производственной деятельности человека используется разнообразное количество опасных жидкостей, которые при неправильном и халатном обращении могут нанести вред здоровью человека, окружающей среде и материальный ущерб в случае производственной аварии. При проектировании автоматических систем управления технологическими процессами необходимо учитывать возможность выброса в рабочую зону ядовитых и пожароопасных веществ. Для обнаружения в рабочем помещении таких веществ могут использоваться химические сенсоры газов. Большой интерес представляет изучение материалов, которые могут применяться как газочувствительные слои для химических сенсоров, которые могут обнаруживать в воздухе содержание опасных паров при незначительных концентрациях.

Обнаружение таких веществ в рабочей зоне должно приводить к срабатыванию пожарной сигнализации, включению дополнительных систем вентиляции помещений и возможной остановке технологических процессов.

Одними из соединений, на основе которых могут создаваться химические сенсоры газов являются кобальтиты  $\text{LnCoO}_3$  (Ln – лантан, неодим, самарий и другие редкоземельные элементы) и твердые растворы на их основе со структурой искаженного перовскита.

Целью настоящей работы является изучение концентрационной и мощностной зависимостей чувствительности рабочих элементов химических сенсоров газов на основе кобальтитов редкоземельных элементов, на присутствие в воздухе паров пожаро- и взрывоопасных легковоспламеняющихся органических жидкостей.

Исследование сенсорных свойств на присутствие в воздухе паров жидкостей бензина АИ-92, бутанола, этанола, диэтилового эфира, аммиака, ацетона проводили на рабочих элементах (датчиках) кобальтитов лантана и неодима, а также кобальтов в которых ионы неодима замещались ионами гадолиния, бария и стронция:  $(\text{Nd}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})_{0,9}\text{Ba}_{0,1}\text{CoO}_3$ ,  $(\text{Nd}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})_{0,9}\text{Sr}_{0,1}\text{CoO}_3$ .

Датчик на основе  $\text{LaCoO}_3$  обладает заметной чувствительностью на содержание паров жидкостей в воздухе: 200 % (ацетон), 45 % (этанол, диэтиловый эфир), 55 % (бутанол), которая достигает максимума при мощностях 0,15–0,3 Вт. По зависимости удельного сопротивления от мощности нагревателя  $R = f(P)$  установлено, что в этом же интервале значений мощности нагревателя будет протекать фазовый переход полупроводник – металл и чувствительность датчика будет принимать максимальные значения, что подтверждает ранее проведенные исследования сенсорных свойств толстых пленок этих кобальтитов.

По характеру концентрационных зависимостей чувствительности сенсора на пары ацетона, установлено, что чувствительность сенсора возрастает с повышением концентрации паров ацетона. Однако при повышении концентрации ацетона свыше 1000 ppm градиент чувствительности резко снижается так как наступает предел насыщения чувствительного элемента молекулами газа.

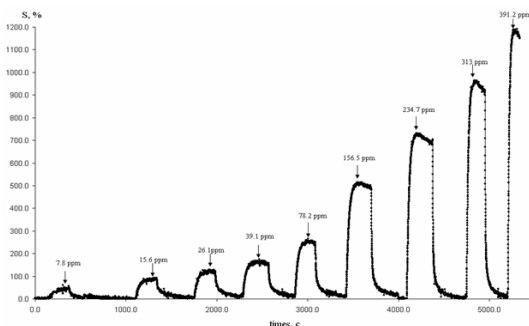
Результаты исследований сенсорных свойств рабочего элемента на основе кобальтита неодима  $\text{NdCoO}_3$ , показали, что чувствительность сенсора на его основе составляет: 90 % на пары ацетона, что меньше, чем для  $\text{LaCoO}_3$ .

Однако, следует отметить, что максимальная чувствительность рабочего элемента на пары ацетона, бензина и диэтилового эфира соответствует разным мощностям, что позволяет его использовать для определения содержания в воздухе определенных паров, подавая различную мощность на нагреватель, что свидетельствует о его селективности.

Исследованный датчик с чувствительным слоем на основе  $(\text{Nd}_{0.5}\text{Gd}_{0.5})_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CoO}_3$  обладал более высокой чувствительностью по сравнению с  $\text{LaCoO}_3$  и  $\text{NdCoO}_3$  на присутствие в воздухе паров ацетона, бензина, но меньшей чувствительностью на присутствие в воздухе паров бутанола, этанола, диэтилового эфира и аммиака.

Датчик с чувствительным слоем на основе  $(\text{Nd}_{0.5}\text{Gd}_{0.5})_{0.9}\text{Ba}_{0.1}\text{CoO}_3$  обладает высокой чувствительностью на содержание в воздухе паров ацетона (140 %), бутанола (50 %), диэтилового эфира и этанола (60 %), но относительно низкой чувствительностью на пары аммиака (20 %).

Датчик на основе композита кобальтита лантана следующего состава: 85% $[\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CoO}_3 + 2 \text{ \% масс. Pd}] + 15\% \text{ масс.} [(95\% \text{ масс. } \text{In}_2\text{O}_3 + 5 \text{ \% масс. } \text{Co}_3\text{O}_4) + 0,5\% \text{ масс. Au}]$  обладал высокой чувствительностью на содержание в воздухе паров этанола (1300%), бутанола (1200 %), аммиака (130 %).



Изменение чувствительности датчика на основе композита во времени при импульсном вводе паров бутанола

Исследованные датчики обладали заметной чувствительностью даже при концентрациях паров в воздухе существенно ниже нижнего концентрационного предела воспламенения, что позволит их использовать в качестве химических сенсоров газов.

#### Список использованных источников

1. Michel, C.R. An alternative gas sensor material: Synthesis and electrical characterization of  $\text{SmCoO}_3$  / C.R. Michel [et al.] // Materials Research Bulletin – 2007. – Vol. 42. – P. 84–93.
2. Егоров, А.А. Систематика, принципы работы и области применения датчиков / А.А. Егоров // Журнал радиоэлектроники. – 2009. – №3.

**Мухаммадиев А., д.т.н., профессор, Юсупов Д.Р., доцент,  
Эргашев Г.М., Юлдашев Р.**

**Наманганский инженерно-строительный институт,  
г. Намаган, Республика Узбекистан**

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ КАРТОФЕЛЯ С ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБРАБОТКАМИ**

Известно, что существует два основных пути повышения урожайности сельскохозяйственных культур и объемов качественной продукции: повышение урожайности традиционных растений под действием комбинированных факторов, и адаптация к различным экологически безопасным электротехнологическим приемам. Для отбора перспективных растений и их селекции, прежде всего, необходимо изучить их биоэкологические и физиологические особенности и разработать на научной основе электротехнологию их возделывания.

В последнее время обработка семян с помощью электровоздействия перед посевом рассматривается как один из наиболее эффективных способов достижения этой цели.

В последнее время в связи с происходящими изменениями в экологической обстановке, возобновились исследования, направленные на выяснение механизмов повреждающего действия ультрафиолетового (УФ) света, являющегося важным компонентом солнечной облучения. Этакого рода изменениям следует в первую очередь отнести повышение уровня загрязненности окружающей среды, увеличивающее вероятность протекания фото сенсibilизированных деструктивных реакций в клетках, и рост интенсивности биологически наиболее активных УФ лучей солнца в биосфере вследствие частичного разрушения озонового слоя атмосферы [1,2,3,4,5,6].

Однако до сих пор, несмотря на обширные фото химические и фотобиологические работы и огромное количество экспериментальной данных, остаются невыясненными механизмы биологического действия ультрафиолетовой облучения (УФО) на живые организмы и, в частности, особенностей действия различных областей (*a*, *b* и *c* диапазонов) УФО на высшие растения. Это связано не только с большой сложностью самого механизма первичного действия УФ света, но и со специфичностью тех многообразных отношений, которые возникают на различных уровнях организации растительной клетки при воздействии на нее светом.



В связи с этим знание природы естественной чувствительности к УФО и механизмов ее регуляции у различных сельскохозяйственных культур приобретает большое теоретическое и практическое значение.

Влияние повышенных уровней УФО можно исследовать с помощью системы ламп и фильтров, моделирующих солнечное излучение в определенной области УФ спектра, что позволяет контролировать условия опыта и дозировать интенсивность излучения.

На протяжении 10 последних лет в литературе можно найти сведения, рассматривающие действие УФО в определенных дозах как инициатора, триггера защитных свойств растительного организма. Эти вопросы представляют большой научный интерес. Все более возрастает использование искусственного УФ облучения как метода повышения урожайности, стимулирующего воздействия на рост и развитие различных сельскохозяйственных культур. Исследования многих авторов показали большие преимущества растений, выросших из семян после УФ облучения. Так, например, зерновые культуры отличаются большей скоростью роста и развития, физиологической лабильностью, повышенной зерновой продуктивностью и большой устойчивостью к неблагоприятным внешним условиям[5].

В связи с актуальностью изучения механизмов действия УФ излучения на с.-х. культуры была поставлена задача, установить физиологические эффекты действия УФО на рост, развитие и продуктивность картофеля в искусственных контролируемых условиях. В исследовании использовали картофеля среднеранних сортов «Сантэ», «Латона», «Пикассо» – голландской селекции. Семена картофеля перед посевом обрабатывали ультрафиолетовыми лучами, низкочастотным электромагнитным излучением и их комбинированным воздействием в течение разных периодов времени.

Вовремя исследование использовались трех вариантах, первый вариант контроль никакой необработанной картошки. 2-вариант облученный вариант картошки с УФО диапазон А с расстоянием 15 см время обработки 5 минут, а вторых вариантах время облучения будет 10 минут. 3-вариант облученный вариант картошки с УФО диапазон А+В с расстоянием 15 см время обработки 10 минут, а вторых вариантах время облучения будет 10 минут.

Таблица – Результаты исследование по электротехнологическим обработками

| № | Варианты                                                                                 | Полученные картошки |                 |           |                 |           |                 |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
|   |                                                                                          | большие             |                 | средний   |                 | маленький |                 |
|   |                                                                                          | <i>шт</i>           | <i>весь, кг</i> | <i>шт</i> | <i>весь, кг</i> | <i>шт</i> | <i>весь, кг</i> |
| 1 | Контроль                                                                                 | —                   | —               | 10        | 0.20            | 22        | 0.20            |
| 2 | УФО диапазон А<br><i>t=5 минут</i><br><i>P=30 Вт</i>                                     | 8                   | 0.318           | 4         | 0.070           | 9         | 0.068           |
| 3 | УФО диапазон А+В<br>(2x254+300 нм)<br><i>t=10 минут</i><br><i>P<sub>1</sub>=30 +30Вт</i> | 7                   | 0.575           | 12        | 0.196           | 6         | 0.056           |

В вариантах 20 семена картофеля облучали УФО ультрафиолетовыми лучами в течение разных сроков (5, 10 минут) и высаживали в один и тот же день.

Согласно полученным результатам, при раздельном воздействии на семена обоих сортов ультрафиолетовым светом (УФО) перед посевом было отмечено, что урожайность обоих сортов значительно увеличилась, а их совместное воздействие – УФО был лучшим результатом, чем индивидуальное воздействие, было отмечено, что он показал.

Однако отмечено, что увеличение продолжительности облучения отрицательно сказывается на продуктивности сортов картофеля.

Вариант 2 показал наибольшую эффективность в вариантах, облученных разной продолжительностью ультрафиолетовых лучей перед посевом семян картофеля, но видно, что по результатам вариант 2 очень небольшое процентное отличие от варианта 3.

В опытах использовали агротехнологические приемы возделывания картофеля, исходя из существующих рекомендаций для этой культуры [6].

Ширина ряда 70 см, глубина 4–5 см, расстояние между семян 70x25 см. Опыты проводили в двукратной повторности. Площадь земельного участка, отведенного под опыт, составляет 30 м<sup>2</sup>. Полевая подготовка и опыты, сбор проб и фенологические наблюдения проводились по общепринятым методикам.

Среди вариантов опыта наиболее высокий результат был получен на варианте 3, семена которого перед посевом обрабатывали под воздействием ультрафиолета излучения в течение 10 минут (УФО

диапазон А и В). Вследствие исследования определены значительно повышение урожайность сортов картофеля.

#### Список использованных источников

1. Мухаммадиев, А. (2020). О перспективах защиты сложного биологического объекта «семя, почва и растение» от болезней с использованием электрического воздействия. *International journal of discourse on innovation, integration and education*, 1(4), 154–159.
2. Баймаханов, К., Мухаммадиев, А., & Эгамбердиев, Р. (2020). Агроэлектротехнология стимуляции хлопчатника и других сельхозкультур СЕЛЬХОЗКУЛЬТУР. 1000 kopii.,
3. Набиев, Ш.И., Юсупов, Д.Р., Беркинов, Э.Х., & Холбаев, Д.Ж. (2016). Электротехнология предпосевной обработки зерен пшеницы. *Science Time*, (4 (28)), 596602.
4. Абдуллаев, М.Т., Хайитов, Б.А., & Юсупов, Д.Р. (2016). Изучение нормативных условий выкормки восковой моли на основе электрохимический активированной воды. *Міжнародний науковий журнал*, (6 (3)), 103–104.
5. Юсупов, Д.Р., & Беркинов, Э.Х. (2017). Ультрафиолетовое облучение зерна пшеницы для получения кормовой патоки. *Вестник Науки и Творчества*, (3 (15)), 161–166.
6. Юсупов, Д.Р., Беркинов, Э.Х., & Муродов, Р. Н. У. (2018). Электрохимическая активация водных сред. *вестник Науки и Творчества*, (2 (26)), 48–51.

**Нефедов С.С., ст. преподаватель,  
Иванов Д.М., ст. преподаватель, Щепко Н.Ю., студент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ  
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

В настоящее время белорусские и зарубежные производители предлагают широкий ассортимент электроизоляционных материалов для контактных соединений. При этом для изоляционных лент нормируются в основном механические и тепловые параметры, а из электрических – только удельное

объемное электрическое сопротивление [1]. Тогда как электрическая прочность не нормируется, а ее значение может значительно различаться для одних и тех же изоляционных материалов в зависимости от производителя.

Нами были проведены исследования электрической прочности образцов электроизоляционных лент и термоусаживаемых трубок от различных производителей. Определение электрической прочности образцов осуществлялось в соответствии со стандартизированной методикой [2] с помощью усовершенствованной лабораторной установки НТЦ-22.03.21 «Изучение электрической прочности твердых диэлектриков» (рисунок 1).

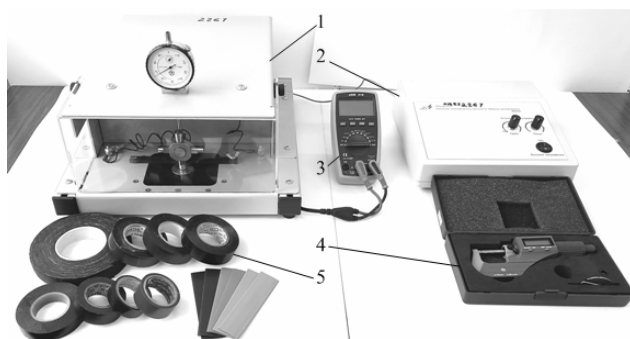


Рисунок 1 – Установка для определения электрической прочности твердых электроизоляционных материалов:

- 1 – высоковольтное устройство; 2 – измерительное устройство;
- 3 – мультиметр Victor 81B; 4 – микрометр МКЦ-25 0.001;
- 5 – исследуемые электроизоляционные материалы

Установка состоит из измерительного и высоковольтного устройств. Образцы исследуемых материалов размещаются на неподвижном плоском электроде высоковольтного устройства и сверху фиксируются одним из подвижных (сменных) электродов, расположенных на механизме револьверного типа. На нем закреплены испытательные электроды четырех типоразмеров. Измерительное устройство позволяет плавно изменять напряжение между испытательными электродами. Установка была дополнена мультиметром Victor 81B с функцией «MAX», позволяющей фиксировать максимальное значение напряжения при его скачкообразном изменении, а также цифровым микрометром МКЦ-25 0.001. В качестве исследуемых образцов были выбраны изоляционные ленты из ПВХ

от различных производителей, тканевая, хлопчатобумажная и вулканизирующая ленты, а также термоусаживаемые трубки. Измерения производились при температуре 22 °С и влажности 36 %. Электрическая прочность исследуемых образцов определялась в однородном электрическом поле, создаваемым плоскими неподвижным и сменным электродами. Для каждого материала проводилось три измерения электрической прочности. При испытании вулканизирующей изоляционной ленты в каждом из трех измерений устанавливалось разное время выдержки после ее нанесения – 1, 3 и 5 минут соответственно. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования электрической прочности различных твердых электроизоляционных материалов

| Наименование материала                    | $h$ , мм | $U_{пр1}$ , кВ | $U_{пр2}$ , кВ | $U_{пр3}$ , кВ | $U_{пр.ср.}$ , кВ | $E_{пр}$ , кВ/мм |
|-------------------------------------------|----------|----------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|
| Изолента ПБХ (TDM Electric)               | 0,154    | 6,74           | 9,06           | 8,04           | 7,95              | 51,60            |
| Изолента ПБХ (Startul)                    | 0,136    | 5,59           | 7,25           | 5,63           | 6,16              | 45,27            |
| Изолента ПБХ (Neomatec)                   | 0,132    | 5,50           | 4,99           | 7,16           | 5,88              | 44,57            |
| Изолента ПБХ (Yato)                       | 0,127    | 8,32           | 6,62           | 6,74           | 6,89              | 54,28            |
| Изолента ПБХ (Forsage)                    | 0,131    | 5,45           | 5,63           | 6,99           | 6,02              | 45,98            |
| Изолента тканевая (TESA)                  | 0,207    | 1,56           | 1,55           | 1,54           | 1,55              | 7,49             |
| Изолента хлопчато-бумажная (TDM Electric) | 0,384    | 1,32           | 1,06           | 1,33           | 1,24              | 3,22             |
| Изолента вулканизирующая (TDM Electric)   | 0,755    | 13,51          | 9,60           | 7,99           | 10,37             | 13,73            |
| Термоусаживаемая трубка (EKF PROxima)     | 0,262    | 12,80          | 15,46          | 15,77          | 14,68             | 56,02            |

Из полученных данных можно сделать следующие выводы: при одном и том же напряжении более тонкую изоляцию можно выполнить из изоленты ПБХ или термоусаживаемой трубки; с увеличением времени выдержки вулканизированной изоляционной ленты напряжение ее пробоя снижалось, а полученное значение электрической прочности почти в два раза меньше заявленного

производителем (25 кВ/мм). При этом следует отметить, что исследованные электроизоляционные материалы для контактных соединений электроустановок до 1000 В имеют достаточный запас по величине электрической прочности.

#### Список использованных источников

1. ГОСТ 16214-86. Лента поливинилхлоридная электроизоляционная с липким слоем. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 16214-70 ; введ. 1987–07–01. – М: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 16 с.
2. ГОСТ 6433.3-1. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрической прочности при переменном (частоты 50 Гц) и постоянном напряжении [Текст]. – Взамен ГОСТ 6433-65 ; введ. 1972–07–01. – М: ИПК Издательство стандартов, 1982. – 24 с.

**Новикова Г.В.<sup>1</sup>, д.т.н., профессор,**

**Просвирякова М.В.<sup>2</sup>, д.т.н., доцент,**

**Горячева Н. Г.<sup>3</sup>, к.т.н., доцент, Михайлова Е.Д.<sup>4</sup>**

**<sup>1</sup>ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино**

**<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва**

**<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России», г. Москва**

**<sup>4</sup>ВФ ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Чебоксары**

#### **ХМЕЛЕСУШИЛКИ С СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ЭНЕРГОПОДВОДОМ**

При проектировании резонаторов нестандартных конфигураций основными критериями служили: равномерность распределения электрического поля (ЭП) высокой напряженности в сырье; возможность обеспечения непрерывного режима работы путем использования запредельных волноводов, замедляющих спиралей или неферромагнитных шлюзовых затворов; высокая собственная добротность резонатора, обеспечивающая повышение термического КПД; минимальные удельные энергетические затраты на испарение 1 кг влаги из свежесобранного хмеля, при производительности хмеле-

сушилки, удовлетворяющей фермерское хозяйство (100–150 кг/ч); нагрев шишек хмеля до температуры не более 65 °С; регулирование толщины слоя хмеля; соблюдение скважности технологического процесса менее 0,5 [1]. Соблюдение всех этих критериев обеспечит сохранение ценных для пивоварения веществ в высушенном хмеле. Основная задача при проектировании хмелесушилок это правильное согласование параметров электродинамической системы «генератор-резонатор», а именно величины напряженности ЭП с собственной добротностью и объемом резонатора, далее мощности генераторов и диэлектрических параметров шишек хмеля [2]. Нами разработано множество СВЧ-конвективных хмелесушилок, описание некоторых приведено ниже [1-3]. Для сушки свежесобранного хмеля в хмелеводческих хозяйствах разработана карусельная хмелесушилка с применением конвективного тепла и СВЧ энергоподвода, и определенной скважности технологического процесса для выравнивания температуры и влажности шишек хмеля при перемещении диэлектрической карусельной платформой через рабочую камеру, образованную радиальными сегментами коаксиального цилиндра (рисунок 1).

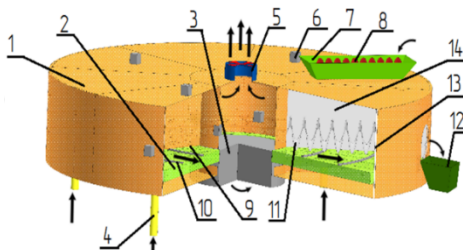


Рисунок 1 – Карусельная хмелесушилка с СВЧ энергоподводом  
в сегменты коаксиального цилиндра:

- 1 – радиальные сегменты; 2 – диэлектрическая перфорированная кольцевая платформа; 4 – воздуховоды; 5 – вытяжной вентилятор; 6 – волноводы с магнетронами; 7 – загрузочная емкость; 8 – неферромагнитный спиральный электроприводной шнек; 9 – диэлектрическая перфорированная кольцевая платформа; 10 – диэлектрические кольцевые гребенки; 11 – диэлектрический безосевой винтовой электроприводной шнек; 12 – приемная емкость; 13 – керамические отражатели; 14 – диэлектрический ограничитель

В рабочей камере, представленной как радиальные сегменты коаксиального цилиндра, расположена карусельная диэлектрическая перфорированная кольцевая платформа. Сегменты с магнетронами чередуются с сегментами без магнетронов. Над первым сегментом

расположена загрузочная емкость с неферромагнитным спиральным шнеком. Внутри последнего сегмента по диагонали основания расположен выгрузной диэлектрический безосевой винтовой шнек. Внутри резонаторов расположены выпуклые керамические отражатели.

Хмелесушилка с резонаторами образованными неферромагнитными полуцилиндрами, равными по размеру, длиной и диаметром кратным половине длины волны, состыкованными с боковыми поверхностями, и расположенными под ними через зазор, рабочими ветвями соответствующих неферромагнитных сеточных транспортеров разной длины приведена на рисунок 2.

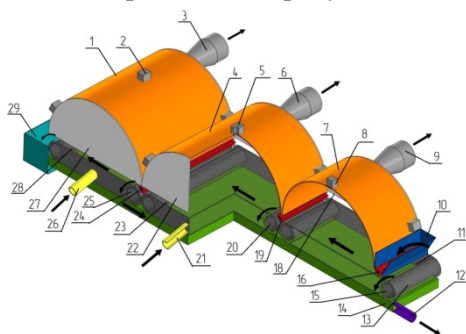


Рисунок 2 – СВЧ-конвективная хмелесушилка:

- 1, 4, 7 – резонаторы; 2, 5, 8 – магнетроны; 3, 6, 9 – воздухоотводы;
- 10 – загрузочная емкость; 11, 23, 28 – сеточные транспортеры;
- 12 – патрубок для пылесоса; 13 – холостая ветвь транспортера 11; 14 – поддон;
- 15, 20, 25 – электроприводы транспортеров; 16, 19, 24, 29 – ячеистые ворошители;
- 17, 21, 26 – воздуховоды с тепловой пушкой; 18, 22, 27 – керамические полудиски;
- 30 – приемная емкость

Внутри резонаторов имеются полудиски из керамики. К резонаторам подведены воздуховоды от тепловой пушки и пристыкованы воздухоотводы. Магнетроны установлены со сдвигом на 90 градусов вдоль образующей каждого резонатора. В зазорах между полуцилиндрами и транспортерами по ширине установлены неферромагнитные ячеистые ворошители, глубиной ячеек, не более двух глубин проникновения волны в шишки хмеля.

Хмелесушилка с полуцилиндрическими резонаторами и диэлектрическими гребенками, размеры которых согласованы с глубиной проникновения волны в сырье, обеспечивают равномерное распределения сырья в резонаторе и равномерную сушку шишек хмеля.



**Выводы.** Хмелесушилки с СВЧ энергоподводом в резонаторы предназначены для функционирования в условиях хмелеводческих хозяйств и обеспечения трехэтапной сушки и обеззараживания хмеля в непрерывном режиме при соблюдении электромагнитной безопасности. Металлодиэлектрические резонаторы с криволинейной поверхностью, керамическими элементами и замедляющими системами обеспечивают электромагнитную безопасность без дополнительного экранирующего корпуса хмелесушилки. Применение транспортирующих средств в объемных резонаторах позволяет существенно повысить производительность хмелесушилок, снизить неравномерность нагрева сырья по толщине и исключить электрические пробой при его высокой влажности, если магнетроны с волноводами расположены на образующих резонаторов со сдвигом на 120 градусов.

#### Список использованной литературы

1. Belova, M.V., Mikhailova, O.V., Novikova, G.V. Development of microwave devices with toroidal resonators for treatment of raw materials // Journal of Environmental Treatment Techniques, 2019, 7, pp. 1215–1223.

2. Prosviryakova, M.V., Storchevoy, V.F., Goryacheva, N.G., Novikova, G.V., Continuous-flow hop dryer with endogenous convection heat producers // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science this link is disabled, 2022, 1052(1), 012141.

3. Prosviryakova M.V., Ziganshin B.G., Shogenov Yu.Kh., Mikhailova O.V. Modular microwave installation for heat treatment of raw materials of agricultural enterprises. БИО Веб-сайт конференций. Том 52 (2022). (FIES 2022). Казань, Россия, 26–28 мая 2022.

**Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Прищепова Е.М., к.т.н.,  
Зеленькевич А.И., к.т.н., Петрович В.Л.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ДИАПАЗОН ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
СКОРОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ  
ПРИ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКЕ**

Для определения диапазона регулирования скорости вентилятора необходимо провести расчет и построение естественных и искусственных механических характеристик АД, а затем наложить на

полученные характеристики АД механическую характеристику вентилятора.

Расчет и построение механических характеристик АД проводится, как правило, по известным методикам, опубликованным в широко используемых источниках литературы [1...4], при постоянных параметрах схемы замещения (СЗ).

Тогда основная координата силового асинхронного электропривода (ЭП), полученная из СЗ АД – электромагнитный момент

$$M = \frac{mU_1^2 r_2'}{\omega_0 s \left( \left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right)}; \quad (1)$$

где  $m$  – число фаз обмоток статора АД;  $\omega_0$  – синхронная угловая скорость магнитного поля статора АД, рад/с;  $U_1$  – фазное напряжение питания обмоток статора АД, В;  $r_1, x_1$  – активное и индуктивное сопротивления обмотки статора АД, Ом;  $r_2', x_2'$  – активное и индуктивное сопротивления обмотки ротора АД, приведенные к обмотке статора АД, Ом;  $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$  – скольжение ротора АД, о.е.;

$\omega$  – угловая скорость ротора АД, рад/с.

Для того, чтобы определить диапазон регулирования скорости АД необходимо найти коэффициенты жесткости механических характеристик АД  $\beta_d$  и вентилятора  $\beta_c$ . Критерием статической устойчивости работы ЭП является выполнение неравенства (критерия)

$$\beta_d - \beta_c < 0, \quad (2)$$

где  $\beta_d = \frac{dM}{d\omega}$ , а  $\beta_c = \frac{dM_c}{d\omega}$ .

Жесткость механической характеристики вентилятора  $\omega = f(M_c)$  можно найти аналитически

$$\beta_c = \frac{dM_c}{d\omega} = \frac{d(M_0 + a_c \omega^x)}{d\omega} = x a_c \omega, \quad (3)$$

где  $M_0$  – момент сил трения вентилятора, Н·м;  $a_c$  – коэффициент, Н·м·с/рад;  $x=2$  – показатель степени для вентиляторов.

Как следует из выражения (3), жесткость механической характеристики вентилятора линейно увеличивается с ростом его скорости.

Для определения жесткости механической характеристики АД в выражение (1) преобразуем к следующему виду, предварительно выразив скольжение  $s$  через угловые скорости магнитного поля  $\omega_0$  и ротора  $\omega$ :

$$M = \frac{mU_1^2 r_2'}{(\omega_0 - \omega) \left( \left( r_1 + r_2' \frac{\omega_0}{\omega_0 - \omega} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right)}. \quad (4)$$

Далее продифференцируем  $dM/d\omega$ , предварительно обозначив числитель выражения (4) буквой  $U$ , а знаменатель – буквой  $V$  и используя при этом общеизвестные формулы производных частного и произведения

$$\left( \frac{U}{V} \right)' = \frac{U'V - UV'}{V^2}; \quad (5)$$

$$(UV)' = U'V + UV'. \quad (6)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \frac{dM}{d\omega} &= \left( 0 \cdot V - mU_1^2 r_2' \left( - \left( \left( r_1 + r_2' \frac{\omega_0}{\omega_0 - \omega} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (\omega_0 - \omega) \left( 2 \left( r_1 + r_2' \frac{\omega_0}{\omega_0 - \omega} \right) \cdot \left( \frac{0 \cdot (\omega_0 - \omega) - r_2' \omega_0 (-1)}{(\omega_0 - \omega)^2} \right) \right) \right) \right) / \\ &\quad \left( (\omega_0 - \omega)^2 \left( \left( r_1 + r_2' \frac{\omega_0}{\omega_0 - \omega} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right) \right) = \dots \\ &= -mU_1^2 r_2' \left( \left( \frac{r_2' \omega_0}{\omega_0 - \omega} \right)^2 - r_1^2 - (x_1 + x_2')^2 \right) / \\ &\quad \left( (\omega_0 - \omega)^2 \cdot \left( \left( r_1 + r_2' \frac{\omega_0}{\omega_0 - \omega} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right) \right). \end{aligned} \quad (7)$$

В полученном выражении (7) подставив вместо  $\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = s$

окончательно получим выражение  $\frac{dM}{d\omega} = \beta_d$ .

$$\beta_d = \frac{dM}{d\omega} = \frac{-mU_1^2 r_2' \left( \left( \frac{r_2'}{s} \right)^2 - r_1^2 - (x_1 + x_2')^2 \right)}{(\omega_0 s)^2 \left( \left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right)^2}. \quad (8)$$

Далее строим графики жесткости механической характеристики вентилятора по выражениям (3) и (8) (рисунок 1). После построения указанных графиков строится график разности коэффициентов жесткости  $\beta_d(s) - \beta_c(\omega)$ . Точка перехода графика разности коэффициентов жесткости  $\beta_d(s) - \beta_c(\omega)$  в отрицательную область значений и будет определять минимальную угловую скорость диапазона регулирования вентилятора  $\omega_{\min}$  (рисунок 1). Следовательно, возможный диапазон регулирования вентилятора будет находиться от минимальной угловой скорости  $\omega_{\min}$  до номинальной  $\omega_n$ .

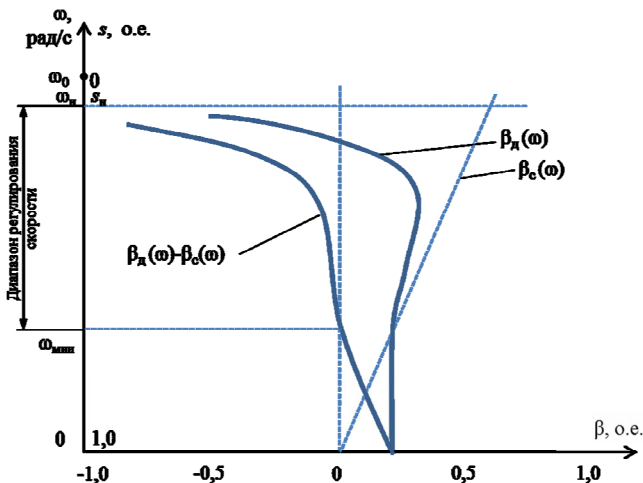


Рисунок 1 – Зависимости коэффициентов жесткости механических характеристик АД  $\beta_d$  и вентилятора  $\beta_c$  при регулировании угловой скорости  $\omega$  изменением напряжения обмоток статора

#### Список использованных источников

1. Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
2. Гридин, В.М. Расчет характеристик асинхронных двигателей по каталожным данным / В.М. Гридин // Электричество, 2018. – № 3. – С. 44–48.
3. Дементьев, Ю.Н. Автоматизированный электропривод : учебное пособие / Ю.Н. Дементьев, А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск : ТПУ, 2009. – 224 с.
4. Прищепов, М.А. Расчет параметров схемы замещения асинхронных двигателей по каталожным данным и построение их естественных механических и электромеханических характеристик / М.А. Прищепов, Е.М. Прищепова, Д.М. Иванов // Агропанорама. – 2016. – №5. – С. 20–32.

**Прищепова Е.М., к.т.н., Крупеня В.И.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ**  
**И КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ**  
**И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ**  
**ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА**

Одним из способов, позволяющим полнее использовать питательные вещества кормов, является их плющение или измельчение зерна перед скармливанием. Указанные процессы приготовления кормов сопровождаются значительными затратами энергии. Даже незначительное снижение энергозатрат при кормоприготовлении дает коммерческий и народнохозяйственный эффект.

В основу обоснования конструктивных и технологических параметров системы электропривода измельчающих машин может быть положена величина удельных приведенных затрат, позволяющих провести анализ как энергозатрат, так и капитальных вложений [1, 2].

Тогда полные приведенные затраты равны

$$Z = \alpha K + C_{\text{эл}} + C_3 + C_p + EK, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент амортизационных отчислений;  $K$  – капитальные затраты, руб;  $C_{\text{эл}} = \varepsilon PT$  – стоимость энергии потребляемой из

сети машиной, руб;  $\varepsilon$  – стоимость одного кВт·ч энергии, руб/кВт·ч;  $P$  – мощность, потребляемая из сети электроприводом машины, кВт;  $T$  – время работы оборудования (дробилки, плющилки), равное  $T = \frac{G}{Q}$ , ч;  $Q$  – часовая производительность, т/ч;  $G$  – объем обрабатываемого корма, т;  $C_3 = hT$  – затраты на оплату труда, руб;  $h$  – часовая ставка оператора, руб/ч;  $C_p = K_p K$  – затраты на ремонт, руб;  $K_p$  – норма отчислений на ремонт;  $EK$  – нормативный годовой доход от вложения средств, руб;  $E$  – коэффициент эффективности капитальных вложений.

Разделив полные приведенные затраты  $З$  на объем обрабатываемого продукта  $G$ , подлежащего переработке в течение года, получим удельные приведенные затраты

$$З_y = \frac{\alpha K + C_{эл} + C_3 + C_p + EK}{G} = \frac{\alpha K + \varepsilon P \frac{G}{Q} + h \frac{G}{Q} + K_p K + EK}{G}. \quad (2)$$

Для обоснования целевой функции оптимизации параметров системы ЭП проведем анализ выражения удельных приведенных затрат (2)

$$\begin{aligned} З_y &= \frac{\alpha K + C_{эл} + C_3 + C_p + EK}{G} = \frac{\alpha K}{G} + \frac{\varepsilon P}{Q} + \frac{h}{Q} + \frac{K_p K}{G} + \frac{EK}{G} = \\ &= \frac{\alpha K}{G} + \varepsilon q + \frac{h}{Q} + \frac{K_p K}{G} + \frac{EK}{G}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $q$  – энергоемкость или удельные энергозатраты процесса плющения и измельчения, кВт·ч/т.

Характер изменения 1, 4 и 5 слагаемых будет определяться капитальными затратами  $K$ , объемом обрабатываемого продукта  $G$  и соответствующими коэффициентами  $\alpha$ ,  $K_p$  и  $E$ , при этом по отношению к объему обрабатываемого продукта  $G$  эти слагаемые будут иметь характер изменения, приведенный на рисунке 1.

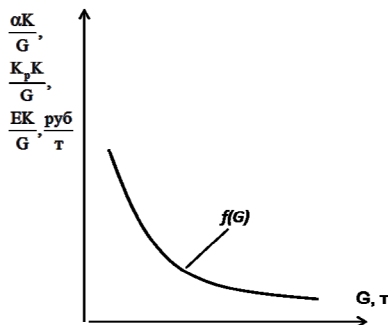


Рисунок 1 – Характер изменения условно-постоянных затрат при увеличении объемов производства

Такой характер изменения указанных слагаемых свидетельствует о том, что чем больше объем обрабатываемого продукта, тем меньше капитальные затраты  $K$  влияют на удельные приведенные затраты  $Z_u$ , т.е. при определенных объемах эти слагаемые на графиках становятся практически параллельными оси  $G$ .

Следовательно, при высокой загрузке оборудования у слагаемых удельных приведенных затрат  $Z_u$ , определяющими целевую функцию оптимизации, будут являться 2 и 3 слагаемые. При этом характер изменения слагаемых определяется стоимостью энергии  $\epsilon$ , часовой ставкой оператора  $h$ , энергоемкостью процесса плющения и измельчения  $q$  и часовой производительностью  $Q$ . Учитывая, что энергоемкость процесса  $q$  и производительность  $Q$  имеют взаимно-обратные экстремумы при определенной скорости, т.е. при определенной скорости  $q=\min$ ,  $Q=\max$  [3].

Поддерживая  $q=\min$ , а  $Q=\max$ , 2 и 3 слагаемые будут взаимно иметь минимальные значения. Таким образом, целевой функцией оптимизации параметров системы ЭП может быть энергоемкость процесса  $q$ , равная

$$q = \frac{P}{Q}. \quad (4)$$

При этом критерием оптимизации является минимум энергоемкости

$$q = \frac{P}{Q} \rightarrow \min. \quad (5)$$

#### Список использованных источников

1. Мусин, А.М. О выборе мощности привода зернодробилки и критерия оптимизации его загрузки / А.М. Мусин, Б.П. Чеба // Электрификация сельскохозяйственного производства: сб. научных трудов; под ред. Р.Л. Самойлович. – М., 1975. – Том 12, вып. 3, Ч.1. – С. 47–53.
2. Дайнеко, В.А. Обоснование целевой функции и критерия оптимизации конструктивных и технологических параметров системы электропривода вальцовых плющилок-измельчителей зерна / В.А. Дайнеко, И.И. Гургенидзе, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2015. – №4. – С. 30–35.
3. Дайнеко, В.А. К вопросу снижения энергоемкости процесса измельчения фуражного зерна / В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2008. – №1. – С. 35–40.

**Прищепов М.А., д.т.н., доцент,  
Рутковский И.Г., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ  
НА ЭЛЕКТРОДАХ ПРОТОЧНЫХ МНОГОЗОННЫХ  
ЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ**

На тепловую обработку термолабильных сред, при электродном нагреве, существенное влияние оказывают отложения на электродах. Под действием высоких температур на компоненты обрабатываемых сред, происходят необратимые физико-химические изменения, например денатурация белков или карамелизация сахаров.

В зависимости от вида продукта и режима обработки отложения можно разделить на легко удаляемый налет, который образуется при небольшом перегреве и на сложно удаляемый пригар, который образуется при сильном перегреве. При нагреве воды на количество отложений влияют примеси нескольких групп. В первую очередь это грубодисперсные примеси, например взвешенные частицы песка, глины и других частиц минерального и органического происхождения. Так же на образование отложений влияют коллоидно-дисперсные примеси, например соединения кремния, алюминия,



железа, и некоторые органические вещества. Кроме того следует отметить влияние на образование отложений молекулярно- и ионо-дисперсных примесей, например растворенных в воде солей, кислот, щелочей и газов. Интенсивность образования отложений зависит от ряда факторов. В настоящее время отмечается, что наибольшее влияние оказывают: плотность тока, температура нагрева обрабатываемой среды, наличие застойных зон, скорость движения обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве, кислотность и содержание газов. [1].

По растворимости в воде и в соляной кислоте отложения можно разделить на несколько типов. К первому относятся отложения, не растворимые в воде и не разлагаемые соляной кислотой. В эту группу попадает большинство котельных накипей, а также продукты коррозии металла, образующиеся под воздействием перегретого водяного пара. Второй тип составляют отложения, практически нерастворимые в воде, но легко разлагаемые соляной кислотой. К ним относятся так называемые низкотемпературные накипи, в том числе накипи образующиеся в электрических аппаратах. Третий тип составляют отложения, в значительной степени растворимые в воде (например, отложения в пароперегревателях котлов и проточной части паровых турбин).

Любое образование отложений приводит к сложностям в эксплуатации нагревательной установки, так как отложения образуют дополнительное сопротивление на границе электрод-среда и приводят к уменьшению межэлектродного расстояния. Это приводит к перераспределению мощности по длине электродного электронагревателя (ЭЭН), а соответственно, и плотности тока на электродах по всей длине ЭЭН, что вызывает неравномерный нагрев и способствует лавинообразному росту количества отложений на электродах ЭЭН. Обзор литературных источников [1, 2] показывает, что распределение образующихся отложений практически не поддается теоретическому моделированию. Исследования должны проводиться экспериментально на реальной установке для конкретных режимов работы, так как при разработке ЭЭН невозможно учесть все факторы, которые влияют на образование отложений на электродах.

Для исследования работы проточного многозонного ЭЭН при наличии отложений на его электродах была изготовлена экспериментальная установка электродного нагревателя. Поскольку толщина отложений на электродах зависит от различных факторов и, как правило, возрастает с увеличением температуры к выходу из ЭЭН, то для определения температурной зависимости удельного

сопротивления (проводимости) отложений на электродах и распределения их толщины по длине ЭЭН необходимо выделить участки электродов для проведения измерений. Для этого каждый из электродов ЭЭН был разбит на четыре одинаковых участка (рисунок 1). Электроды разработанного ЭЭН имели следующие размеры  $H=0,006$  м;  $П=0,04$  м;  $L_1=L_2=L_3=L_4=0,04$  м;  $L_5=L_6=L_7=L_8=0,0315$  м;  $L_9=L_{10}=L_{11}=L_{12}=0,03$  м. При экспериментальных исследованиях подавали водопроводную воду с удельным сопротивлением  $\rho_o=38$  Ом·м и ТКС  $\alpha_T=-0,009$  1/°С, плотностью  $\rho_c=1000$  кг/м<sup>3</sup>, теплоемкостью  $C_p=4174$  кДж/(кг·°С) и массовым расходом  $G=0,003$  кг/с. Напряжение питания  $U=232$  В. Нагрев проводился от 10 °С до 60 °С.

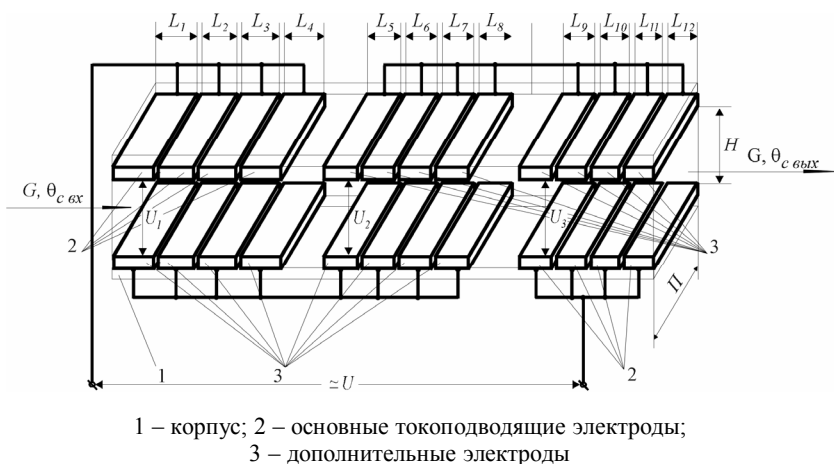


Рисунок 1 – Экспериментальная установка проточного многозонного ЭЭН для исследования образования отложений на электродах при электротепловой обработке

При проведении экспериментальных исследований, через прозрачные боковые стенки ЭЭН из оргстекла, проводился визуальный контроль образования отложений. Периодически проводилась разборка нагревателя, измерение расстояния между образовавшимися отложениями и толщины отложений. Также по величине напряжений и тока определялось общее сопротивление обрабатываемой среды и отложений на участках электродов ЭЭН. С учетом измеренного расстояния между образующимися отложениями определялось сопротивление обрабатываемой среды.

Проведение экспериментальных исследований показало, что распределение отложений на электродах при работе электронагревателя происходит неравномерно, их количество увеличивается к выходу из электронагревателя. Через 240 часов работы толщина отложений, на выходе электронагревателя достигла 0,9 мм.

Корреляционно-регрессионный анализ результатов показал, что изменение толщины отложений по длине ЭЭН, происходит по закону близкому к линейному. Изменение толщины отложений по времени работы ЭЭН происходит по нелинейному закону. Анализ результатов показывает увеличение скорости роста толщины отложений с увеличением времени работы ЭЭН. В результате математической обработки экспериментальных данных получено выражение изменения распределения толщины отложений  $HR_0(x, T)$  по длине ЭЭН в зависимости от времени его работы:

$$HR_0(x, T) = 1,937 \cdot 10^{-5} \cdot x - 2,139 \cdot 10^{-7} \cdot T + 2,383 \cdot 10^{-10} \cdot T^2 + 9,279 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot T \quad (1)$$

где  $x$  – переменная по длине ЭЭН, м;  $T$  – время работы ЭЭН, час.

Анализ экспериментальных данных напряжений на зонах нагрева и токов через участки электродов ЭЭН показал, что электрическая проводимость при  $^{\circ}\text{C}$  и температурный коэффициент проводимости отложений на электродах, как по длине нагревателя, так и по времени его работы существенно не меняются ( $\gamma_0 = 0,0148 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ,  $\alpha_{II} = 0,071 \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$ ). Это значит, что при данном режиме нагрева, в исследуемом диапазоне образования отложений, структура кальциево-магниевых отложений существенно не меняется.

Полученные результаты можно использовать при расчете конструкции и моделировании работы ЭЭН во время их проектирования, для эксплуатации, ремонта и обслуживания.

#### Список использованных источников

1. Маслов, А.М. Аппараты для термообработки высоковязких жидкостей / А.М. Маслов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1980. – 208 с.
2. Васильева, Л.В. Формирование элементного и фазового состава отложений в теплоэнергетическом оборудовании в условиях различных схем водоподготовки и способы их удаления : дис. ... канд. хим. наук : 03.02.08 / Л.В. Васильева. – Краснодар., 2017. – 136 с.

**Проскурина О.П., к.т.н., доцент,  
Лыткина Л.И., д.т.н., профессор,  
Ожерельева О.Н., к.т.н., доцент, Шуваева Г.П., к.б.н., доцент,  
Свиридова Т.В., к.б.н., доцент  
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет  
инженерных технологий», Воронеж, Россия  
СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ  
ЗАДАННОЙ КРУПНОСТИ**

Современный этап развития комбикормовой промышленности характеризуется интенсификацией технологических процессов, направленных в первую очередь на повышение качества конечного продукта, создание высокопроизводительных и энергосберегающих машин и технологий, обеспечивающих научно-технический прогресс в отрасли.

Повышение энергетической эффективности кормопроизводства, улучшение качества готовой продукции, получение комбикормов для сельскохозяйственной птицы выровненного гранулометрического состава всегда остается в центре внимания специалистов.

Нами разработана автоматизированная и энергосберегающая технология полифункциональных смесей заданной крупности и повышенной питательности для сельскохозяйственной птицы с применением теплонасосной установки.

Рассыпной комбикорм и горячие гранулы, вышедшие из матрицы пресс-гранулятора, направляются в первый гравитационный смеситель. Полученная в нем через 3–5 с смесь поступает в теплообменник, представляющий собой камеру прямого сечения, расположенную над охладителем. В теплообменнике происходит тепло- и влагообмен между горячими гранулами и рассыпным комбикормом, и он нагревается до температуры 35–45 °С. В результате повышаются его качественные показатели.

В охладителе смесь гранул и рассыпного комбикорма охлаждается воздухом, который подается вентилятором и проходит предварительную подготовку (охлаждается и осушается) в испарителе-охладителе теплонасосной установки. Для снижения уноса частиц смеси гранул и рассыпного комбикорма процесс охлаждения поводят в режиме «фильтрации» воздуха через движущийся плотный слой смеси. При этом относительно невысокая скорость воздуха, например 0,2–0,4 м/с, компенсируется достаточно низкими его

температурой и влагосодержанием, что значительно сокращает время охлаждения смеси до температуры, превышающей на 4–7 °С температуру окружающей среды.

Затем смесь направляют в вальцовый станок (рабочий зазор устанавливают в пределах 1,0–2,5 мм, в зависимости от назначения комбикорма). Полученный продукт разделяют на фракции в просеивающей машине (диаметр отверстий верхнего сита 3,0–4,5 мм, нижнего 1,8–2,0 мм в зависимости от рецепта комбикорма). Крупная фракция измельчается повторно, мелкая подается в пресс-гранулятор. Среднюю фракцию, представляющую собой комбикорм заданной крупности, подают во второй смеситель, где покрывают жиром слоем 0,5–1,0 мм путем распыления его через форсунки. Содержание жира в комбикорме доводится до 3–5 % от объема получаемой средней фракции.

Теплонасосная установка состоит из испарителя, компрессора и конденсатора. Хладагент всасывается компрессором, сжимается до состояния конденсации и направляется в конденсатор-нагреватель, конденсируясь, он отдает тепло жиру. Жир при достижении температуры 55–65 °С подается через форсунки во второй смеситель, а хладагент направляется через терморегулирующий вентиль, где его давление снижается до заданного, в испарителе-охладителе. Здесь он испаряется за счет теплоты воздуха, подаваемого в охладитель на охлаждение смеси распыленного комбикорма и гранул. В испарителе-охладителе воздух не только охлаждается ниже точки росы (4–7 °С), но и при этом осушается. Влага, содержащаяся в воздухе, конденсируется в снеговую шубу на охлаждающей поверхности испарителя-охладителя. Охлаждение смеси рассыпного комбикорма и гранул воздухом с низкотемпературным потенциалом и пониженным влагосодержанием полностью исключает возможное увлажнение продукта перед его измельчением, которое, как правило, негативно отражается на качестве измельчения и ведет к увеличению энергозатрат на работу измельчителя.

Отработавший воздух после охладителя возвращается в испаритель-охладитель теплонасосной установки. Воздух не выбрасывается в атмосферу, а направляется в контур для рециркуляции.

Таким образом, применение теплонасосной установки в производстве комбикормов позволяет повысить производительность линии на 15 % за счет сокращения времени охлаждения. Снижает энергозатраты на 10–15 %. Обеспечивая экологически чистое автоматизированное производство.

#### Список использованных источников

1. Лыткина ЛИ., Шевцов А.А., Дранников А.В., Клейменов А.И. Техника и технология тепловых и механических процессов в задачах энергосбережения на комбикормовых заводах: монография. Воронеж: ВГТА, 2011. 304 с.
2. Афанасьев В.А., Остриков А.Н. Приоритетные методы тепловой обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов Воронеж: ВГУИТ, 2015. 337 с.

**Равинский Н.А., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАЩИТЫ  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ЧАСТОТНОМ  
РЕГУЛИРОВАНИИ**

В последнее время в сельском хозяйстве все чаще находит применение частотно-регулируемый электропривод, при котором управление и защита асинхронного короткозамкнутого электродвигателя от аварийных режимов осуществляется электронной защитой, встроенной непосредственно в преобразователь частоты. Она обеспечивает защиту электродвигателей от многих аварийных режимов работы и состояний: перегрузка, короткое замыкание (при определенных условиях), неполнофазный режим, стопорный режим и т.д.

Однако, на практике сложилась ситуация, когда подавляющее большинство электродвигателей, работающих в паре с преобразователями частоты – это электродвигатели общепромышленных серий, например, серии АИР – закрытые самовентилируемые двигатели, охлаждение которых рассчитано на работу при частоте тока 50 Гц. Чем ниже установленная преобразователем частота тока, тем охлаждение становится менее эффективно. При длительной работе электродвигателя при постоянном моменте нагрузки на пониженных оборотах, особенно при частоте тока ниже 30 герц, возможен перегрев двигателя и выход его из строя.

Многие преобразователи частоты, например ОВЕН ПЧВ (Россия), могут оценивать температуру электродвигателя без подклю-

чения термистора. При использовании такой функции температура электродвигателя вычисляется на основе учета фактических величин момента нагрузки, частоты и времени функционирования [1]. Тем не менее, такая оценка не учитывает факторы, влияние которых на нагрев отдельных частей обмоток двигателя может быть существенным, например, загрязненность корпуса, температура окружающей среды; производится оценка средней температуры обмотки и не учитывается тот факт, что температура ее отдельных частей может быть выше средней температуры [2]. Кроме того, такое определение температуры невозможно при работе преобразователя частоты с группой параллельно подключенных к нему электродвигателей. Поэтому, использование такой функции опосредованного контроля температуры рекомендуется только при отсутствии подключения термисторов.

Очевидно, наилучшим способом защиты электродвигателя от перегрева при работе на низкой частоте тока является непосредственный контроль температуры обмоток двигателя. В качестве датчиков используются терморезисторы с положительным температурным коэффициентом. Датчики реагируют только на температуру, и их действие не зависит от причин возникновения опасного нагрева. Поэтому такая система обеспечивает защиту двигателя как в состояниях перегрузки, работы на двух фазах, так и при заклинивание ротора, выхода из строя подшипников, когда температура двигателя растет достаточно быстро [3]. Датчики встраиваются в лобовые части обмотки статора со стороны противоположной вентилятору наружного обдува, по одному в каждую фазу, соединяются последовательно, концы цепи датчиков выводятся на клеммы коробки выводов, от которых производится подключение к клеммам аналогового входа преобразователя частоты или к специальным клеммам, предназначенным для подключения термодатчиков, при этом следует обязательно установить необходимые значения соответствующих параметров преобразователя частоты.

При частотном регулировании рекомендуется использовать специальные электродвигатели, например, серии АДЧР (Россия), которые предназначены для работы в составе одиночного и (или) группового частотно-регулируемого электропривода в режиме S9 или от сети переменного тока в режимах S1–S8 [4]. Такие электродвигатели могут быть снабжены независимой вентиляцией для работы в широком диапазоне частоты вращения, а также оснащены

датчиками температурной защиты, встроенными в каждую фазу обмотки статора. В этом случае, охлаждение электродвигателя будет происходить независимо от частоты вращения его ротора и даже при нарушении системы принудительного охлаждения перегрев двигателя будет определен термодатчиками, после чего преобразователь частоты аварийно остановит электродвигатель.

#### Список использованных источников

1. Руководство пользователя ПЧВ1/ПЧВ2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://owen.ru/uploads/306/rp\\_pchv12\\_71.pdf](https://owen.ru/uploads/306/rp_pchv12_71.pdf) – Дата доступа: 28.11.2022.
2. Гурин, В.В. Автоматическая защита электрооборудования. В 2 ч. Ч. 2. Защита асинхронных трехфазных электродвигателей : учебно-методическое пособие / В.В. Гурин. – Минск : БГАТУ. 2011. – 452 с.
3. Трехфазные двигатели серии АИР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mez.by/catalog/asinkhronnye-dvigateli-serii-air-aire/trekhfaznye-dvigateli-serii-air/> – Дата доступа: 28.11.2022.
4. Асинхронные двигатели для частотного регулирования (серия АДЧР) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://keb.ru/upload/iblock/40f/Каталог%20АДЧР2.pdf> – Дата доступа: 28.11.2022.

**Рутковский И.Г., ст. преподаватель**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ**  
**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАТА**  
**ОТ ЕГО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

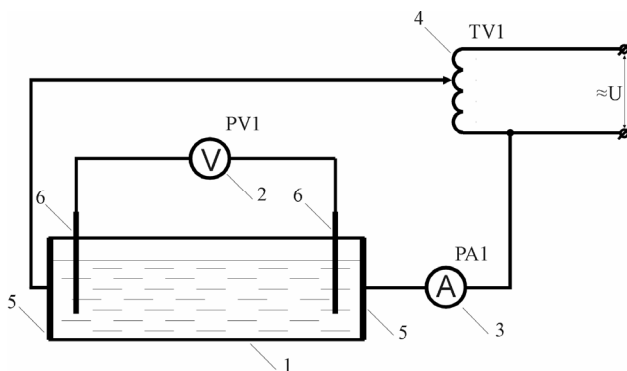
Сельскохозяйственное производство, в процессе приготовления кормов, широко использует тепловую обработку. Корма подлежащие термообработке, как правило, являются термолабильными и обладают выраженной зависимостью удельного сопротивления от температуры. Одними из наиболее широко распространенных термолабильных сельскохозяйственных сред, требующими термообработки, являются молоко и молочные продукты. При том, что проводимость молока изучена достаточно хорошо и в товарном



молоке изменяется в достаточно узких пределах ( $0,4\text{--}0,46\text{ См}\cdot\text{м}^{-1}$ ), для молочных продуктов (молочной сыворотки, обрат, ряженки и др.), подвергающихся переработке и хранению, проводимость отклоняется от средних значений на значительную величину. Это вызывает значительные сложности при разработке и эксплуатации ЭЭН, поскольку они рассчитываются на определенные значения удельного сопротивления обрабатываемой среды. Для повышения эффективности использования электродного нагрева молочных продуктов необходимо исследовать изменение удельного сопротивления молочных продуктов при хранении, поскольку это приводит к изменению их кислотности и, соответственно, удельного сопротивления. Так же необходимо исследовать изменение удельного сопротивления молочных продуктов при изменении в них концентрации хлоридов, поскольку концентрация хлоридов зависит от рациона кормления и влияет на проводимость молочных продуктов.

Одним из наиболее востребованных молочных продуктов, в том числе и при выращивании телят, является обрат [1]. При исследовании электрофизических характеристик обрат использовалась установка, которая показана на рисунке 1.

Исследования электрофизических характеристик сельскохозяйственных термолабильных сред, проводились с использованием теории планирования эксперимента. При нормальном законе распределения полученных данных, для обработки результатов экспериментов, использовалась методика, изложенная в [2].



- 1 – электролитическая ванночка с анализируемой средой; 2 – вольтметр;  
3 – миллиамперметр; 4 – лабораторный авто-трансформатор;  
5 – электроды из титана; 6 – проволочные зонды

Рисунок 1 – Схема установки для исследования электрофизических характеристик обрат

В результате обработки экспериментальных данных влияния соли, добавленной к обрату, его кислотности и температуры на удельное сопротивление обрата  $\rho_{pu}$  получено уравнение:

$$\begin{aligned} \rho_{pu} = & 2,693483738 - 0,410462852 \cdot x'_{1u} - 0,009641356 \cdot x'_{2u} - 0,032606998 \cdot x'_{3u} + \\ & + 0,024624079 \cdot x'^2_{1u} - 0,00002417 \cdot x'^2_{2u} + 0,000125831 \cdot x'^2_{3u} + \\ & + 0,001586354 \cdot x'_{1u}x'_{2u} + 0,002475782 \cdot x'_{1u}x'_{3u} + 0,000080188 \cdot x'_{2u}x'_{3u} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $x'_1$  – количество добавленной соли NaCl, г/л,  $x'_2$  – кислотность, °Т,  $x'_3$  – температура обрата, °С.

Полученные данные можно использовать при проектировании электронагревательных установок (ЭНУ) с электродными электронагревателями (ЭЭН) для подогрева обрата. Поскольку ЭЭН в ЭНУ рассчитываются на определенную мощность, а соответственно и на определенное изменение удельного сопротивления обрата от температуры его нагрева, то значение температурной зависимости удельного сопротивления обрата проходящего тепловую обработку может отличаться от значения температурной зависимости удельного сопротивления, на которую рассчитан ЭЭН. Таким образом, мощность ЭНУ с ЭЭН может отличаться от расчетной. Соответственно необходимо корректировать удельное сопротивление обрата. Анализ уравнения (1) показывает, что удельное сопротивление обрата при нагреве снижается. Добавление определенного количества соли NaCl так же снижает удельное сопротивление обрата.

Регулирование мощности ЭНУ с ЭЭН путем корректировки величины удельного сопротивления необходимо предусмотреть на стадии проектирования ЭЭН. Конструкция ЭЭН разрабатывается на значение удельного сопротивления обрата, например при температуре в начале его нагрева, которое может оказаться минимальным при практическом использовании ЭНУ с ЭЭН. Перед термообработкой значение удельного сопротивления обрата уменьшается на требуемую величину путем добавления в него соли NaCl. Это позволяет повысить значение тока ЭНУ с ЭЭН до необходимых значений.

Добавленное количество NaCl в дальнейшем можно учитывать при формировании рациона кормления животных. В рационе телёнка до шестимесячного возраста в сутки должно быть 10–16 л жидкой кормосмеси [1]. При приготовления которой необходимо 4–6,4 л обрата и 30–48 грамм соли NaCl. Соответственно, для повышения мощности ЭНУ с ЭЭН, при подогреве обрата, можно ис-

пользовать такое количество рассола с NaCl, чтобы количество добавленной поваренной соли в обрат не превышало 7,5 г/литр обрата. Это позволяет корректировать мощность нагревателя, при изменении удельного сопротивления обрата, и вести термообработку при оптимальных параметрах.

#### Список использованных источников

1. Ульянов, И.П. Откорм молодняка крупного рогатого скота / И.П. Ульянов, А.П. Терехов, Г.П. Доброхотов. – М., Колос, 1972. – 127 с.
2. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

**Сергиевич О.А.<sup>1</sup>, к.т.н., Дятлова Е.М.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
Шевченко А.А.<sup>2</sup>, к.т.н., доцент**

**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь**

**<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**

### **КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАОЛИНОВ РБ В АПК**

Керамические плитки используют для облицовки полов и стен в помещениях, к которым предъявляются повышенные требования (предприятия пищевой и аграрной промышленности, больницы, школы, бытовые помещения, санитарные узлы зданий), где возможны воздействия различных химических веществ (предприятия химической промышленности, лаборатории. Также они применяются в условиях постоянных истирающих нагрузок (железнодорожные вокзалы, станции метро, магазины), как декоративные элементы в архитектурном оформлении фасадов помещений (вестибюли общественных зданий, террасы, лестницы, дорожки, бассейны), для облицовки печей, каминов, комнат в сауне или бане. Благодаря значительной химической устойчивости керамические плитки для полов могут использоваться в качестве футеровочного материала для химической аппаратуры различного назначения.

В РБ керамические плитки выпускают с использованием значительного количества привозного глинистого сырья, в т.ч. каолинов. На основании данных [1] установлено, что каолиновое сырье играет одну из основных ролей в процессе формирования структуры и фазообразования керамического черепка в процессе обжига за счет высокого содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (25–30 %) согласно требованиям к керамическому сырью.

Таким образом, представляет научно-технический интерес получение керамических плиток для полов с использованием отечественных каолинов, отвечающих требованиям НТД. На территории Беларуси выявлены два наиболее значимых месторождения природных каолинов: «Ситница» с суммарными запасами 2,53 млн т и «Дедовка» – 7,02 млн т [2]. Необходимо отметить, что потенциально каолины РБ могут быть использованы в производстве облицовочных плиток, а в обогащенном состоянии – для санитарно-технических изделий.

Основной целью данной работы является разработка составов масс с использованием природных белорусских каолинов для получения керамических плиток, а также исследование их влияния на реологические характеристики шликеров и пресс-порошков, физико-химические свойства полученных материалов с установлением особенностей фазообразования и формирования структуры в процессе термообработки.

В качестве исходных сырьевых материалов при разработке составов керамических плиток для полов использовались: огнеупорная глина марок «Керамик-Веско» (ТУ У 14.2–00282049–003:2007) и ДНПК (ТУ У 14.2–00191796–002:2009), природные каолины «Ситница» и «Дедовка», каолин Глуховецкий КС-1 (ТУ У 14.2–00282033–003:2001), полевой шпат вишневогорский (Россия) и кварцевый песок марки ОВС-020-В Гомельского ГОКа (ГОСТ 22551–77).

Установлены основные показатели керамических шликеров (влажность – 37,0–39,3 %, текучесть – 7–12 с, остаток на сите № 0063 – 1,0–3,0 %) и свойства пресс-порошков (грансостав: фракция 1–0,5 мм – 26–33,7 %, менее 0,25 мм – 44–60,2 %).

Исследование основных эксплуатационных свойств керамических плиток для полов, синтезированных из серии разработанных составов масс с использованием природных каолинов белорусских

месторождений при температурах обжига 1160 и 1200 °С, позволило установить их оптимальное количество 10–15 % при замене высококачественного огнеупорного глинистого сырья. Дальнейшее увеличение природных каолинов приводит к значительному повышению показателей водопоглощения. Положительные результаты дала полная замена украинского каолина-сырца Жежелевского месторождения на природные каолины РБ в составах керамических масс, обеспечивающая получение плиток для полов со следующими показателями свойств при температуре обжига 1200 °С: с каолином «Ситница» – водопоглощение 0,25 %, механическая прочность при изгибе – 41,7 МПа; с каолином «Дедовка» – 0,49 % и 39,6 МПа.

Установлено, что основными кристаллическими фазами являются кварц ( $\text{SiO}_2$ ), муллит ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), а также полевые шпаты – микроклин ( $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ ) и альбит ( $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ ), кроме того, присутствует и гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), что в основном соответствует фазовому составу производственного образца керамической плитки.

Результаты микроскопического исследования структуры образцов оптимальных составов керамических плиток приведены на рисунке 1.

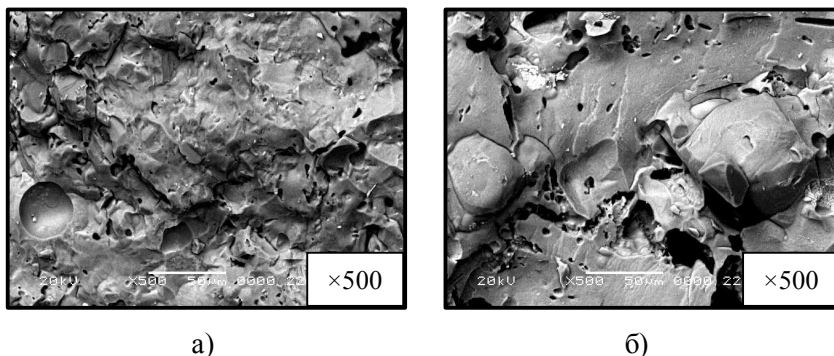


Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое изображение поверхности скола образцов керамических плиток с каолином «Ситница» (а) и «Дедовка» (б), обожженных при температуре 1200 °С

Микроструктура образцов поликристаллическая, мелко- и равнозернистая, текстура однородная. Установлено, что при использовании каолина «Дедовка» по сравнению с каолином «Сит-

ница» снижается степень спекания черепка вследствие избыточного содержания  $\text{SiO}_2$  с образованием стекловидной фазы в меньшем количестве.

Таким образом, использование природных каолинов белорусских месторождений при полной замене украинского каолина-сырца Жежелевского месторождения обеспечивает получение плиток керамических для полов при температуре обжига  $1200^\circ\text{C}$  с показателями, соответствующими требованиям ГОСТ 6787–2001 и СТБ EN 14411–2009: с каолином «Ситница» – водопоглощение 0,25 %, механическая прочность при изгибе 41,7 МПа; с каолином «Дедовка» – соответственно 0,49 % и 39,6 МПа.

#### Список использованных источников

1. Павлов, В.Ф. Разработка составов масс на основе Ангренского каолина для производства плиток для полов при скоростном режиме обжига / В.Ф. Павлов, И.В. Шаламова // Труды / Гос. науч.-исслед. ин-т строит. керамики. – М., 1979. – Вып. 44. – С. 5–18.

2. Исследование каолинов белорусских месторождений с целью использования в производстве керамических плиток различного назначения / О.А. Сергиевич, Е.М. Дятлова, Г.Н. Малиновский, С.Е. Баранцева, Р.Ю. Попов // Труды БГТУ. – 2013. – № 3: – С. 110–117.

**Сухарев И.Н., доцент, к.т.н., Мироненко Д.А. студент,  
Усков А.И., студент, Рябенко Л.А., студент,  
Столяров И.М. студент**

### **ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАКУУМ-АППАРАТОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ УВАРИВАНИЯ УТФЕЛЯ В СВЕКЛОСАХАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Как правило, в свеклосахарном производстве важнейшим завершающим этапом получения сахарного песка является процесс кристаллизации. При этом имеется в виду максимальное выделение этих кристаллов из сахарных производственных растворов. Важность кристаллизации в технологической схеме сахарного завода

определятся тем, что это наиболее эффективный способ очистки сахарных растворов от несахаров.

Для снижения потерь сахара в кристаллизационном отделении необходимо усовершенствовать технологию уваривания утфеля в зависимости от качества сырья и на основании анализа его качества при вегетации [1, 2].

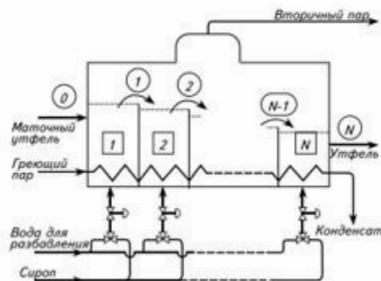


Рисунок 1. Схематическое изображение CVP

В сахарной промышленности достаточно долго эксплуатируются вакуум-аппараты двух типов непрерывного действия: горизонтальный (CVP) и вертикальный (VKT).

В вакуум-аппарате CVP (рисунок 1) уваривание утфеля осуществляется в двойном горизонтальном корпусе W-образной формы, который разделен продольной вертикальной перегородкой на два автономных аппарата. Корпус разделен также поперечными перегородками на 11 отсеков, в которых имеются калиброванные проемы для зигзагообразного перемещения утфеля и лучшей реализации режима вытеснения утфеля из отсека в отсек. Таким образом, циркуляция в аппарате осуществляется за счет горизонтального поступательного движения утфеля с естественной циркуляцией внутри отсеков и непрерывным отводом утфеля из отсека в отсек за счет разности уровней утфеля, причём из последнего отсека утфель откачивается насосом. Объем каждого отсека обеспечивает равное время пребывания утфеля, что оптимизирует работу аппарата и стабилизирует показатели качества готового утфеля по содержанию кристаллической фазы и размерам кристаллов. Принцип работы аппарата – непрерывный, с установившимся (стационарным) процессом, близким к идеальному вытеснению.

Преимущество горизонтального, секционированного на отсеки вакуум-аппарата непрерывного действия состоит в том, что в результате его использования улучшена функция среднего роста кристаллов, приводящая к лучшему качеству кристаллов в продукте [3, 4]. Качество готовой продукции, как правило влияет на ее конечную стоимость, с учетом той продукции, которая не пригодна для дальнейшего использования. Если продукция соответствует ожидаемому итоговому результату, то как итог – потери сахара в меласе минимальны

Каждая камера аппарата VKT (рисунок 2) представляет собой вакуум-аппарат периодического действия, снабженный механическим циркулятором. Конструкция VKT позволяет выполнить модернизацию за счет установки пятой камеры для увеличения его производительности, что более экономически эффективно чем установка дополнительного вакуум-аппарата периодического действия. При этом монтаж на верх аппарата еще одной кристаллизационной камеры не представляет проблем, так как фундамент VKT и его статическая прочность изначально рассчитываются на возможное расширение [3].

Достоинством вертикального вакуум-аппарата периодического действия является то, что позволяет достаточно сильно увеличить выход сахара в итоговый продукт, при минимальном расходе пара на производстве вследствие возможности работы на небольших разностях температур.

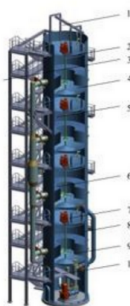


Рисунок 2. Концепция аппарата VKT

1 – каркас для подъемного оборудования и демонтажа привода циркулятора; 2 – кристаллизационная камера; 3 – башенная лестничная клетка с площадками обслуживания; 4 – промежуточная царга; 5 – циркулятор; 6 – двухконусное сливное днище; 7 – греющая камера; 8 – переливной трубопровод утфеля; 9 – вертикальная царга с опорным кольцом; 10 – насос утфеля.



Таким образом, уваривание утфеля может осуществляться в вакуум-аппаратах вертикального и горизонтального типов работы. При этом важно учесть, что CVP обеспечивает «горизонтальное» вытеснение утфеля массы, в то время как VKT совмещает в себе перемешивание и вытеснение. Использование CVP и VKT дает возможность полностью автоматизировать процесс, исключив ручной труд, что существенно влияет на экономическую сторону, вероятности ошибки, затраченное время.

#### Список использованных источников

1 Никулина, О.К. Влияние качества сырья на процесс кристаллизации сахарозы / О.К. Никулина, В.В. Кулаковский // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2017. – № 1(35). – С. 47–53. – EDN YGWEML.

2 Совершенствование кристаллизации утфелей в сахарном производстве / Н.Г. Кульнева, В.А. Федорук, Н.А. Матвиенко, Е.М. Пономарева // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2021. – Т. 83. – № 1(87). – С. 86–93. – DOI 10.20914/2310-1202-2021-1-86-93. – EDN MAPJPR.

4 Официальный сайт компании BMA – <https://www.bma-worldwide.com>

**Юсубалиев Аширбай, д.т.н., профессор  
Институт энергетических проблем, Ташкент  
Шарипов Шерзод Насим угли**

### **Бухарский инженерно-технологический институт, г. Бухара НАКОПЛЕНИЕ ЗАРЯДА В СЕМЕНАХ ПРИ ДВИЖЕНИИ В НЕРАВНОМЕРНОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

Одним из основных причин низкой урожайности семенников люцерны на поливе (около 1,5 ц/га) является засоренность полей сорняками из-за отсутствия в хозяйствах технических средств для очистки семенного материала, что приводит к засоренности посевного материала семенами сорных растений, основным из последних является горчак.

Анализ известных способов очистки семян показал, что для повышения качества очистки посевного материала наиболее эффек-

тивным путем является применение сил электрического поля [1]. Однако применение трибоэлектрического [2] и диэлектрического [3] устройств не способствовали достижению очистки семян люцерны от семян карантинных растений до уровня предъявляемых требований к ним. Использование электростатических сепараторов с расходящимися плоскими электродами, в которых происходит возрастание напряженности поля и величины приобретаемого заряда, создают хорошие возможности изменения траекторий семян люцерны и горчицы в процессе их движения к верхнему электроду после отрыва от потенциального нижнего электрода [4]. При этом семена горчицы стартуют к верхнему электроду при меньших напряженностях, чем семена люцерны, поскольку они обладают большей длиной и меньшим коэффициентом сферичности.

При движении предельный заряд семени будет нарастать по линейной зависимости согласно выражению:

$$Q_{cn}(t) = \frac{\varepsilon_0 k_s}{d} E(t) \quad (1)$$

После достижения предельного заряда, достаточного для отрыва от нижнего электрода, оно взлетит к верхнему электроду. Применительно к электростатическому полю с равномерно нарастающей напряженностью можно записать:

$$E(t) = E_n + K_t t, \quad (2)$$

где  $E_n$  – начальная величина напряженности поля, В/м;

$K_t$  – коэффициент изменения напряженности поля за единицу времени, В/м·с

$t$  – время, с.

Величина коэффициента  $K_t$  зависит от скорости движения семян, согласно выражению:

$$K_t = \frac{E_k - E_n}{l} v_c \quad (3)$$

где  $E_k$  – конечная величина напряженности поля, В/м;

$E_n$  – начальная величина напряженности поля, В/м;

$l$  – длина межэлектродного пространства, м;

$v_c$  – скорость движения семян в рабочем пространстве, м/с.

Дифференциальное уравнение динамик накопления электрических зарядов иметь следующий вид:

$$T_c \frac{dQ_c(t)}{dt} + Q_c(t) = k_{ct} k_t + k_{co} (E_H + k_t t). \quad (4)$$

Решение дифференциального уравнения по методу неопределенных коэффициентов будет:

$$Q_c(t) = Q_{CH} e^{-\frac{t}{T_c}} + (k_{co} E_H - k_t (T_c k_{co} - k_{ct})) (1 - e^{-\frac{t}{T_c}}) + k_{co} k_t t. \quad (5)$$

Графическая зависимость выражения (5) показана на рис.1.

Из рисунка видно, что действительное значение величины заряда  $Q_c(t)$  отличается от теоретической предельной величины заряда  $Q_{cn}(t)$ , напряженностью величину  $\Delta Q_c$  из-за конечной скорости  $v_c$  движения семени, как было упомянуто выше. Следовательно,  $\Delta Q_c$  находится в пропорциональной зависимости от скорости  $v_c$ .

В интервале времени, ограниченном в пределах до  $5 T_c$ , разница  $\Delta Q_c$  между действительной величиной заряда  $Q_c(t)$  и его теоретической величиной  $Q_{cn}(t)$  значительна и изменяется по величине во времени ( $\Delta Q_c(t)$ ), а при  $T > 5 T_c$  с практически достаточной точностью, можно считать, что она имеет постоянную величину для данной скорости  $v_c$ . При этом величину  $Q_{CHn}$  из рисунка можно определить для  $v_c \rightarrow 0$  и  $t \rightarrow \infty$  согласно и, откуда:

$$Q_{CHn} = k_{co} E_H = \frac{\varepsilon_0 k_s}{d} E_H \quad (6)$$

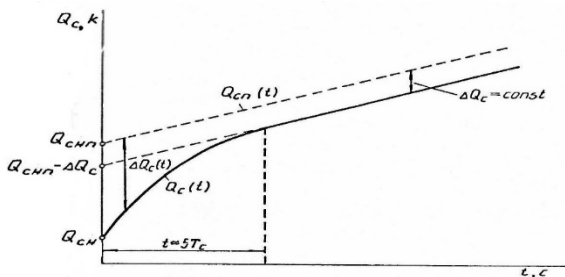


Рисунок 1 – Изменение заряда семени, движущегося в электростатическом поле с равномерно нарастающей напряженностью

Для  $Q_{\text{сн}}(t)$ , согласно (5) и (6), при условии  $v_c > 0$  получаем зависимость:

$$Q_{\text{сн}}(t) = k_{\text{co}} E_H + k_{\text{co}} k_t t = \frac{\varepsilon_o k_s}{d} E_H + \frac{\varepsilon_o k_s (E_k - E_H)}{dl} v_c t. \quad (7)$$

Из изложенного следует, что предельная величина заряда  $Q_{\text{сн}}$  и  $Q_{\text{сн}}(t)$  не зависят от влажности материала (соответственно от  $\varepsilon_c$  и  $\gamma_c$ ), что способствует повышению точности разделения.

#### Список использованных источников

1. А. Юсубалиев, Д. Рахматов, Ш.Н. Шарипов. Анализ известных технологий и устройств для подготовки семян люцерны // Развитие науки и технологий. – 2021, №6. – С.
2. Ли А. Технологические процессы уборки и технические средства очистки семян люцерны // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. №6. – С. 28–35.
3. Юсубалиев А., Шарипов Ш.Н. К очистке семян люцерны в электрическом устройстве // Материалы междуна. научн.-прак. конф. НамИТИ (24–25 июня 2021 г.). – Наманган, 2021, С. 807–809.
4. Юсубалиев А., Шарипов Ш.Н. Влияние некоторых свойств семян на технологию очистки люцерны от засорителей // Проблемы современной науки и образования. – 2021, № 11(168) – С. 18–21 (DOI: 10.24411/2304-2338-2021-10101).

**Янко М.В., Заяц Е.М., д.т.н., профессор**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ЭЛЕКТРОННО-ИОННАЯ АКТИВАЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ**  
**СРЕДЫ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE***

Согласно [1, 2] отрицательно заряженные молекулы кислорода дисмутировавшие в активную форму кислорода – пероксид водорода, стимулируют в хлебопекарных дрожжах *Saccharomyces cerevisiae* синтез белков, изменяют химический состав, биофизические характеристики и проницаемость плазматической мембраны клетки дрожжей.

Наши исследования по влиянию аэроионов на дрожжи, проведенные совместно с ОАО «Дрожжевой комбинат» подтверждают положительное действие ионоактивации на ферментацию дрожжей.

Методика ферментации соответствовала принятой на дрожжевом комбинате. Концентрация ионов составляла  $(0,95 \pm 0,05) \times 10^{12} \text{ м}^{-3}$ , энергию отрицательно заряженных молекул воздуха изменяли в пределах 15...30 кДж/моль, количество электричества – от 0,11 до 0,46 Кл/кг питательной среды. Контролировали изменение Eh, pH, концентрацию кислорода, количество электронов, формольное число. Использовали стандартные методики и приборы измерения.

Результаты исследования показали, что обработка с удельным количеством электричества около 0,46 Кл/кг увеличивает Eh среды и содержание свободных электронов  $\text{p}^-$  в фазе логарифмического роста (1-6 ч) и стационарной фазе (6–12 ч). Это свидетельствует о более активном росте и развитии дрожжей, [3, 4]. Без активации, после 13 ч выращивания Eh среды стабилизируется, что указывает на прекращение роста и размножения дрожжевых клеток, [3, 4]. При этом активация аэроионами продлевает стационарную фазу.

Концентрации кислорода в среде подвергнутой активации и без неё практически идентичны в начале исследований. По мере роста дрожжей, концентрация кислорода постепенно снижается, так как при ферментации дрожжи его поглощают для синтеза биомассы. По этой причине при выращивании дрожжи с питательной средой непрерывно аэрируют. Обработка аэроионами стабилизирует концентрацию кислорода на уровне 0,4–0,6 мг/л, в отличие от контрольного опыта – 0,2–0,3 мг/л. Количество растворенного кислорода определяет направление ферментативных процессов дрожжевой клетки: при оптимальном количестве дрожжи накапливают биомассу; при недостатке – образуют спирты. Рентабельность использования сырья при этом снижается и тем сильнее, чем меньше кислорода получают дрожжевые клетки [3].

Обработка аэроионами при количестве электричества около 0,46 Кл/кг снижает значение формольного числа среды по сравнению с контрольным опытом, что указывает на снижение концентрации в среде усваиваемого дрожжевой клеткой азота. Клетки дрожжей используют ионы аммония и аминокислоты для синтеза белка. Концентрация азотсодержащих веществ влияет на качест-

венные показатели хлебопекарных дрожжей: мальтазную активность и содержание трегалозы в клетках [5].

Таким образом электронно-ионная активация положительно влияет на дрожжерастительную среду. Можно предположить, что эти изменения улучшат продуктивность и другие показатели хлебопекарных дрожжей.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № T21M-101).

#### Список использованных источников

1. Кандрашова, М.Н. Отрицательные аэроионы и активные формы кислорода / М. Н. Кандрашова. // Биохимия. – 1999. – Т. 64. – №. 3. – С. 430–432

2. The H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> stimulon in *Saccharomyces cerevisiae* / C. Godon, [et al.] // Journal of Biological Chemistry. – 1998. – Т. 273. – №. 35. – С. 22480–22489.

3 Меледина, Т.В. Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Морфология, химический состав, метаболизм: Учеб, пособие. / Т. В. Меледина, С.Г. Давыденко. – Санкт-Петербург : Университет ИТ-МО, 2015. – 88 с.

4. Lin, Y. H. Correlations between reduction–oxidation potential profiles and growth patterns of *Saccharomyces cerevisiae* during very-high-gravity fermentation / Y.H. Lin, W.S. Chien, K. J. Duan. // Process Biochemistry. – 2010. – Т. 45. – №. 5. – С. 765–770.

5. Влияние условий культивирования на выход и качество хлебопекарных дрожжей / О.И. Пономарева [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2011. – №. 2. – С. 261–270.

## **СЕКЦИЯ 4**

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК**

**Авцинов И.А., д.т.н., профессор, Суханова Н.В., к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет  
инженерных технологий», г. Воронеж  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСТРОЙСТВ С ГАЗОВОЙ СМАЗКОЙ  
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОПЕРАЦИЙ  
МАНИПУЛИРОВАНИЯ**

Агропромышленный комплекс является многоотраслевой системой, которая включает в себя более 60 отраслей: сельское хозяйство, пищевую и биологическую промышленность, пищевое, сельскохозяйственное и автотракторное машиностроение, производство химических удобрений, средства защиты растений, строительство сельскохозяйственных, промышленных и социально-культурных объектов, связь, ветеринарную и санитарно-эпидемиологическую службы и т. п. Автоматизация производственных процессов – один из трендов технологического развития во всём мире.

Анализ операций манипулирования специфическими штучными изделиями показывает, что многие из них реализуются вручную. Это в первую очередь связано со спецификой штучной продукции пищевой, химической, перерабатывающей и других отраслей. К ней можно отнести: значительный ассортимент типоразмеров, физико-механические свойства, завышенные требования к производственной гигиене и ряд других. Подавляющее большинство современных средств манипулирования не отвечают в полной мере вышеперечисленным требованиям. Поэтому актуальной является задача создания автоматических устройств, обеспечивающих манипулирование специфической штучной продукцией.

Перспективным направлением решения поставленной задачи является создание оборудования, использующего эффекты газовой несущей прослойки между опорной поверхностью штучной продукции и несущей поверхностью оборудования. В результате чего снижается сухое механическое трение между предметом производства и несущими частями оборудования, и значительно увеличивается универсальность такого вида оборудования. На основании проведенного анализа номенклатуры изделий сельского хозяйства

(брикеты, потребительская тара), пищевой промышленности (пряники, тестовые заготовки, конфеты, зефир, пирожные) выделена большая группа специфичных изделий, для автоматизации операций манипулирования которыми актуальной является разработка и использование устройств, использующих эффекты тонкой газовой несущей прослойки (ТГНП). Одним из основных элементов предлагаемых устройств является рабочая поверхность, которая отличается по геометрическому признаку и выполняется в виде разнообразных геометрических фигур: плоскости, цилиндра, параболоида, конуса и их комбинированных вариантов. В зависимости от конструкции рабочих поверхностей на устройствах реализуются различные операции: СК – сортировка, классификация; КМ – контроль массы и др. Поверхность может быть подвижная и неподвижная (конфигурация РП: плоскость – СК, КМ, плоскость со вставкой сверху – СК, КМ, плоскость со вставкой – КМ, плоскость со вставкой в пневмокамере – КМ, усеченный конус – КМ), а по виду движения: колебательного, поступательного и вращательного типа [1].

Рассмотрим работу устройства для сортировки штучных изделий. На процесс всплытия изделия на воздушной прослойке значительно влияет зазор между несущей поверхностью оборудования по образующей конуса и опорной поверхностью изделия. Чем больше данный зазор, тем больше требуется расход воздуха, подаваемого под изделия для осуществления «всплытия». Поэтому сортируемые изделия при неизменном расходе воздуха, подаваемого в пневмокамеру, будут совершать «посадку» на несущую поверхность конуса на различном расстоянии от его вершины. Например, изделия меньшего размера будут совершать «посадку» ближе к вершине, а большего – дальше. Различные изделия 3 будут совершать «посадку» строго в определённых местах вдоль образующей конуса. В связи с этим их траектории движения при удалении с диска 1 будут различны, т. е. сортируемые изделия будут соскальзывать с конуса в различных местах его основания и попадать в соответствующие приёмные лотки 5. Причём, чем меньше разница между диаметрами изделий, входящих в один размерный ряд, тем больше должен быть угол конусности (вогнутости) диска, так как с его увеличением возрастает чувствительность средства сортировки.



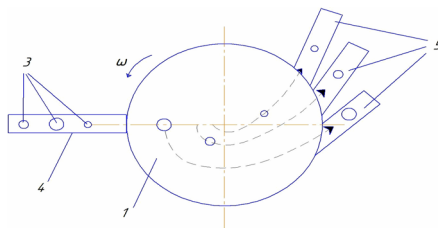


Рисунок 1 – Устройство для активной ориентации и сортировки по размеру

Анализ и синтез характерных элементов пневмосистемы вида «пневмокамера – рабочая поверхность устройства – тонкая газовая прослойка - изделие» позволил оценить их взаимосвязь и разработать устройства для выполнения различных манипуляционных операций с определенными функциональными возможностями. Разработанные устройства имеют ряд положительных аспектов и обладают следующими преимуществами: 1) универсальностью, так как на рабочей поверхности можно манипулировать различными типоразмерами изделий, в результате того, что конструкция рабочей поверхности не зависит от конкретной конфигурации и особенностей (ключей ориентации) предмета производства; 2) возможностью манипулирования специфическими изделиями на газовой смазке; 3) многофункциональностью, поскольку на каждом из устройств реализуется несколько операций; 4) способностью к переналадке при переходе от одних типоразмеров на другие за счёт изменения избыточного давления в пневмокамере и скорости движения рабочей поверхности, что может реализовываться в автоматическом режиме.

Результаты анализа и синтеза элементов технической пневмосистемы позволяют реализовать моделирование и кодирование в целом как системы вида «пневмокамера – рабочая поверхность устройства – тонкая газовая прослойка – изделие», так и взаимосвязь её компонентов, обеспечивающих автоматизированное проектирование и конструирование современных устройств с определенными функциональными возможностями и техническими характеристиками.

#### Список использованных источников

1. Авцинов, И.А. Загрузочно-ориентирующие устройства для мелких деталей [Текст] / И.А. Авцинов. // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2015. – № 4. – С. 8–9.

**Барашко О.Г., к.т.н., доцент, Кобринец В.П., к.т.н., доцент,  
Коровкина Н.П., к.п.н., доцент  
УО «Белорусский государственный технологический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
АГРЕГИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ В MES-СИСТЕМАХ**

В MES-системах (в отличие от SCADA) необходимость в частом обновлении информации о производстве отсутствует, т.е. часть ключевых показателей производства KPI (KeyPerformanceIndicators) может определяться с частотой раз в час или даже в смену. Однако предупреждения, извещающие о событиях, влекущих за собой значительные потери, должны приходить на АРМ максимально быстро.

В качестве одного из ключевых показателей эффективности используется ОЕЕ (OverallEquipmentEffectiveness) – общая эффективность оборудования:

$$OEE = A * P * Q \quad (1)$$

- A (Availability) – доступность;
- P (Performance) – производительность;
- Q (Quality) – качество.

Расчет доступности A, производительности P и качества Q отталкивается от учета двух временных факторов:

- планируемого производственного времени PPT (PlannedProductionTime):

$$PPT = POT - PSD \quad (2)$$

где: POT (PlantOperatingTime) – общее время работы предприятия; PSD (PlannedShutDown) – время плановых остановок, т. е. время, которое необходимо исключить из анализа эффективности, поскольку производство в этот момент невозможно.

– времени потерь (анализируются с целью их уменьшения или устранения): потери на остановки DTL (DownTimeLoss), потери в скорости SL (SpeedLoss) и потери в качестве QL (QualityLoss.).

1) Критерий доступности A определяется:

$$A = OT / PPT \quad (3)$$

Он анализирует потери на остановки DTL, включающие в себя любые внеплановые остановки, такие как поломки и отказы оборудования, остановки из-за дефицита сырья, отсутствия места для

складирования и т.п. Время переходов также является одной из форм простоя, но в большинстве случаев оно может быть сокращено. Рабочее время, оставшееся после учёта остановок, называется операционным временем OT (OperatingTime):

$$OT = PPT - DTL \quad (4)$$

2) Критерий производительности P определяется:

$$P = ICT / (OT/TP) \text{ или } P = (TP/OT) / IRR \quad (5)$$

где ICT (IdealCycleTime) – идеальное время цикла, т. е. теоретическое минимальное время, необходимое для выпуска единицы продукции; IRR (IdealRunRate) – идеальная норма производства, т. е. теоретически максимальное количество продукции, производимое в единицу времени и обратная ICT; TP (TotalPieces) – выпуск продукции, т.е. фактическое количество единиц продукции, выпущенное за операционное время OT.

Критерий производительности учитывает потери в скорости SL, которые включают в себя все факторы, вызывающие снижение рабочей скорости оборудования по сравнению с максимально возможной. Например, износ машин, использование некачественных материалов, неправильная подача материала, неэффективные действия оператора. Рабочее время, оставшееся после учёта потерь в скорости, называется чистым операционным временем NOT (NetOperatingTime).

$$NOT = OT - SL = PPT - DTL - SL \quad (6)$$

3) Критерий качества Q определяется:

$$Q = GP / TP \quad (7)$$

где GP (GoodPieces) – выпуск годной продукции, т. е. фактическое количество единиц годной продукции, выпущенное за операционное время OT.

Критерий качества учитывает потери в качестве QL, т.е. производство не соответствующей стандартам продукции. Рабочее время, оставшееся после учёта потерь в качестве, называется чистым производительным временем FPT (FullyProductiveTime).

$$FPT = NOT - QL = OT - SL - QL = PPT - DTL - SL - QL \quad (8)$$

При расчете ОЕЕ за основу примем промышленное предприятие полного цикла (две смены по десять часов). За 10 рабочих дней фиксировалось время простоев оборудования по любым причинам (таблица 1).

Таблица 1 – Простой и брак при выпуске продукции

|               |     |     |     |     |     |       |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| День          | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |       |
| Простой (мин) | 98  | 311 | 252 | 131 | 226 |       |
| Брак(т)       | 0   | 2   | 3,3 | 1,5 | 1,3 |       |
| Партия(т)     | 795 | 683 | 799 | 922 | 556 |       |
| Выработка(т)  | 795 | 681 | 795 | 920 | 554 |       |
| День          | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | Всего |
| Простой (мин) | 61  | 149 | 315 | 246 | 212 | 2001  |
| Брак(т)       | 0   | 1   | 3,8 | 2   | 5   | 19,9  |
| Партия(т)     | 737 | 911 | 645 | 646 | 662 | 7356  |
| Выработка(т)  | 737 | 910 | 641 | 644 | 657 | 7334  |

В нашем примере РОТ будет равно рассматриваемому периоду умноженному на рабочее время обоих смен, то есть:  $10 \cdot 10 \cdot 2 = 200$  часов. Если учитывать плановые остановки в 1 час каждый день, то PSD будет равно:  $1 \cdot 10 = 10$  часов. Тогда  $PPT = 200 - 10 = 190$  часов. Именно такое время предприятие предполагает потратить на производство продукции. Для нашего случая  $DTL = 2001$  мин. или 33.35 часа. Следовательно,  $OT = 190 - 33,35 = 156,65$ . Отсюда критерий доступности равен:  $A = 156.65 / 190 = 0,8245$  или 82.45%. Критерий производительности будет равен:  $P = (7356 \cdot 1) / (156,65 \cdot 60) = 0.782$  или 72,8% для времени цикла 1 т/мин. Соответственно, критерий качества равен:  $Q = 7334 / 7356 = 0.997$  или 99,7%. Таким образом общая эффективность будет равна:  $OEE = 0.8245 \cdot 0.782 \cdot 0.997 = 0.643$  или 64,3%.

По мировому стандарту WorldClassManufacturing, рассчитываемые критерии должны быть:  $A \geq 90\%$ ,  $P \geq 95\%$ ,  $Q \geq 99\%$  и  $OEE \geq 85\%$ . По показателю Q уровень высокий (99,7%), но остальные показатели хуже, т.е. высокий уровень качества не гарантирует высокий уровень эффективности работы предприятия. Для повышения эффективности производства следует эффективно внедрять системы быстрой переналадки и автоматизированной системы сбора данных.

**Вотинцев М.В., аспирант 1 курса факультета энергетики  
и электрификации,  
Ниязов А.М., научный руководитель, доцент, зав. кафедры  
ФГБОУ ВО УдГАУ**

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЖИВОТНЫХ**

**Актуальность.** Исторически алгоритмы машинного зрения внедрялись в небольшом количестве в производство, так как это было очень затратно. Однако стоимость, производительность и потребление энергии в электронных системах, которые были достигнуты сегодня, проложили путь для широкого распространения машинного зрения в различных отраслях. Конечно, их реализация все еще сложна, но это уже стало намного проще и дешевле, чем когда-либо.

**Материалы и методика.** При решении поставленных задач были использованы: общая теория систем, теория графов, теория исследования операций, теория множеств, теория массового обслуживания, теория вероятностей и математическая статистика, численные и экспериментальные методы, современные средства вычислительной техники и периферийные устройства. Использовались методы теории компьютерного зрения, математической обработки изображений, параллельной обработки данных, численные методы. При разработке программного обеспечения были использованы языки программирования высокого уровня: Borland Delphi, Microsoft Visual C++, пакеты *MATLAB*, *MATHCAD*, Adobe PhotoShop CS5, SCADA system.

### **Результаты исследований.**

Экономические аспекты производства молока зависят от уровня технологического развития животноводства (внутренние факторы) и уровня инвестиций в производство (внешние факторы). Организация эффективного менеджмента стада, использование автоматизированных компьютерных технологий и сопутствующих программ управления, снижение степени влияния человеческого фактора способствуют полноценной реализации генетического потенциала животных, снижению затрат труда на производство продукции и увеличению рентабельности молочного животноводства [1].

Яловость, несвоевременное осеменение, отсутствие контроля за физиологическим состоянием животных и выявление ранних признаков заболеваний приводят к снижению надоев, ранней выбраковке и экономическим потерям [3].

По данным Министерства сельского хозяйства в настоящее время Россия занимает 7-е место в мире по производству молока, годовой удой составляет 32 215,6 тыс.т. Основными проблемами 260 молочного скотоводства России являются снижение численности поголовья дойного стада (на 2 % ежегодно), продолжительности его продуктивного использования (не более 3,4 отела), большое распространение яловости (32,6 %), низкий уровень рентабельности (50–70 %). На перечисленные проблемы влияет нарушение оптимальных сроков проведения технологических операций по содержанию и эксплуатации животных.

Поведение коров является индикатором здоровья и благополучия. Изменения языка поведения свидетельствует о внутренних изменениях состояния животного. С целью контроля критических изменений двигательной активности значительно увеличилось использование устройств дистанционного мониторинга, таких как GPS трекеры, датчики местоположения, акселерометры, шагомеры, датчики контроля пищеварения. Данные устройства могут представлять собой как автономные системы, так и встроенные модули программы управления стадом [6].

Одним из современных цифровых продуктов является система NeaTime HR – автономная система, представляющая комплексное решение по мониторингу в области воспроизводства и контроля здоровья в режиме реального времени (рисунок 1).

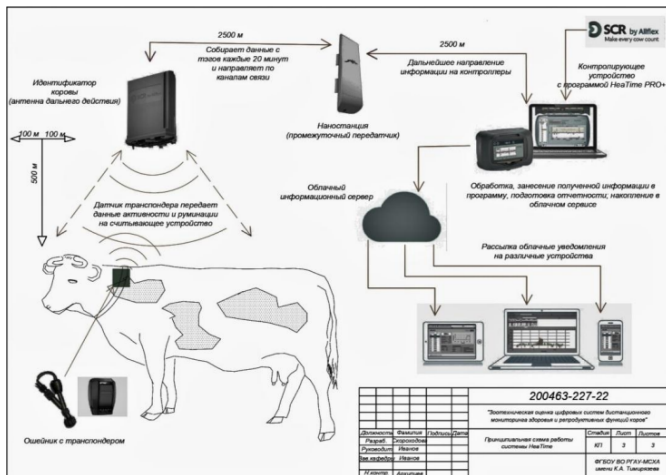


Рисунок 1 – Схема работы системы NeaTime

Система собирает данные по двигательной активности животных, частоте жевательных движений, состоянию здоровья физиологической группы животных и всего стада на основе интегрированного в программу калькулятора расчета индекса здоровья. 261 Индекс здоровья = активность (балл)+надои (л/сут)+жвачка (мин.)+результаты отелов (балл)+сервис период (дн.), в баллах

Результаты сравнительной оценки показали, что в отличие от аналогового оборудования датчики HeaTime учитывают не только количество движений, а фиксируют тип, интенсивность, длительность движений головы животного. При этом, частота жвачки контролируется высокочувствительными датчиками шумов рубца и движения мускулатуры шеи. Датчики применяются на животных любого возраста, калибруются 10 дней и подстраиваются под индивидуальные особенности поведения.

**Вывод.** Систему мониторинга здоровья и репродуктивных функций коров актуально применять на фермах преимущественно с беспривязным типом содержания, в особенности при использовании дорогостоящего сексированного семени; на комплексах, размером дойного стада от 500 голов при наличии зоотехнических данных по воспроизводству. Данная система позволит повысить эффективность менеджмента технологических процессов на ферме с возможностью получать информацию о всем поголовье в режиме реального времени, улучшить зоотехнические показатели воспроизводства стада, снизить нагрузку на персонал, улучшить экономические показатели и рентабельность отрасли в целом. Можно использовать вместо датчиков камеры с распознаванием образов КРС и их болезней.

#### Список использованных источников

1. Арефьев В.Н. Индикаторы оценки уровня технологического развития животноводства / В.Н. Арефьев // International scientific review. – 2020. – С. 49–51.
2. Жидков В., Липницкий Т. Инновационные процессы смены технологического уклада в скотоводстве / В. Жидков, Т. Липницкий, М.: LAP Lambert Academic Publishing, – 2019. – 236 с.
3. Иванов Ю.Г., Понизовкин Д.А., Акимов А.П. Совершенствование технологических процессов и технических средств на основе индивидуального контроля параметров животных на фермах /

Ю.Г. Иванов, Д.А. Понизовкин, А.П. Акимов // Агроинженерия. – 2018. – №5. – С. 25–30.

4. Phuhg Cong Phi Khanh, Duc–Tan Tran. The new design of cow's behavior classifier based on acceleration data and proposed feature set, Mathematical Biosciences and Engineering, 17 (2020), p. 21.

**Гируцкий И.И.<sup>1</sup>, д.т.н., доцент, Сеньков А.Г.<sup>2</sup>, к.т.н., доцент,  
Слимаков Д.Д.<sup>1</sup>, магистрант,**

**Ербаев Е.Т.<sup>3</sup>, доктор PhD, и.о. доцента**

**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**<sup>2</sup>ГП «Центр радиотехники Национальной академии наук  
Беларуси», Минск, Республика Беларусь**

**<sup>3</sup>НАО «Западно-Казахтанский аграрно-технический  
университет имени Жангир хана, Уральск, Республика  
Казахстан**

## **МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РОБОТИЗАЦИИ ДОЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРОВ**

Беспривязное содержание коров и компьютеризированные системы управления стали основой развития молочного скотоводства Республики Беларусь. Притом особую важность приобретает вопрос выбора доильного оборудования, основанного на максимально объективном анализе, без рекламных предложений фирм-производителей. В настоящее время высокими темпами внедряются доильные роботы (automatic milking system, AMS) не только в странах с высокоразвитым молочным скотоводством (Нидерланды, Германия и др.), но и в России и Беларуси. Использование роботов для доения коров способствует возникновению практически новой технологии, основная суть которой заключается в самообслуживании животного [1].

Среди разных последствий роботизации доения существенный интерес представляет его влияние на продуктивность коров [2]. Но проведение реальных экспериментов в условиях действующего производства требуют значительных затрат труда и времени и требуют адекватности подбора и содержания сравниваемых групп коров.



Нами разработана компьютерная модель оценки влияния роботизации доения, с точки зрения увеличения числа доений, на продуктивность конкретной коровы.

В Республике Беларусь функционируют большое число молочно-товарных комплексов с компьютеризированными системами управления. В системах управления стадом накапливаются значительные объемы данных по разовым надоям с различными промежутками времени между доениями, обусловленными принятыми условиями содержания дойного стада (рис.1). Таким образом, возникает возможность путем обработки больших массивов данных (для 1 коровы, при 305 днях лактации и трехразовом доении – 915 измерений; стадо – 200, 400 или 600 коров) в рамках пассивного эксперимента построить динамическую модель накопления молока в вымени коровы. Динамическую модель накопления молока в вымени коровы можно представить в виде аperiодического звена 2-го порядка [3]

Задача определения оптимальных интервалов времени между доениями, использующая в качестве критерия максимум суточного удоя, при трехразовом доении коровы в сутки имеет следующую математическую формулировку:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^3 \tau_i = 24, \\ z = y_{\max} \cdot \sum_{i=1}^3 \left( 1 - e^{-\frac{\tau_i}{T_1}} \right) \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\tau_i}{T_2}} \right) \longrightarrow \max \end{array} \right. \quad (1)$$

Выразив из первого уравнения системы (1) интервал  $\tau_3$ :

$$\tau_3 = 24 - \tau_1 - \tau_2$$

и подставив его в целевую функцию системы (1), получим в итоге задачу поиска минимума непрерывной функции двух переменных:

Численное решение данной задачи приводит к выводу о необходимости доения через равные интервалы времени для повышения суточного удоя.

При использовании математической модели (1) суточный удой коровы при некотором целом числе  $n$  доений через равные интервалы времени выражается формулой:

$$y_c = y_{\max} \cdot n \cdot \left( 1 - e^{-\frac{24}{n \cdot T_1}} \right) \cdot \left( 1 - e^{-\frac{24}{n \cdot T_2}} \right). \quad (2)$$

Исследуя данную зависимость от числа  $n$  в интервале от 2 до 6 (рисунок 2) с учетом численных значений параметров  $T_1$ ,  $T_2$ , получим, что пик продуктивности соответствует трехразовому доению.

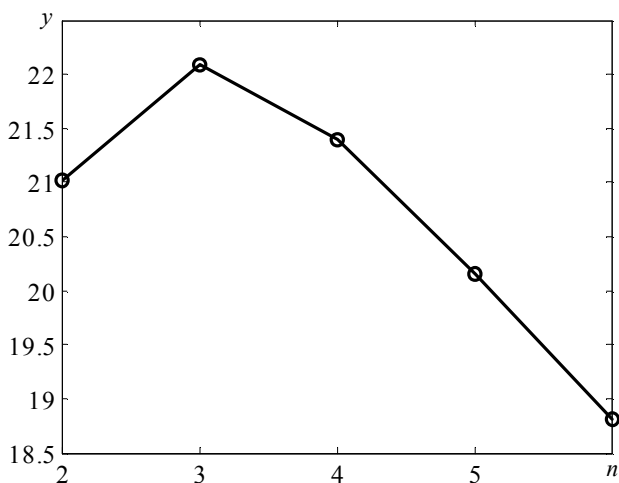


Рисунок 1 – Влияние числа доений на суточный удой коровы

Таким образом, роботизация доения, обеспечивающая свободный доступ коров к доильному оборудованию что, как правило, приводит к увеличению числа доений может положительно сказаться и на продуктивности животных.

#### Список использованных источников

1. Казакевич, П.П. Технологическая концепция «умной» молочной фермы: монография / П.П. Казакевич, В.Н. Тимошенко, А.А. Музыка; – Жодино, 2021. – 245 с.

2. Ходырева, И.А. Влияние роботизированного доения на продуктивность коров и качество молока / И.А. Ходырева, Н.М. Гулида // Животноводство и ветеринарная медицина : науч.-практ. журн. – 2021. – №2(41). – С. 17–21.

3. Сеньков, А.Г. Математическая модель накопления молока в вымени коровы / А.Г. Сеньков, И.И. Гируцкий, А.Б. Грищенко // Системный анализ и прикладная информатика : науч.-техн.журн. – 2019. – №1. – С. 9–14.

**Диденко А.А., к.т.н., Христенко А.Г., к.т.н., доцент,  
Пшенов Е.А., к.т.н., доцент  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Новосибирский  
государственный аграрный университет», г. Новосибирск  
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
РАЗДАЧИ ЖИДКИХ КОРМОВ ТЕЛЯТАМ  
МОЛОЧНОГО ПЕРИОДА**

Процесс кормления молодняка животных оказывает влияние на привесы, но самое важное это формирование здоровья и молочной продуктивности в дальнейшем.

Наиболее физиологически адаптированным способом выпаивания телят молочного периода является ведро с соской. Поскольку сосание стимулирует выработку большого объема слюны, тем самым усиливает рефлекс смыкания самого пищеводного желоба, что обеспечивает попадание молока непосредственно в сычуг теленка. Помимо выработки слюны, сосание также способствует выработке фермента, улучшающего усвоение и переваривание молока [1].

Исследованиями установлено, что при поении телят из ведер с сосками, их среднесуточные привесы выше, чем при поении из ведер более чем на 100 г. Установлено снижение активности сосательного рефлекса после поения телят из ведер с сосками, а также снижение диспепсии и увеличение интенсивности поедания сухого корма [1].

Несмотря на значительное преимущество выпаивание телят молочного периода из ведер с сосками есть существенный недостаток – увеличение времени технологического процесса. Этот недостаток значительно уменьшает производительность труда телятниц. Поэтому необходимо автоматизировать процесс раздачи жидких кормов телятам, что позволит увеличить производительность труда телятниц.

Общий вид лабораторной установки представлен на рисунок 1.

В задачи автоматизации входит: регулирование температурного режима подогрева корма (молоко, заменитель цельного молока), дозированная раздача, автоматическая промывка.



Рисунок 1 – Общий вид установки

1 – рама; 2 – емкость для подогрева жидких продуктов;  
3 – ведро с соской; 4 – пульт управления

Процесс автоматизации сконфигурирован на базе микроконтроллера Arduino nano. Средой для разработки является программы FLProg и Arduino IDE.

На рисунке 2 представлена логическая схема управления в программе FLProg виде FBD блоков [2].

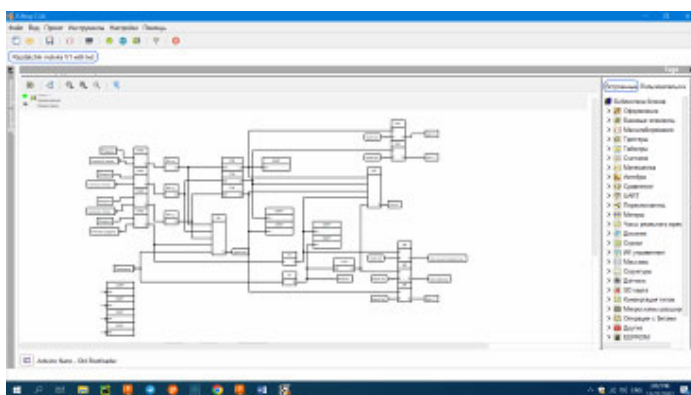


Рисунок 2 – Логическая схема в окне программы FLProg

Общий вид пульта управления представлен на рисунке на рисунке 3.



Рисунок 3 – Пульт управления

Дозирование молока в проекте осуществляется таймером задержки на отключения насоса. Настройка дозы осуществлялась методом корректировки времени. Точность дозирование составляет  $\pm 0,05$  литра.

#### Список использованных источников

1. Христенко А.Г. Обоснование применения физиологически адаптированного оборудования для кормления телят молочного периода [Текст] / Христенко А.Г., Александров И.Ю., Диденко А.А., Пшенов Е.А., Кокшарова М.В., Бекова Ю.А. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (208). С. 110–117.

2. Информационный ресурс с описанием и средой разработки FLProg [Электронный ресурс] <https://flprog.ru/>

**Дранников А.В., д.т.н., профессор,  
Егорова Г.Н., к.т.н., доцент, Дерканосова А.А., д.т.н., доцент,  
Бубнов А.Р., аспирант**

**ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет  
инженерных технологий», г. Воронеж.  
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА  
АМИДОМИНЕРАЛЬНОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО  
СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА**

Амидоминеральный гранулированный свекловичный жом является продуктом, который может использоваться в виде комбикорма

для кормления КРС, так и как комбикормовая добавка в производстве комбикормов.

С целью получения амидоминерального гранулированного жома высокого качества за счёт оперативного управления технологическими параметрами, снижения себестоимость готового продукта, а также увеличения выхода готового продукта и снижения удельных теплоэнергетических затрат за счёт точности и надёжности управления процессом приготовления амидоминерального гранулированного свекловичного жома предлагается схема, реализующая предлагаемый способ управления линией производства (рисунок 1).

Схема содержит подогреватель 1; смеситель 2 с форсунками 3; низкотемпературную 4 и высокотемпературную 5 сушилки; гранулятор 6; охладитель 7, а также теплообменник-утилизатор 8; мешалку-растворитель 9, снабженную греющей рубашкой; парозжекторную холодильную машину, включающую парогенератор (котел) 10, турбину противодавления 11, эжектор 12, холодоприемник 13, испаритель 14, конденсатор-пароперегреватель 15, терморегулирующий вентиль 16; делители потоков 17, 18; насос для мелассы 19; насос для растворенной смеси 20; насосы 21, 22; вентиляторы 23, 24, микропроцессор 25; линии 0.2 – подача отжатого свекловичного жома в смеситель, датчики FE-расход, WE-влажность, TE – температура, И – исполнительные механизмы.

По текущему значению расхода и влажности жома в смеситель 2 устанавливают необходимый расход и температуру подогретой мелассы.

По текущим значениям расходов подогретой мелассы и свекловичного жома устанавливают производительность смесителя 2. По влажности, температуре и расхода смеси отжатого жома и мелассы на выходе из смесителя устанавливают необходимый расход подогретого воздуха в низкотемпературную сушилку 4. По влажности и расхода подсушенной смеси жома и мелассы на выходе из низкотемпературной сушилки 4 устанавливают необходимый расход перегретого пара в высокотемпературную сушилку 5. После сушки по расходу мелассированного жома, поступающего в пресс-гранулятор 6, устанавливают расход мелассы, карбамида и солей микроэлементов в мешалку 9.



гранулятор 6, где по текущим значениям расхода мелассированного жома и полученной смеси мелассы, карбамида и солей микроэлементов устанавливают необходимую производительность пресс-гранулятора 6.

Предлагаемый способ позволяет: получить готовый продукт высокого качества за счёт оперативного управления технологическими параметрами; установить рациональные режимы работы оборудования в зависимости от подаваемых на него нагрузок и, следовательно, снизить себестоимость готового продукта; увеличить выход готового продукта и снизить удельные теплоэнергетические затраты за счёт точности и надёжности управления процессом приготовления амидоминерального гранулированного свекловичного жома.

#### Список использованной литературы

1. Научно-практические основы комплексной переработки свекловичного жома: монография / А.В. Дранников, А.А. Шевцов, А.Р. Бубнов, А.М. Бородавицын – Воронеж : ВГУИТ, 2022. – 176 с.
2. Патент № 2758507 Российская Федерация, МПК А23К 10/33(2016.01), C05F 5/00(2006.01). Способ управления линией получения амидоминерального гранулированного свекловичного жома : № 2021109461 : заявл. 2021.04.06: опубл. 2021.10.29/ Дранников А.В., Шевцов А.А., Василенко В.Н., Бубнов А.Р., Ситников Н.Ю. – 9 с. : ил. – Текст : непосредственный.

**Ермаков А.Н., магистрант**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**МОДЕЛЬ ТЕПЛИЦЫ С УЧЕТОМ РЯДА**  
**КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

В основу всех методов теплотехнического расчета теплицы положен анализ теплового баланса, т. е. алгебраической суммы всех тепловых потоков в сооружении.

$$Q_T = Q_{пр.с.р} + Q_{от} + Q_{огр} + Q_{инф} + Q_{вент} + Q_{п} + Q_{раст} \quad (1)$$



Тепловые потоки, способствующие нагреванию теплицы, принято считать положительными, а тепловые потоки, вызывающие понижение температуры, – отрицательными. Одни тепловые потоки могут быть только положительными или только отрицательными, другие в зависимости от температуры меняют направление - их называют знакопеременными.

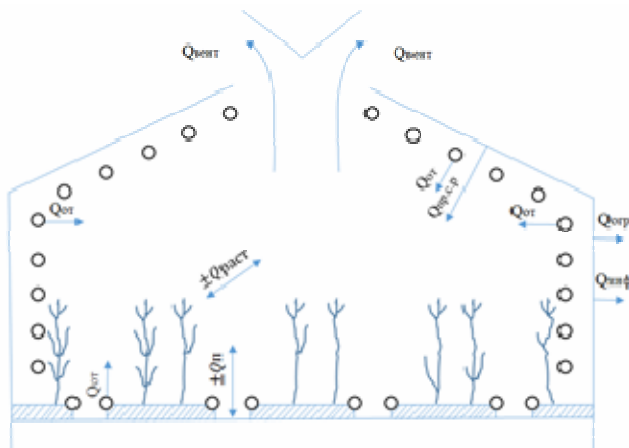


Рисунок 1 – Модель зимней теплицы

Как правило, тепловой баланс теплицы рассчитывается для определенного периода времени. Например, при определении мощности (теплопроизводительности) системы отопления пользуются составляющими теплового баланса за секунду или за час, расчет потребляемой тепловой энергии ведется за сутки, месяц или год.

В зависимости от целей и требуемой точности расчетов в каждом конкретном случае в тепловой баланс включают все или несколько составляющих. Например, при расчете требуемой теплопроизводительности системы отопления исключают составляющую солнечной радиации, так как расчет ведут для самого холодного периода суток – ночи. При расчетах систем вентиляции не учитывают теплоотдачу системы отопления, поскольку режим вентиляции осуществляется в основном в летний период, при отключенном отоплении[1].

Современные серверы погоды предоставляют в распоряжение пользователей программный интерфейс (англ. application programming interface, API), с помощью которого подключенный к сети Интернет пользователь (микропроцессорное устройство управления САР) может сформировать программный запрос к серверу погоды и получить от него подробный прогноз (данные о температуре, влажности, скорости ветра, облачности, осадках) на ближайшие сутки. Использование помимо датчика наружной температуры и данные прогноза изменения параметров климата на определенный предстоящий интервал времени  $\tau^*$  для заблаговременной выработки соответствующего компенсирующего управляющего воздействия на ОУ. На рисунке 2, *b* показан график соответствующего изменения во времени управляющего сигнала  $u(t)$  блока регуляторов. В рассматриваемой комбинированной схеме изменение управляющего сигнала  $u_{(1)}$  (кривая 1) вследствие учета данных метеопрогноза начинается заблаговременно, т. е. еще до момента времени  $t = 0$  наступления ступенчатого возмущения. В то же время при использовании пропорционально-интегрального регулирования только по отклонению реакция САР  $u_{(2)}$  (кривая 2) на внешнее возмущение начинается только после его наступления[2].

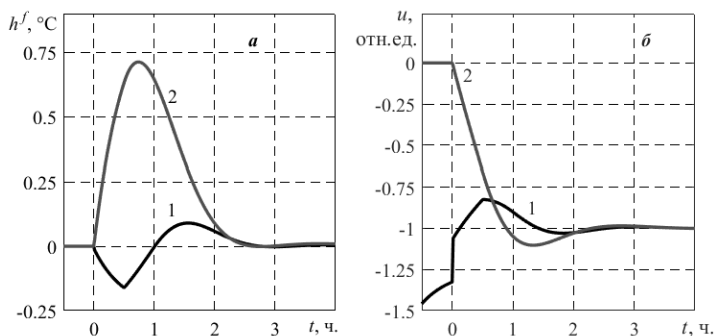


Рисунок 2 – Реакция САР на ступенчатое возмущающее воздействие – увеличение наружной температуры воздуха на  $1^\circ\text{C}$ : *a*) переходная функция САР по возмущающему воздействию; *b*) изменение управляющего сигнала регулятора; 1 – при наличии контура компенсации возмущения с учетом данных прогноза погоды; 2 – при регулировании по отклонению и отсутствию контура компенсации

Таким образом, помимо улучшения качества переходного процесса в системе за счет предусмотрительного снижения температуры теплоносителя при повышении наружной температуры достигается также экономия тепловой энергии пропорциональная величине

$$\Delta Q = \int_{-\tau^*}^{+\infty} (u_{(2)} - u_{(1)}) dt \quad (2)$$

Таким образом достигается и экономия энергозатрат благодаря эффективному управлению.

#### Список использованных источников

1. Тепловой баланс и формирование климата теплицы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://msd.com.ua/oborudovanie-teplic-dlya-podsobnyx-i-lichnyx-hozyajstv/teplovoj-balans-i-formirovanie-klimata-teplicy/> – Дата доступа: 25.11.2022.
2. Сеньков, А.Г. Автоматическое регулирование температуры воздуха в теплице с учетом данных прогноза погоды / А.Г. Сеньков // Информатика. – 2021. – Т. 18, № 3. – С. 56–64.

**Ермаков А.Н., магистрант, Слимаков Д.Д., магистрант  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
МОДЕЛЬ ДВУХПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С АДАПТАЦИЕЙ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПО ПРОГНОЗУ  
ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ**

Водоснабжение является широко распространенным технологическим процессом. При этом производительность насосной установки рассчитывается с учетом максимального водопотребления. В то же время реальное водопотребление может меняться в несколько раз в течение суток[1, 2].

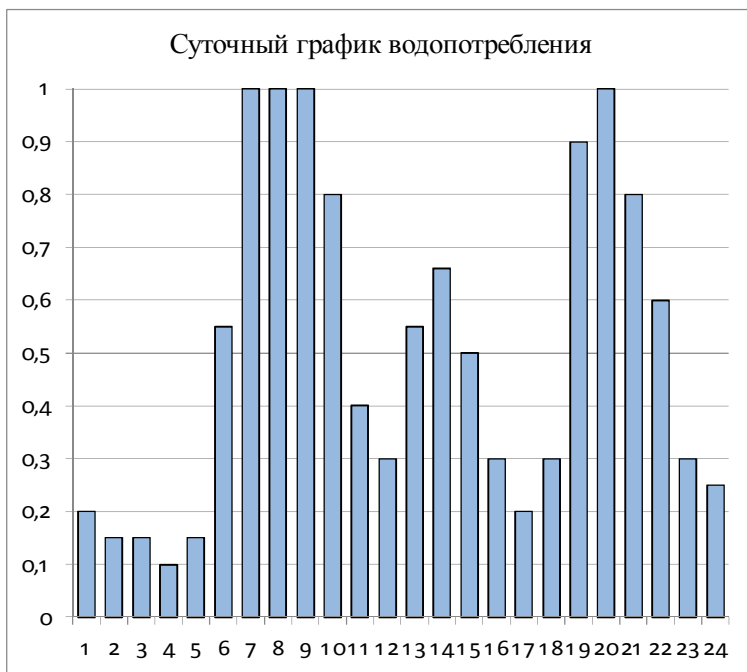


Рисунок 1 – Пример суточного водопотребления

Но в типовых схемах водоснабжения производительность насосной установки рассчитывается исходя из максимального водопотребления. Развитие возможностей математического моделирования и их реализации на базе современных средств компьютеризированного управления позволяет принципиально изменить подходу к выбору текущей производительности насосной установки при двухпозиционном регулировании. Экспериментальные исследования по возможности снижения энергозатрат путем корректировки производительности насоса были проведены на физической модели системы водоснабжения (рисунок 2).



Рисунок 2 – Общий вид лабораторной модели системы водоснабжения

С использованием физического моделирования и статистической обработкой результатов экспериментальных исследований получена следующая зависимость энергозатрат на перекачку определенного объема воды в зависимости от производительности [2].

$$E = 35q + 285,$$

где  $q$  – производительность насоса, л/мин;  $E$  – энергозатраты на перекачку 2,5 л воды, Дж.

С учетом прогноза водопотребления можно модернизировать двухпозиционный закон управления уровнем воды в водонапорной емкости (рисунок 3).

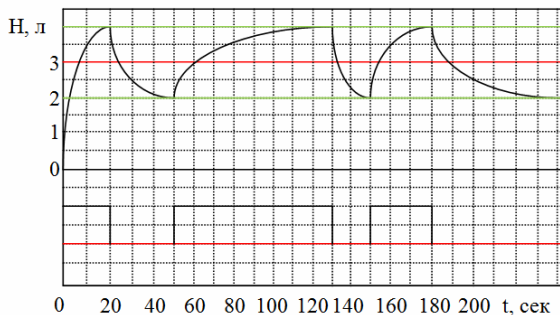


Рисунок 3 – Модель изменения производительности насоса от прогноза водопотребления

Изменение производительности насоса с учетом реального водопотребления позволяет экономить до 20...40 % энергозатрат на перекачку воды.

Список использованных источников

1. Водоснабжение // <https://ru.wikipedia.org/водоснабжение> (дата обращения: 10.10.2022).

2. Виды потребления воды// <https://prom-water.ru/articles/vidy-potrebleniya-vody> (дата обращения: 10.11.2022).

3. Гируцкий, И.И. Физическое моделирование различных вариантов водоснабжения с оценкой энергозатрат /И.И. Гируцкий, А.Н. Ермаков, Д.Д. Слимаков//статьи научно-технической конференции.

«Автоматизация: проблемы, идеи, решения» (АПИР-27), 9–11 ноября 2022 года, Тульский государственный университет, РФ.

**Жур А.А., ст. преподаватель,  
Павловский В.А., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ПОДГОТОВКА  
СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ»**

Автоматизация производства является одним из приоритетных направлений. Для эксплуатации, проектирования и разработки автоматических и автоматизированных систем управления технологическими процессами, будущим специалистам необходимо, изучить современные средства автоматизации.

Дисциплина «Эксплуатация систем автоматизации» формирует базу знаний для решения задач по разработке, наладке и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов.

Персонал, осуществляющий эксплуатацию систем автоматизации, должен обладать высокой квалификацией, уметь разрабатывать монтажные схемы, выбирать оборудование и производить наладку и эксплуатацию систем автоматизации.

Для выполнения практических и лабораторных занятий по дисциплинам «Эксплуатация систем автоматизации» и «Монтаж средств автоматики» разработан универсальный лабораторный стенд «Исследования электромагнитных расходомеров», который предназначен для монтажа и программно-аппаратной наладки электромагнитных расходомеров и средств автоматики.

Лабораторный стенд включает сборно-разборный металлический каркас, перфорированную панель для монтажа открытой электропроводки и установки электромагнитного расходомера с платой имитации выходного сигнала первичного преобразователя расходомера, а также для установки монтажной панели и дополнительного электроизмерительного оборудования и датчиков конечного положения.

Общий вид лабораторного стенда показан на рисунке 1.

Монтажная панель предназначена для установки на ней электрооборудования и устройств управления. На ней устанавливается блок питания, дин рейки для монтажа электрических компонентов, кабель каналы для прокладки монтажных проводов, клеммы для подключения внешнего оборудования (датчиков, исполнительных механизмов и т.д.).



Рисунок 1 – Лабораторный стенд «Исследование электромагнитных расходомеров»

Блок питания предназначен для обеспечения контроллера, дополнительных модулей контроллера, промежуточных реле и других средств автоматизации постоянным напряжением на 24 В. Программируемый логический контроллер AL2-14MR-D устанавливается

на Din рейке. Имеет 8 дискретных или аналоговых входов, 6 релейных выходов, дисплей и разъем для подключения интерфейса RS232, для программирования контроллера.

Контроллер подключен к персональному компьютеру с программным обеспечением для программирования контроллера.

Плата имитации сигнала первичного преобразователя расхода позволяет устанавливать средний объем или массовый расход жидкости. Сигнал с платы поступает на вход измерительно-вычислительного блока. Использование расходомер-счетчика электромагнитного РСМ-05 с платой имитации расхода позволяет производить настройку и подготовку расходомера к эксплуатации.

Набор перечисленного оборудования используется при проведении лабораторно-практических работ по монтажу, программно-аппаратной наладке и эксплуатации систем автоматизации.

Основной задачей наладки средств и систем автоматизации является доводка их к требованиям, изложенным в технической документации. При выполнении автономной наладки средств автоматики производится: проверка правильности монтажа и работы каждого компонента. Настраивается взаимосвязь между такими компонентами системы, как сигнализация, блокировка, защита и управление. Осуществляется подготовка к тестированию и тестирование в индивидуальном режиме, по результатам которого корректируются параметры настройки составляющих. Производится автономная наладка электромагнитного расходомера с использованием имитации входного сигнала.

Разработанный лабораторный стенд может использоваться для проведения лабораторных работ по дисциплинам «Эксплуатация систем автоматизации» и «Монтаж средств автоматики», а также проведения аппаратно-программной наладки систем автоматизации с использованием оборудования стенда.

#### Список использованных источников

1. Грунтович, Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования / Н.В. Грунтович, – Минск: Новое знание; М., ИНФА-М, 2013. – 271 с.
2. Жур, А.А. Монтаж средств автоматики. : Лабораторный практикум / А.А. Жур, – Минск: БГАТУ.2017. – 152 с.
3. Жур, А.А. Эксплуатация систем автоматизации. : Лабораторный практикум / А.А. Жур, В.А. Павловский – Минск: БГАТУ. – 2021. – 128 с.



**Иванов Д.М., ст. преподаватель,  
Епифанов В.И., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ  
ТЕРМИНАЛОВ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СЕТЕЙ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

В Республике Беларусь остро стоит вопрос о реконструкции и модернизации сетей электроснабжения. Вследствие того, что большое количество оборудования имеет моральный и физический износ система электроснабжения перестает удовлетворять требованиям, которые к ней предъявляются. При всех сложностях экономического плана целенаправленно ведутся работы по:

- продлению срока службы и поддержанию в работоспособном состоянии действующего оборудования, замене ненадежного и вышедшего из строя;
- замене оборудования, отработавшего свой ресурс, на оборудование с улучшенными характеристиками, малыми затратами на эксплуатацию, увеличенной надежностью;
- применению силовых трансформаторов со сниженными потерями холостого хода.

Решение ряда технических задач удаётся реализовать через модернизацию основных фондов при проведении реконструкции на подстанциях (ПС) и электрических сетях. Количество ПС 35/6 (10) кВ в распределительных электрических сетях много и от их работоспособности зависит надёжность электроснабжения потребителей. Следует отметить, что для таких объектов, как ПС 35/6 (10) кВ, применяется своя архитектура, которая отличается от архитектур, разработанных для объектов магистральных сетей. Учитывая большое количество такого типа ПС для массового применения необходимы простые и недорогие технические решения с приемлемым использованием новых технологий. На практике должны предлагаться такие технические решения, которые смогут повысить надёжность, улучшить эксплуатационные характеристики, снизить капитальные и операционные затраты [1].

Анализ мирового опыта модернизации энергетических систем позволил сделать вывод, что наиболее оптимальным техническим

решением обозначенной проблемы является применение микропроцессорных терминалов. Микропроцессорные терминалы - это современные цифровые устройства защиты, управления и противоаварийной автоматики, они представляют собой комбинированные многофункциональные устройства, объединяющие различные функции защиты, измерения, контроля, местного и дистанционного управления. Их современная аналого-цифровая и микропроцессорная элементная база обеспечивает высокую точность измерений и постоянство характеристик, что существенно повышает чувствительность и быстродействие защит, а так же уменьшает ступени селективности. Структура микропроцессорного терминала представлена на рисунке 1.

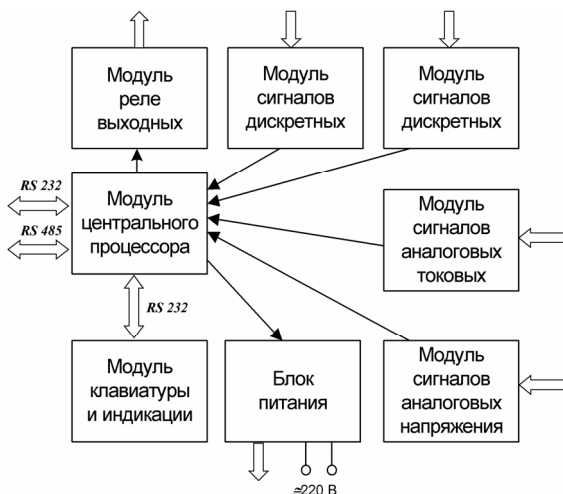


Рисунок 1 – Структура микропроцессорного терминала

Следует отметить, что в микропроцессорных терминалах защита от повышения тока может иметь 4 ступени с независимой или зависимой времятоковой характеристикой.

При выборе защиты с зависимой от тока выдержкой времени время срабатывания  $t_{CP}$ , мс, определяют по формуле:

$$t_{CP} = \frac{k}{\frac{I_{BX}}{I_{CP}} - 0,6} \cdot 10,$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий вид зависимой характеристики (обычно лежит в пределах от 0 до 4000);

$I_{BX}$  – входной фазный ток устройства;

$I_{CP}$  – величина тока уставки зависимой от тока ступени максимальной токовой защиты (МТЗ).

На рисунке 2 представлена времятоковая характеристика с различными значениями коэффициента  $k$ .

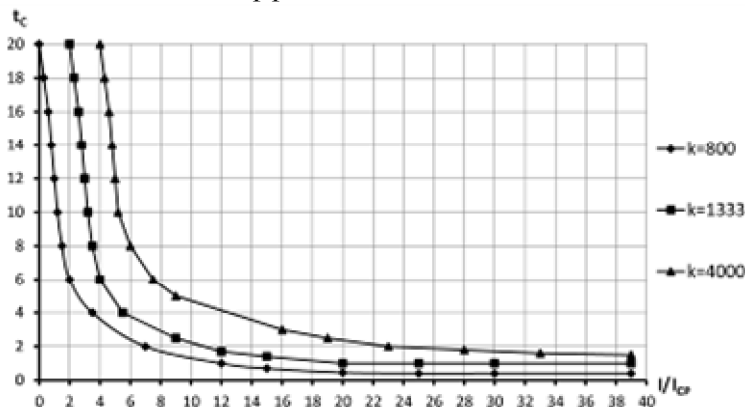


Рисунок 2 – Зависимая времятоковая характеристика

Следует учитывать, если защита устанавливается на последовательных участках линии электропередачи, то выбор времятоковой характеристики осуществляется по принципу селективной работы защит смежных участков с учётом направления.

Таким образом, рассматривая вопрос применения современных технических решений на основе микропроцессорных комбинированных устройств, можно сделать вывод, что данные устройства позволяют значительно повысить надежность электроснабжения потребителей за счёт высокой точности измерений, чувствительности и быстродействия защиты.

#### Список использованных источников

1. Иванов, Д. М. Повышение надежности электроснабжения потребителей посредством применения современных технических решений на основе микропроцессорных терминалов с делительной автоматикой на стороне 10 кВ / Д.М. Иванов // Эпоха науки. – 2022. – № 29. – С. 40–45. – EDN OJLNQW.

**Кобринец В.П., к.т.н., доцент, Барашко О.Г., к.т.н., доцент,  
Коровкина Н.П., к.п.н., доцент**

**УО «Белорусский государственный технологический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ПРОЦЕССА СУШКИ В БАРАБАННЫХ СУШИЛКАХ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ**

На основании анализа процесса сушки как объекта управления можно определить воздействия, оказывающие влияние на данный объект:

– возмущающие воздействия: входное влагосодержание подаваемого материала; расход материала; входное влагосодержание воздуха;

– регулирующие воздействия: расход теплоносителя; расход первичного воздуха; расход вторичного воздуха;

– регулируемая величина: выходное влагосодержание материала.

Процессы тепло- и массообмена (влагообмена) в барабанной сушилке при сушке концентрата хлористого калия зависят от ее конструктивных характеристик (размеров, числа и профиля лопаток и т. д.), а также от технологических параметров (числа оборотов барабана, угла наклона аппарата, расхода, температуры и влагосодержания воздуха и материала на входе в сушилку). При определении динамических свойств данного аппарата считаем его конструктивные характеристики неизменными. Таким образом, в качестве возмущающих воздействий принимаем изменения расхода, температуры и влагосодержания материала и воздуха на входе в сушилку.

При составлении математической модели барабанной сушилки сделаем следующие допущения:

1. Теплоемкости материала, влаги (воды) и барабана и коэффициенты теплоотдачи от воздуха к материалу и барабану постоянны по длине и в поперечном сечении сушилки, а также во времени;

2. Температура и влагосодержание материала распределены по всей длине аппарата и сосредоточены в его поперечном сечении (одномерная задача), так как при вращении барабана материал хорошо смешивается;

3. Поперечное сечение слоя материала, находящегося на лопатках барабана, значительно меньше его длины, а скорость воздуха

намного больше скорости перемещения материала вдоль сушилки. Температура и влажосодержание воздуха одинаковы по длине и в поперечном сечении слоя материала и равны температуре и влажосодержанию на выходе;

4. Передачей тепла материалу при соприкосновении его с лопастями барабана пренебрегаем;

5. Температура барабана в статике равна температуре воздуха на выходе из сушилки;

6. Передачей тепла от воздуха к материалу путем лучеиспускания пренебрегаем;

7. Движение материала по сечению аппарата происходит равномерно, без турбулентного смещения.

При составлении уравнений сохранения энергии для воздуха и материала учитываем лишь тепло, затраченное на нагрев «сухого» материала, поскольку тепло, переданное воздухом материалу и затраченное на испарение влаги из него, возвращается обратно в воздух вместе с испаренной влагой.

Для разработки математической модели процесса сушки с учетом распределенности параметров, а также с учетом приведенных выше допущений были составлены следующие дифференциальные уравнения: сохранения энергии для воздуха, сохранения массы для влаги в воздухе, сохранения энергии для материала, сохранения массы для сухого материала, сохранения массы для влаги в материале, сохранения энергии для сушильного барабана.

На основании данных уравнений получена система нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Проведена линеаризация данной системы уравнений и получена математическая модель процесса сушки по основным динамическим каналам.

**Кондрукевич В.Ю., Жур А.А., ст. преподаватель  
Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Минск, Республика Беларусь  
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЖИДКОГО  
КОРМЛЕНИЯ СВИНЕЙ**

Система жидкого кормления является передовой технологией в области свиноводства. Жидкое кормление имеет ряд преимуществ по сравнению с системой сухого кормления.

Без систем жидкого кормления в современных свиноводческих хозяйствах обойтись невозможно по причине чрезвычайной гибкости применения и действенности. Дальнейшие целенаправленные разработки в направлении точности дозирования и гигиены придают еще большую значимость жидкому кормлению.

Преимущества «жидкого» кормления свиней:

- возможность использования отходов и вторичных продуктов пищевой (молочной, пивоваренной, сахарной, спиртовой, мукомольной, мясоперерабатывающей, масляной, хлебобулочной) и микробиологической промышленности. Это важнейшее преимущество, позволяет уменьшить затраты зерновых кормов и снизить себестоимость продукции.

- жидкий корм больше соответствует физиологическим потребностям свиней и дает возможность обеспечить постепенную замену рационов;

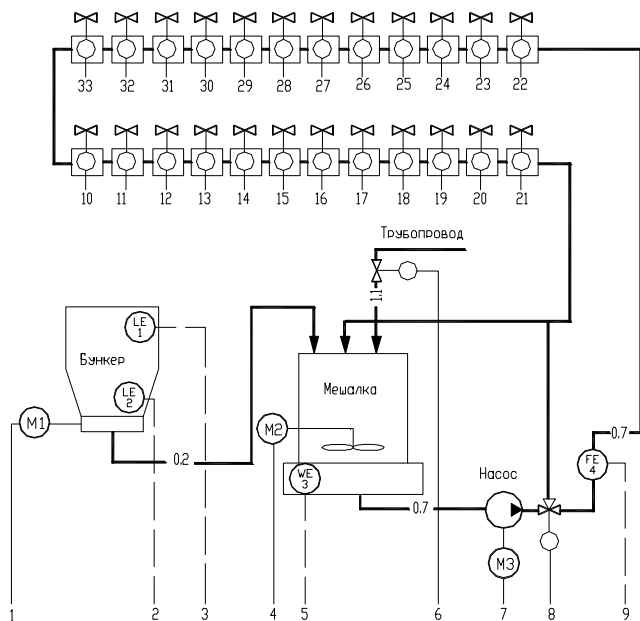
- более точное дозирование;
- упрощенное внесения добавок (премиксов, медикаментов и т.п.);

- уменьшение потерь корма;
- возможность отказаться от поилок;
- по сравнению с сухими кормами, поедание жидких кормов повышается до 5 %, приросты возрастают до 6 %, коэффициент конверсии (расходы) корма снижается до 10 %;

Автоматизированная система кормления свиней жидкими кормами представлена на рисунке 1.

На входы контроллера подаются сигналы с датчиков уровня комбикорма в бункере (2, 3); датчика веса (5); датчика расхода жидкого корма (9). Выходные сигналы контроллера управляют двигателями: шнека-извлекателя (1); мешалки (4); привода насоса (7) и электропневмоклапанами подачи жидкого корма в линию раздачи корма (8), а также в индивидуальные кормушки (10–33).

Система жидкого кормления состоит из следующих основных узлов: шкафа автоматизации с промышленным контроллером управления, смесительного резервуара, электронных тензовесов, датчиков, кормового насоса, расходомеров корма и воды, кормопроводов, электропневмоклапанов.



1 – двигатель шнек-извлекателя; 2,3 – датчики уровня комбикорма;  
 4 – двигатель мешалки; 5 – тензодатчик веса жидкого корма; 6 – электропневмоклапн; 7 – двигатель привода насоса; 8 – электропневмоклапан подачи жидкого корма; 9 – расходомер контроля выдаваемой дозы; 10–33 электропневмоклапаны подачи жидкого корм в кормушки;

Рисунок 1 – Автоматизированная система кормления свиней

Смесительный резервуар предназначен для приготовления жидкого корма путем смешивания комбикорма с водой. С помощью установленных весов производится точное взвешивание корма при приготовлении и раздаче. После перемешивания и заполнения кормопровода кормосмесью происходит подача корма в кормушки.

Система дозирования обеспечивает точную раздачу жидкого корма по всем кормушкам в зависимости от количества и возраста животных. После окончания процесса кормления вся система, включая кормовые клапаны, спускные трубы и емкости, промывается чистой водой. Управление процессом кормления осуществляется с помощью промышленного контроллера.

Система включает технологические линии с электроприводом для приготовления и раздачи жидких кормов. Входы контроллера

соединены с датчиками, а выходы с цепями управления электроприводов линий приготовления и раздачи жидких кормов, что позволяет выдавать заданные дозы корма животным, и управлять электроприводами исполнительных механизмов приготовления и раздачи жидких кормов.

Вся информация о ходе технологического процесса выводится на панель оператора.

Технология жидкого кормления свиней – перспективный и ресурсный элемент целостной системы эффективного использования ресурсов в животноводстве.

#### Список использованных источников

1. Черник Г.В., Хоцко Л.Г., Горшков Л.П. Механизация свиноводческих ферм и комплексов. – Л.: Колос, 1981. – С. 73–104.
2. Патент ВУ 2323 U, 2005.12.30. Автоматизированная система откорма свиней.

**Матвеев В.В., к.ф.-м.н., доцент,**

**Матвеев И.П., к.т.н., доцент**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СВЧ-СУШКИ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА MATLAB**

Одним из перспективных направлений в интенсификации процессов сушки всевозможных материалов является использование энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ). Это связано с тем, что благодаря возможности подвести СВЧ-энергию непосредственно внутрь высушиваемого материала удастся полезно использовать закономерность процесса сушки – «диффузионное движение влаги происходит навстречу направлению градиента температуры в высушиваемом материале». При больших температурах создаваемый градиент давления пара внутри материала резко интенсифицирует процесс сушки за счет включения механизма фильтрации влаги и пара через поры из внутренних областей материала на его поверхность к границе, где традиционные конвективные процессы сушки более эффективны.



Рециркуляционная сушка зерна активным вентилированием с использованием поля СВЧ позволяет достичь сразу нескольких положительных эффектов по сравнению с классическими вариантами – увеличение производительности сушки зерна и его более равномерную просушку по всей толщине слоя, а также уменьшение энергозатрат.

Основные особенности СВЧ-нагрева – высокая степень поглощения энергии влажных материалов и соответственно скорость роста температуры, бесконтактный избирательный нагрев неоднородных материалов, большой КПД, отсутствие инерции в подводе мощности и простота автоматизации процесса. Эти преимущества предопределяют необходимость создания промышленных установок для СВЧ-обработки и сушки материалов.

Проблема конструирования таких установок состоит в том, что сложная форма многомодовых камер и расположение обрабатываемого материала в них не позволяет найти точное распределение ВЧ-полей внутри нагреваемого материала.

Решение этой задачи возможно путем математического моделирования с использованием пакета MATLAB.

В работе проведено моделирование трехмерного электромагнитного поля пирамидальной камеры на основе метода конечных элементов с использованием пакета MATLAB.

Приведена формулировка уравнений для расчетной области.

Запишем уравнения Максвелла в виде:

$$\nabla \times \vec{H} = J + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Учитывая соотношения  $\vec{D} = \varepsilon_a \vec{E}$ ,  $\vec{B} = \mu_a \vec{H}$  и  $\vec{J} = \sigma \vec{E}$  получим:

$$\nabla \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + \varepsilon_a \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu_a \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

Запишем поле в виде гармонического представления:

$$\dot{\vec{E}}(x, y, z, t) = \dot{\vec{E}}(x, y, z) e^{j\omega t}$$

$$\dot{\vec{H}}(x, y, z, t) = \dot{\vec{H}}(x, y, z) e^{j\omega t}$$

тогда уравнения для комплексных амплитуд  $\dot{\vec{E}}$  и  $\dot{\vec{H}}$  имеют вид:

$$\nabla \times \left( \mu_a^{-1} \nabla \times \dot{\vec{E}} \right) - \omega^2 \dot{\vec{E}} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \left( \dot{\varepsilon}_a^{-1} \nabla \times \dot{\vec{H}} \right) - \omega^2 \mu_a \dot{\vec{H}} = 0$$

Были заданы граничные условия.

На проводящих стенках заданы условия идеального проводника:

$$\vec{n} \times \dot{\vec{E}} = 0$$

Для исследования прохождения волны в раскрыве рупора ставилось условие малого отражения в виде:

$$\mu^{1/2} \vec{n} \times \dot{\vec{H}} + \varepsilon_a^{1/2} \vec{n} \times (\dot{\vec{E}} \times \vec{n}) = 0 \quad (3)$$

Для моделирования влияния диэлектрика, помещенного в раскрыве рупора, использовано условие импедансной нагрузки:

$$\mu^{1/2} \vec{n} \times \dot{\vec{H}} + (\varepsilon'_a - \varepsilon''_a)^{1/2} \vec{n} \times (\dot{\vec{E}} \times \vec{n}) = 0 \quad (4)$$

Для возбуждения рупора использовалось условие согласованной нагрузки:

$$\vec{n} \times (\nabla \times \dot{\vec{E}}) - j k_z \vec{n} \times (\dot{\vec{E}} \times \vec{n}) = -2 j k_z \vec{n} \times (\vec{E}_0^+ \times \vec{n}); \quad \vec{n} = \vec{z}_0,$$

где  $\vec{E}_0^+$  – равна величине электрической составляющей  $H_{10}$  – волны.

Величина  $E_m$  рассчитывалась следующим образом.

Продольное волновое число для  $H_{10}$ -волны

$$k_z = \sqrt{k_0^2 - k_x^2} = k_0 \sqrt{1 - \left( \frac{\pi}{k_0 D_{x0}} \right)^2} = k_0 K_{z10}^M = 37.38$$

Волновое сопротивление  $W_{10}^H = \frac{\omega \mu_0}{k_z} = 517.5 \text{ Ом}$  на частоте

$$f = 2.45 \text{ ГГц}.$$

Средняя по времени подводимая мощность определяется через вектор Пойтинга как:

$$\overline{P_0^+} = \frac{E_m}{2W_{10}^H} \int_0^{D_{x0}} \int_0^{D_{y0}} \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right) dx dy = \frac{abE_m^2}{4W_{10}^H} \quad (5)$$

При  $\overline{P_0} = 1 \text{ кВт}$  величина  $E_m$  для  $H_{10}$  волны равна ( $D_{y0} = D_{x0} / 2$ )

$$E_m = \frac{\sqrt{8\overline{P}W_{10}^H}}{a} = 22.6 \text{ кВ/м} \quad (6)$$

Таким образом, анализ показывает, что равномерность поля в направлении  $\vec{j}_0$  реализуется в полосе  $10 \leq y \leq 30$  см. В направлении  $\vec{x}_0$  реализуется характерный для  $H_{10}$ -волны закон  $\sin^2(x)$ . Из-за возбуждения высших мод интенсивность ВЧ-поля на краях вдвое превосходит интенсивность в средней области.

**Матвеев И.П., к.т.н., доцент, Кленовский О.М.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ РЕГУЛЯТОРОВ ЯРКОСТИ**  
**ИСТОЧНИКОВ СВЕТА В PROTEUS**

На современном этапе развития информационных технологий создается большое количество разнообразных программных продуктов, позволяющих упростить и ускорить процессы разработки, исследования и, в конечном итоге, производства технических устройств. Программы схемотехнического проектирования и моделирования электронных устройств (Electronic WorkBench, MathLab, Proteus и др.) позволяют разрабатывать и исследовать виртуальные схемы различных устройств на компьютере.

В данной работе для проведения компьютерного моделирования была использована программа Proteus, которая представляет собой симулятор принципиальных электрических схем. Proteus включает большую библиотеку электронных компонентов, что позволяет проектировать электронные схемы различной сложности, а также моделировать их работу. Таким образом, можно просмотреть результаты работы виртуальной схемы, скорректировать параметры элементов, увидеть ошибки до практической реализации [1].

В работе смоделированы виртуальные схемы регуляторов яркости источников света [2] в среде Proteus. В результате исследования схем подобраны оптимальные параметры элементов схем для обеспечения работоспособности.

На рисунке 1 представлена схема регулятора яркости с одиночной цепью запуска, которая включает управляющий потенциометр RV1 (200 кОм, 1 Вт), являющийся регулятором яркости, напряжение с которого подается на неуправляемый симистор D1 (TB0640L-13), формирующий запускающий импульс на управляющем электроде симистора U2 (T2550-12G), конденсаторы C1 (0,1мкФ, 400В) и C2 (0,047мкФ, 400В), катушку индуктивности L1 на 200мкГн. Схема питается от сети 230 В с частотой 60 Гц (V1).

Для визуализации работы схемы подключена лампа L2.

Как показали исследования, эта схема имеет узкий диапазон регулировки.

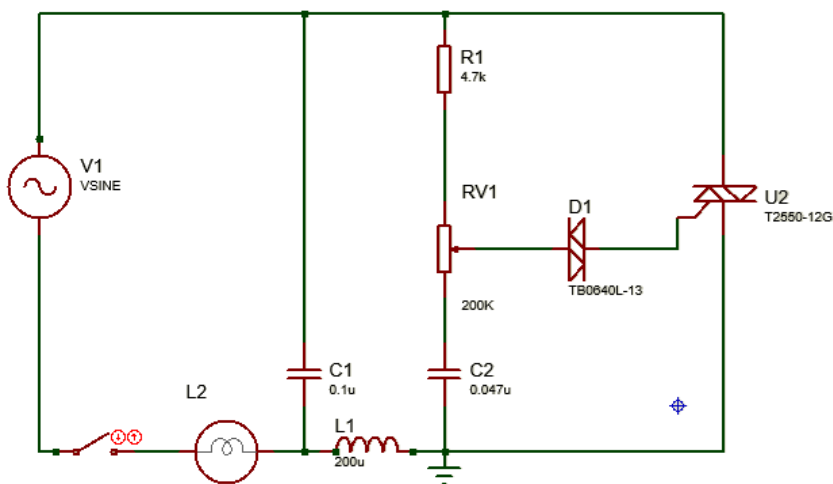


Рисунок 1 – Схема регулятора яркости с одиночной цепью запуска

Поэтому была смоделирована схема регулятора яркости с двойной цепью запуска, показанная на рисунке 2, путем введения в схему дополнительных элементов: сопротивления R2 (7,5кОм, 2Вт) и емкости C3 (0,1мкФ, 100В).

В такой схеме уменьшается влияние гистерезиса и тем самым расширяется эффективный диапазон регулировки управляющего потенциометра RV1 (гистерезис проявляется как различие в положениях управляющего потенциометра).

Дополнительный конденсатор C2 уменьшает гистерезис, заряжаясь до более высокого напряжения, чем конденсатор C3.

Во время запуска конденсатор C3, разряжаясь, образует токовый импульс на управляющем электроде симистора U2.

Однако конденсатор C2 имеет большую постоянную времени разряда и восстанавливает заряд независимо от импульса тока на конденсаторе C3.

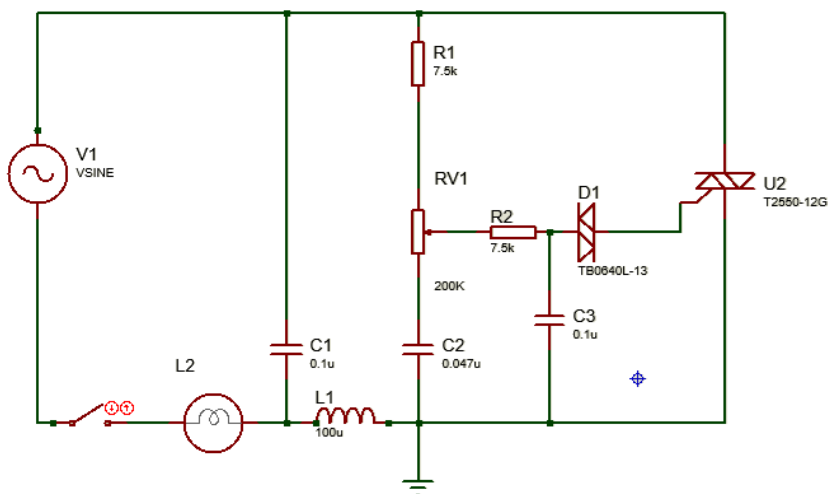


Рисунок 2 – Схема регулятора яркости с двойной цепью запуска

После исследования схемы устройства, была разработана виртуальная плата: проведено размещение элементов на плате и её трассировка. Программа Proteus позволяет увидеть макет будущего устройства с использованием 3D-визуализации.

Таким образом, программа Proteus позволяет достаточно просто проектировать различные электронные схемы, подбирать и изменять типы и номиналы элементов для задания различных режимов работы схемы, проверять работоспособность спроектированных схем.

#### Список использованных источников

1. Электронный ресурс: <https://soto-lux.ru/raznoe/zashhita-ot-kz-dlya-bloka-pitaniya-na-tiristore-shema-zashhity-istochnika-pitaniya-ot-peregruzki-na-ku202.html>.
2. Граф Р., Шиите В. Энциклопедия электронных схем // М.: ДМК-пресс – 2010. – С. 322.

**Матвейчук Н.М., к.ф.-м.н., доцент,  
Мякинник Е.Е., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ВЫБОР ТИПА РЕГУЛЯТОРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ЕГО НАСТРОЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ  
АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

На основании общих соотношений между параметрами объекта управления и регулятора можно сформулировать **рекомендации по выбору типа регулятора и его настроечных параметров**:

- для объектов с запаздыванием, инерционная часть которых **действительно** близка звену первого порядка (а не просто аппроксимирована таким звеном!), целесообразно применять ПИ-регулятор.
- для объектов с запаздыванием, инерционная часть которых имеет порядок  $n \geq 2$ , наилучшим регулятором является ПИД-регулятор.

Эмпирические формулы в таблице 1 обобщают результаты экспериментальных исследований по определению настроечных параметров типовых регуляторов для объектов с запаздыванием (при  $\tau_0/T_0 = 0 \dots 1$ ). Параметры определены путем моделирования систем при ступенчатом изменении задающего воздействия  $x_3$ . Обеспечиваемым показателем качества АСУ является перерегулирование  $\sigma$  (0 или 20 %) на выходе объекта регулирования.

Если необходимо обеспечить колебательный характер переходного процесса в АСУ, при котором амплитуда каждого последующего колебания должна быть в 4 раза меньше амплитуды предыдущего колебания, т. е. степень затухания

$$\Psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = \frac{A_1 - A_1 / 4}{A_1} = 0,75,$$

Таблица 1 – Настроечные параметры типовых регуляторов для объектов с запаздыванием

| Тип регулятора | Настроечные параметры         |                               |                           |                          |                       |                        |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
|                | $k_{\Pi}$                     |                               | $k_{И}$                   |                          | $k_{Д}$               |                        |
|                | $\sigma = 0$                  | $\sigma = 20\%$               | $\sigma = 0$              | $\sigma = 20\%$          | $\sigma = 0$          | $\sigma = 20\%$        |
| П              | $\frac{0,3 T_o}{k_o \tau_o}$  | $\frac{0,7 T_o}{k_o \tau_o}$  | 0                         | 0                        | 0                     | 0                      |
| ПИ             | $\frac{0,35 T_o}{k_o \tau_o}$ | $\frac{0,6 T_o}{k_o \tau_o}$  | $\frac{0,29}{k_o \tau_o}$ | $\frac{0,6}{k_o \tau_o}$ | 0                     | 0                      |
| ПИД            | $\frac{0,6 T_o}{k_o \tau_o}$  | $\frac{0,95 T_o}{k_o \tau_o}$ | $\frac{0,6}{k_o \tau_o}$  | $\frac{0,7}{k_o \tau_o}$ | $\frac{0,3 T_o}{k_o}$ | $\frac{0,45 T_o}{k_o}$ |

что соответствует нижней границе, при которой качество управления еще признается удовлетворительным, то следует воспользоваться рекомендациями по выбору настроечных параметров регуляторов, приведенных в таблице 2.

Таблица 2 – Настроечные параметры типовых регуляторов для колебательных процессов

| Тип регулятора | Настроечные параметры                 |                                          |                                |
|----------------|---------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|
|                | $k_{\Pi}$                             | $k_{И}$                                  | $k_{Д}$                        |
| П              | $\frac{\tau_o + T_o}{k_o \tau_o}$     | 0                                        | 0                              |
| ПИ             | $\frac{\tau_o + T_o}{1,1 k_o \tau_o}$ | $\frac{\tau_o + T_o}{3,66 k_o \tau_o^2}$ | 0                              |
| ПИД            | $\frac{\tau_o + T_o}{0,8 k_o \tau_o}$ | $\frac{\tau_o + T_o}{1,6 k_o \tau_o^2}$  | $\frac{\tau_o + T_o}{1,6 k_o}$ |

Проведенные исследования позволили также сформулировать следующие общие выводы о влиянии настроечных параметров на показатели качества регулирования:

- увеличение коэффициента  $k_{\Pi}$  пропорциональной части регулятора приводит к увеличению перерегулирования  $\sigma$ , времени  $t_{\Pi}$  переходного процесса и уменьшению степени затухания  $\Psi$ .
- увеличение коэффициента  $k_{\text{И}}$  интегральной части регулятора приводит к уменьшению времени  $t_{\Pi}$  переходного процесса и увеличению перерегулирования  $\sigma$ .
- увеличение коэффициента  $k_{\text{Д}}$  дифференциальной части регулятора приводит к уменьшению времени  $t_{\Pi}$  переходного процесса и увеличению перерегулирования  $\sigma$ .

#### Список использованных источников

1. Коновалов, Б.М. Теория автоматического управления : учебное пособие для студентов вузов / Б.М. Коновалов, Ю.М. Лебедев. – 4-е изд., доп. и перераб. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 219 с.
2. Кочетков, В.П. Основы теории управления : учебное пособие для студентов вузов / В.П. Кочетков. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2012. – 412 с.
3. Власов, К.П. Теория автоматического управления. Основные положения. Примеры расчета : учебное пособие / К.П. Власов. – 2-е изд., испр. и доп. – Харьков : Гуманитарный центр, 2013. – 540 с.

**Матвейчук Н.М.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., доцент, Цагельник С.Н.<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**

**<sup>2</sup>УП «Агрокомбинат «Ждановичи», Минск**

### **УДАЛЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА ТЕПЛИЧНОМ КОМБИНАТЕ**

В работе рассматривается установка двух когенерационных модулей в котельной для теплицы площадью 5 Га по выращиванию роз. Преимуществом внедрения КГУ является то, что потреблении-



ем установки является природный газ, а вырабатывается как тепловая, так и электрическая энергия. Благодаря установке двух когенерационных модулей, полностью покрывается электрическая необходимость тепличного комбината. Поскольку тепловой мощности котельных достаточно, то мини ТЭЦ будет замещать работу котлов, что позволит значительно сэкономить на природном газе. Дополнительным преимуществом является использование  $\text{CO}_2$ , которое увеличивает урожайность в теплице на 20 %.

КГУ состоит из четырех основных частей:

- первичный двигатель;
- электрогенератор;
- система утилизации тепла;
- система контроля и управления.

В разработанном проекте рассматривается установка двух когенерационных установок с газо-поршневым агрегатом (ГПА), работающем на газообразном топливе, необходимых для покрытия потребности теплицы площадью 5 Га с установленной системой досвечивания.

Для подачи от нововведённых КГУ к теплицам роз углекислого газа, позволяющего повысить урожайность, установлен узел подачи  $\text{CO}_2$ . На газоходах установлена переключка, которая обеспечивает бесперебойную подачу углекислого газа как от котлов, так и от когенерационного модуля.

Управление работой узла осуществляется компьютером по требованию дозирования  $\text{CO}_2$  соответствующим тепличным блоком. При отборе газа контролируется концентрация газа  $\text{CO}_2$ , температура уходящих в теплицу газов, и давление в трубопроводе. Узел  $\text{CO}_2$  снабжён смесительным клапаном. Наличие датчика температуры и такого смесительного клапана позволяет снизить температуру отходящих газов за счёт подмешивания холодного воздуха, при невозможности достаточного его охлаждения конденсором.

Программное обеспечение позволяет поддерживать различную концентрацию  $\text{CO}_2$  в каждом блоке в зависимости от времени суток и внешних воздействий (освещённость, скорость ветра и т.д.).

В работе предусмотрено управление когенерационными установками, осуществляемое автоматикой, поставляемой комплектно.

Система управления энергоустановками и программное обеспечение обеспечивают координацию следующих важнейших пара-

метров работы КГУ: число оборотов, мощность, состав топливной смеси, контроль процесса сгорания; а также ведет непрерывный мониторинг состояния всех систем энергоустановки и проводит анализ их изменений. В работе используется система менеджмента мотора DIA.NET® XT – Dialogue Network Next Generation. Она содержит блок визуализации на базе промышленной персональной ЭВМ и блоки управления мотором и модулем.

Для оптимизации технологического процесса была разработана система удалённого управления технологическими параметрами КГУ, для более сбалансированной отдачи электрической электро-энергии в сеть 10 кВ и к снижению скачков напряжения в электро-сети потребителя.

Для поддержания стабильной работы КГУ и оптимизации технологического процесса была разработана схема управления (рис. 1) для дистанционного отслеживания работы и корректировки рабочих параметров КГУ.

Дистанционный пульт управления и система управления мотора могут общаться друг с другом через локальную компьютерную сеть, по телефонной линии через модем или по интернету. При этом управлять можно несколькими моторами одновременно и независимо друг от друга.

Схема позволяет наблюдать за моторами и управлять их работой на месте или дистанционно, со стационарного компьютера или с ноутбука.

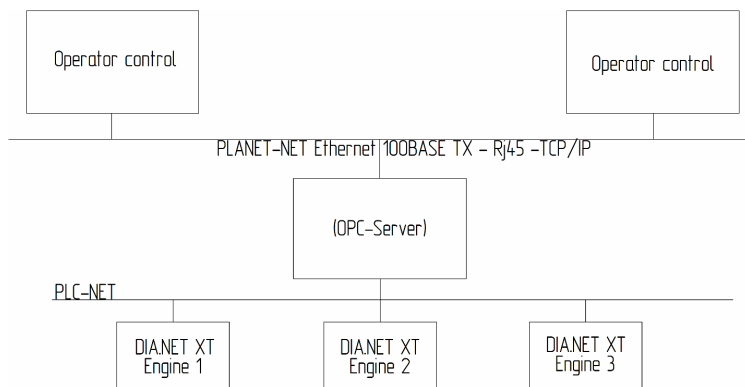


Рисунок 1 – Структурная схема управления

При внедрении предлагаемой схемы решается ряд следующих задач автоматизации технологического процесса:

- улучшение качества регулирования
- повышение коэффициента готовности оборудования
- улучшение эргономики труда операторов процесса
- хранение информации о ходе технологического процесса и аварийных ситуациях.

#### Список использованных источников

1. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. – М.: Колос, 2004. – 344 с.
2. Дайнеко, В.А. Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий: учеб. пособие / В.А. Дайнеко, А.И. Ковалинский. – Минск: Новое знание, 2007. – 320 с.
3. ТКП – 385 - 2012 (02230/03220) Нормы проектирования электрических сетей внешнего электроснабжения напряжением 0,4–10 кВ сельскохозяйственного назначения.
4. ТКП 427-2012 (02230) Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок - Минск: Минэнерго, 2012. – 82 с.
5. Янукович, Г.И. Электроснабжение сельского хозяйства. Курсовое и дипломное проектирование / Г.И. Янукович; Минск, ИВЦ Минфина, 2013. – 440 с.

**Мойсеевич А.А., Бородин А.И., Якубовская Е.С.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск**  
**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ**  
**КЕФИРНОЙ ЗАКВАСКИ КАК СПОСОБ**  
**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Эффективность предприятия по переработке молочной продукции определяется внедряемыми линиями и процессами, которые должны быть энергоэффективными и энергосберегающими. Это требование требует полной автоматизации линии. Определим возможные пути энергосбережения при автоматизации управления процессом приготовления кефирной закваски. Наиболее эффективно приготовление закваски резервуарным способом, при котором обработка молока, его созревание при внесении заквасочной культуры происходит в резервуаре заквасочника [1, с. 208].

Система автоматизации заквасочника должна обеспечить следующие требования: дозирование молока и заквасочной культуры, поддержание температуры пастеризации молока, контроль процесса охлаждения молока, контроль процесса сквашивания при периодически включаемой мешалке. Реализация этих требований определяет объем автоматизации, представленный на схеме рисунка 1.

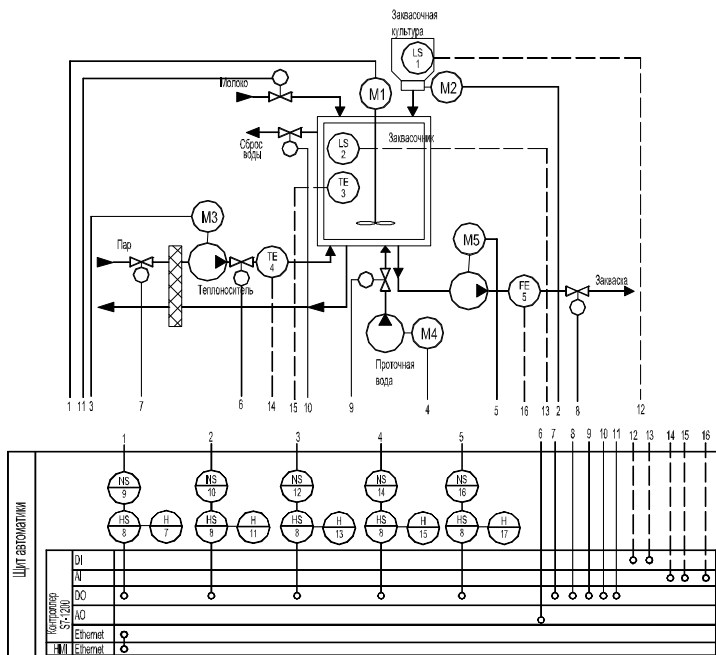


Рисунок 1 – Схема автоматизации линии переработки помета

В процессе загрузки заквасочника необходимо контролировать уровень молока с помощью датчика уровня LS. Поскольку пастеризация молока происходит в самом заквасочнике, то требуется поддерживать температуру пастеризации. В течении 30 минут молоко должно быть выдержано при температуре 90°C. Поэтому предусмотрен контур подачи теплоносителя. В это время в рубашке заквасочника циркулирует теплоноситель, температура которого поддерживается за счет впуска пара. Таким образом, в заквасочнике должен быть установлен датчик температуры молока TE. Также контролируется температура теплоносителя и по показаниям дат-

чика устанавливается положение клапана впуска пара по закону, реализуемому регулятором, в качестве которого может выступать контроллер. После пастеризации молоко должно остыть до температуры 30 °С, что также контролируется датчиком температуры. После этого дозируется заквасочная культура и происходит сквашивание при периодическом включении мешалки.

Таким образом, энергосбережение при автоматизации процесса приптовления кефирной закваски обеспечивается за счет согласованной работы оборудования, точного поддержания технологических параметров, а также реализации поддержания температуры пастеризации за счет плавного регулирования в контуре подачи теплоносителя.

#### Список использованных источников

1. Технология Карпеня, М.М. Технология производства молока и молочных продуктов: учеб. пособие / М.М. Карпеня, В.И. Шляхтунов, В.Н. Подрез. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014. – 410 с.

**Мойсеевич В.М., Якубовская Е.С.**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь  
ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ РОБОТА-  
ПОДГРЕБАТЕЛЯ КОРМОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ  
ВЫДАЧИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КОРМОВ**

Особое влияние на продуктивность молочного стада оказывает принятый способ кормления и качество кормовых материалов [1, с. 278]. Для молочного стада принято использовать нормированное и ненормированное кормление. Нормированное кормление используется при раздаче концентрированных кормов, которые являются дорогими и которыми можно стимулировать удои. Ненормированное кормление используется в молочном производстве при раздаче грубых кормов или силоса или зеленой массы. Однако и в этом случае необходимо обеспечить полную поедаемость кормов. При ненормированном кормлении корм раздают на кормовой стол – часть кормового проезда с одной или двумя полосами для раздачи кормов, которые отделяются ограждением от места расположения коров [2]. Часть корма с кормового стола животными расталкива-

ется, что уменьшает процент использования корма. Поэтому используют прием подгребания корма во время кормления на кормовом столе. Наиболее продуктивно в этом случае использовать робот-подгребатель, не требующий участия персонала в процессе.

Еще одним приемом обеспечения поедаемости грубых кормов является стимуляция их поедания с помощью добавки концентрированного корма. В этом случае необходим робот-подгребатель кормов с функцией раздачи концентрированного корма. Автоматизировать работу такого робота сложнее. Объем автоматизации такого робота представлен на рисунке 1. Необходимо обеспечивать загрузку корма в случае необходимости. Т.е. необходимо предусмотреть возможность выбора: просто подгребать либо также раздавать корм. Реализовать такой выбор можно с помощью панели оператора. После загрузки робот движется по заданному маршруту, подгребая или также выдавая корм и возвращается назад на место загрузки и зарядки.

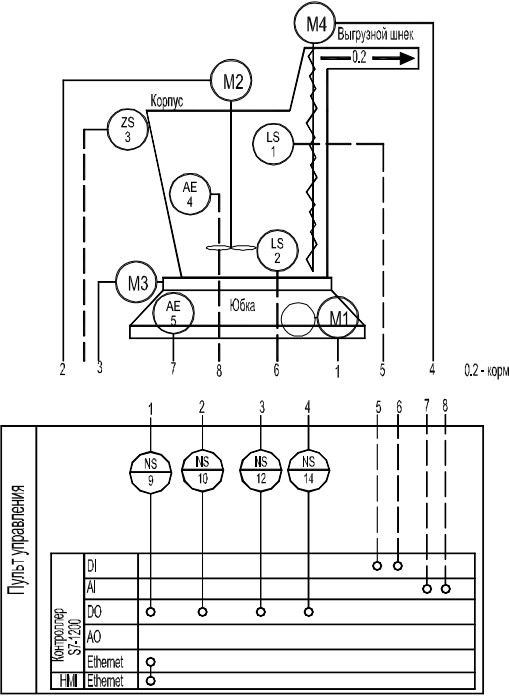


Рисунок 1 – Схема автоматизации робота-подгребателя кормов

Таким образом, особенностями автоматизации робота-подгребателя является возможность выбора варианта подребание только или кормление, реализация движения по заданному маршруту в заданное время заданное количество раз, что требует использования контроллера с панелью оператора либо возможностью удаленного управления через интернет-сайт.

#### Список использованных источников

1. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск : Новое знание, М.: ИНФРА-м, 2015. – 376 с.
2. Lely [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lely.com/ru/solutions/feeding/vector/> – Дата доступа: 25.03.2022.

**Мякинник Е.Е., ст. преподаватель,  
Костикова Т.А., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ  
И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУР СИСТЕМ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

В общем случае при проектировании системы необходимо определить алгоритмическую и функциональную структуры системы, т. е. решить задачу полного синтеза.

**Синтез автоматической системы** это процедура определения структуры и параметров системы по заданным показателям качества управления.

Определение алгоритмической структуры (**теоретический синтез**) производится с помощью математических методов и на основании требований, записанных в четкой математической форме.

Определение функциональной структуры (**технический синтез**) заключается в выборе конкретных физических элементов и согласования их между собой по статическим и энергетическим характеристикам. Эта процедура не имеет пока строгой математической основы (т. е. не формализована) и поэтому относится к области инженерного творчества.

С учетом того, что не любой элемент алгоритмической структуры может иметь отображение в виде физического блока функциональной структуры, т. е. просто не может быть реализован, задачу синтеза в большинстве случаев невозможно решить определяя сначала алгоритмическую структуру АСУ, а затем по ней – функциональную структуру. Поэтому задачу синтеза в большинстве случаев решают следующим образом.

Сначала, исходя из известности объекта управления ОУ, требований к назначению и условиям работы АСУ, по каталогам серийного оборудования выбирают функционально необходимые элементы системы:

- регулирующий орган РО;
- исполнительное устройство ИУ;
- датчики Д.

Эти элементы АСУ вместе с объектом управления ОУ образуют неизменяемую часть функциональной структуры системы (рисунок 1).

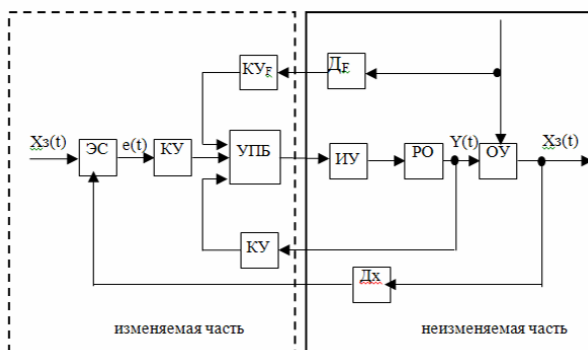


Рисунок 1 – Функциональная структура синтезируемой системы

Затем, на основании требований к статическим и динамическим свойствам АСУ определяют изменяемую часть функциональной структуры системы, в которую входят:

- усилительно-преобразующий блок УПБ;
- корректирующие устройства КУ.

Таким образом, процедуры определения алгоритмической и функциональной структур тесно переплетаются друг с другом. Окончательное решение о структуре АСУ принимается на основе компромисса между качеством управления, с одной стороны, и простотой и надежностью, с другой.



Заключительным этапом проектирования АСУ является параметрическая оптимизация – определение настроечных параметров выбранного регулятора.

После решения задачи синтеза обычно выполняют анализ синтезированной системы, т. е. проверяют, обладает ли система необходимыми показателями устойчивости и качества управления.

Применение на всех этапах синтеза и анализа АСУ цифровых вычислительных машин позволяет рассмотреть большое количество вариантов структур и параметров и тем самым существенно ускорить решение задачи синтеза.

#### Список использованной литературы

1. Ротач, В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Издательство МЭИ, 2004. – 400 с., ил.
2. Сидоренко, Ю.А. Теория автоматического управления: учебное пособие/ Ю.А. Сидоренко – Минск: БГАТУ, 2007. – 124 с.
3. Мирошник, И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. – СПб.: Питер, 2005. – 306 с.

**Несенчук А.А., к.т.н., доцент**  
**Объединенный институт проблем информатики**  
**НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь**  
**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОБАСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ**  
**ИНТЕРВАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА**  
**С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРНЕВОГО ПОДХОДА**

Системы с неопределенными параметрами, в частности интервальные, представляют собой один из наиболее обширных и сложных классов систем. Вопросы исследования этих систем занимают центральное место в теории автоматического управления [1, 2].

Рассмотрим систему управления, динамика которой описывается семейством интервальных характеристических уравнений вида

$$\sum_{j=0}^n a_j s^{n-j} = 0, \quad (1)$$

где вектор коэффициентов  $a = (a_0, a_1, \dots, a_{n-1}, a_n)$  принадлежит некоторому связному множеству  $A \subset R^{n+1}$ ,  $a \in A$ ,  $n$  – степень полинома (целое число);  $s$  – комплексное переменное,  $s = \sigma + i\omega$ .

Интервальное изменение коэффициентов характеристического уравнения динамической системы отражает интервальное изменение ее параметров. Предположим, что коэффициенты (1) действительны и изменяются в следующих пределах:

$$a_j \leq a_j \leq \bar{a}_j, \quad j = \overline{1, n}, \quad a_0 \neq 0, \quad (2)$$

где  $a_j$  и  $\bar{a}_j$  – соответственно минимальное и максимальное значения замкнутого интервала изменения коэффициента  $a_j$ .

Перепишем уравнение (1), выделив коэффициент  $a_k$ , в виде

$$\varphi(s) + a_k \psi(s) = 0, \quad (3)$$

где функции  $\varphi(s)$  и  $\psi(s)$  представляют собой полиномы интервального семейства.

Сделав в уравнении (3) замену переменного,  $s = \sigma + i\omega$ , запишем уравнение корневого годографа:

$$v(\sigma, \omega) = 0 \quad (4)$$

и уравнение параметра:

$$u(\sigma, \omega) = a_k \quad (5)$$

для рассматриваемой системы.

Установим характер пересечения границы асимптотической устойчивости системы, описываемой семейством характеристических уравнений четвертого порядка:

$$s^4 + a_1 s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + a_4 = 0,$$

ветвями свободных корневых годографов с параметром  $a_4$ . Для этой цели воспользуемся функцией параметра (5) и уравнением корневого годографа (4). Установив значение  $\sigma = 0$ , определим функцию параметра траектории на границе асимптотической устойчивости (оси  $i\omega$ ):

$$a_4 = -\omega^4 + a_2 \omega^2, \quad a_2 \leq a_2 \leq \bar{a}_2. \quad (6)$$

Определим уравнение корневого годографа на границе  $i\omega$  :

$$-a_1\omega^3 + a_3\omega = 0. \quad (7)$$

Уравнение (7) используется для нахождения координат  $\omega$  области пересечения границы устойчивости ветвями корневых годографов портрета, а выражение (6) – для определения значений свободного параметра (в рассматриваемом случае в определенных точках данной области).

Ввиду аналитичности и непрерывности функций (6) и (7) очевидно, что точки пересечения границы устойчивости ветвями годографов портрета образуют на этой оси некоторую область  $D_\omega$ . Определим максимальное и минимальное значения функции параметра в области  $D_\omega$ . Для этого выполним исследование функции параметра на экстремум с помощью первой производной.

$$u'(\omega) = -4\omega^3 + 2a_2\omega = 0$$

Перепишем выражение (6) для  $a_2 = \bar{a}_2$  :

$$a_{4\max} = -\omega^4 + \bar{a}_2\omega^2, \quad (8)$$

возьмем первую производную от функции параметра (8) и приравняем ее нулю:

$$u'(\omega) = -4\omega^3 + 2\bar{a}_2\omega = 0. \quad (9)$$

Решив уравнение (9), вычислим значения координат точек экстремума функции параметра на границе устойчивости. При  $n=4$  имеется четыре точки максимума функции параметра.

Перепишем уравнение (6) для  $a_2 = \underline{a}_2$  :

$$a_{4\min} = -\omega^4 + \underline{a}_2\omega^2, \quad (10)$$

и первую производную функции (10) приравняем нулю:

$$u'(\omega) = -4\omega^3 + 2\underline{a}_2\omega = 0. \quad (11)$$

Решив уравнение (11), вычислим значения координат точек экстремума (минимума) функции параметра на границе устойчивости. При  $n=4$  имеется три точки минимума функции параметра.

Далее выполняется построение мажоранты и миноранты функции параметра на границе устойчивости рассматриваемой системы. Граница устойчивости разделяется на три области пересечения:

- возрастания функции параметра:  $\bar{D}_\omega \subset D_\omega$  ;

- убывания функции параметра:  $D_\omega \subset D_\omega$  ;
- комбинированная область:  $\bar{D}_\omega \subset D_\omega$  .

Установлено, что, если годографы корневого портрета интервальной системы пересекают границу устойчивости в области  $\bar{D}_\omega$  или  $D_\omega$  , для проверки устойчивости системы используется только одно уравнение интервального семейства:

$$s^4 + \bar{a}_1 s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + \bar{a}_4 = 0 \text{ – в области } \bar{D}_\omega ,$$

$$s^4 + a_1 s^3 + a_2 s^2 + \bar{a}_3 s + \bar{a}_4 = 0 \text{ – в области } D_\omega .$$

Если годографы системы пересекают границу устойчивости в области  $\bar{D}_\omega$  , где сочетаются участки возрастания и убывания функции параметра, для проверки устойчивости используются два уравнения интервального семейства:

$$s^4 + \bar{a}_1 s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + \bar{a}_4 = 0 ,$$

$$s^4 + a_1 s^3 + a_2 s^2 + \bar{a}_3 s + \bar{a}_4 = 0 .$$

#### Список использованных источников

1. Поляк, Б.Т. Робастная устойчивость и управление / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков. – М.: Наука, 2002. – 303 с.
2. Несенчук, А.А. Анализ и синтез робастных динамических систем на основе корневого подхода / А.А. Несенчук. – Мн: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 234 с.

**Овсянников В.Ю.<sup>1</sup>, д.т.н., доцент,**

**Бабенко М.С.<sup>2</sup>, к.т.н., инженер**

**<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет**

**инженерных технологий», г. Воронеж**

**<sup>2</sup>ООО «Воронежсельмаш», г. Воронеж**

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ**

**ПАСТЕРИЗАЦИОННО-ОХЛАДИТЕЛЬНОЙ**

**УСТАНОВКОЙ ДЛЯ МОЛОКА**

Пастеризация молока и молочных продуктов является одной из важнейших технологических операций молочного производства. Особенно это актуально для малых предприятий, занимающихся

переработкой молока и молочных ферм, для которых перспективным является инфракрасный пастеризатор молока.

Управление технологическими объектами при помощи микропроцессорной техники сегодня особенно перспективно.

С этой целью предлагается алгоритм автоматического управления инфракрасной (ИК) пастеризационно-охладительной установкой для молока на базе микропроцессора (рисунок).

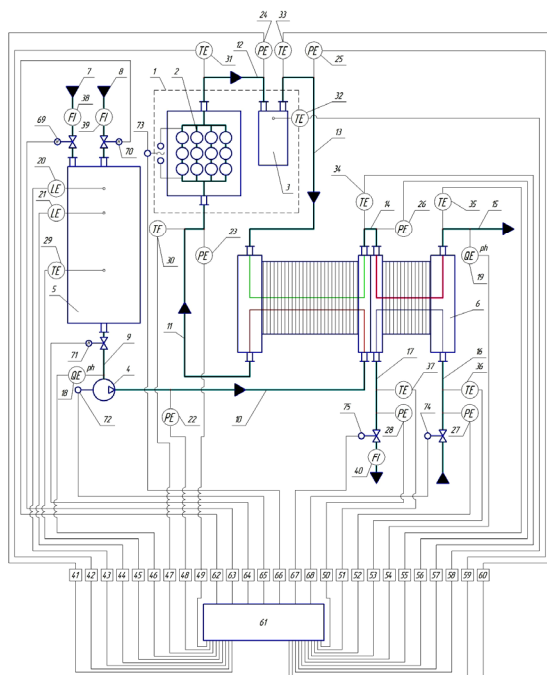


Рисунок – Алгоритм автоматического управления инфракрасной пастеризационно-охладительной установкой для молока

Молоко поступает по линии 7 в бак накопитель 5 и по линии 9 поступает в насос 4, который нагнетает его в теплообменный аппарат 6, в секцию предварительного нагрева, где молоко подогревается и по линии 11 поступает в блок пастеризации 1, в котором проходит через секцию ИК нагревательных элементов 2, нагреваясь до температуры пастеризации, и поступает по линии 12 в бак-выдерживатель 3. В нем молоко находится с постоянной температурой в течении некоторого времени. Далее выдержанное молоко

по линии 13 поступает в теплообменный аппарат 6, в секцию предварительного охлаждения и по линии 14 с датчиком давления 26 и температуры 34, поступает в секцию окончательного охлаждения, после чего по линии 15 с датчиком 35 готовый продукт идет на упаковку. По линии 8 в бак накопитель 5 поступает вода, кислота и щелочь. По линии 16 в теплообменный аппарат 6, в секцию окончательного охлаждения поступает ледяная вода, которая отводится по линии 17. На линии 7, 8 и 17 установлены датчики учета расхода молока 38, моющих средств 39 и ледяной воды 40, отображающие показания по месту установки.

На линии подачи исходного молока 7 и линии подачи воды, кислоты и щелочи 8 информация о расходе молока, а также воды и моющих средств отображается на датчиках расхода исходного молока 38 моющих средств и воды 39.

В накопительном баке 5, информация об уровне жидкости 21, 20 и его температуры 29 передается в микропроцессор 61, который по заложенному алгоритму устанавливает задание посредством исполнительных механизмов 69, 70, 71 регулирующих подачу исходного молока, воды, кислоты и щелочи, а также последующую подачу молока или моющих средств.

Информация о кислотности молока, давлении в линии 9 и 10 с помощью датчиков 18, 19, 22 передается в микропроцессор 61, который по заложенному алгоритму устанавливает задание насосу 4 на последующий режим подачи молока или моющих средств, посредством исполнительного механизма 72.

В блоке пастеризации 1, располагается секция ИК нагревательных элементов 2 и выдерживатель 3. Информация о температуре на входе в секцию ИК нагревательных элементов 30, выходе из секции ИК нагревательных элементов 31, температуре в выдерживателе 32 и выходе из выдерживателя 33, давлении на входе в секцию ИК нагревательных элементов 23, выходе из секции ИК нагревательных элементов 24, выходе из выдерживателя 25 передается в микропроцессор 61, который по заложенному алгоритму устанавливает задание посредством исполнительного механизма 73, регулирующего напряжение в секции ИК нагревательных элементах 2.

В теплообменнике 6 в линии 16 подачи ледяной воды датчик 36 осуществляет контроль температуры, подаваемой воды и в случае несоответствия заданной величине, управляющий сигнал подается в микропроцессор 61, который вырабатывает управляющий сигнал, поступающий в преобразователь 68, воздействующий на исполнитель-

ный механизм 74, обеспечивающий открытие вентиля, что вызывает повышение расхода ледяной воды и пропорциональное изменение давления, измеряемого датчиком 27, в соответствии с заложенным алгоритмом корректирующим сформировавшийся расход ледяной воды.

Датчики температуры 37, давления 28 работают аналогично, но в обратной последовательности. Это обеспечивает повышение надежности работы вышеописанного участка управления в случаях выхода из строя одного из датчиков 36, 27, вторичного прибора 51 или 52, а также исполнительного механизма 74.

Схема также содержит вторичные приборы 41–60, микропроцессор 61, преобразователи 62–68, исполнительные механизмы 69–75.

**Опейко О.Ф., к.т.н., доцент**  
**Белорусский национальный технический университет,**  
**Минск, Республика Беларусь**  
**ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ЗАДАНИЯ**  
**ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМ ОБЪЕКТОМ**

Наибольшее применение в промышленных установках нашли линейные регуляторы простой структуры, обычно пропорционально-интегро-дифференцирующие (ПИД), которые, однако, применяются для управления и нелинейными объектами, например, объектом, описываемым векторными уравнениями

$$\begin{aligned}\dot{x} &= f(x) + b(u), \\ y &= g(x).\end{aligned}$$

Структура управления по выходу нелинейным объектом  $P$  с линейным регулятором  $R$  показана на рисунке 1.

Примером, где необходимо формирование сигнала задания для управления нелинейным объектом, является управление ослаблением магнитного поля асинхронного электродвигателя по условию максимизации электромагнитного момента.

В системе применяются линейные регуляторы, которые должны быть робастными для обеспечения качества динамики в окрестности каждой точки нелинейной зависимости  $y = g(x')$ .

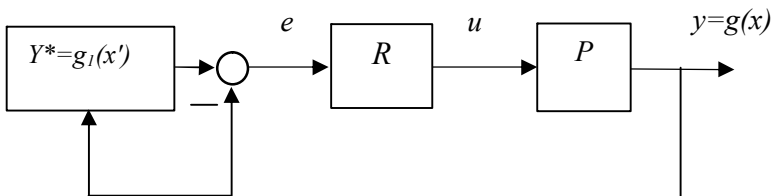


Рисунок 1 – Структура управления

Требуется определить сигнал задания  $Y^*$  по критерию оптимальности  $Q(x') = Q_{\min}(x')$ , где  $x'$  - вектор состояния объекта в установившемся режиме. Алгебраические уравнения установившегося режима системы имеют вид

$$0 = f(x') + b(u), \quad y = g(x').$$

В задаче минимизации эти уравнения определяют ограничения. Минимизация критерия  $Q(x')$  с учетом ограничений дает функциональную зависимость  $Y^* = g_I(x')$  такую, что ошибка регулирования  $e$  (рисунок 1) остается ограниченной во всем диапазоне изменения переменных, так как разность  $g_I(x') - g(x)$  ограничена по абсолютной величине, и это способствует работе регуляторов в зоне линейности.

**Pauliukavets S.A., PhD, assoc. prof.,**  
**Velchenko A.A., PhD, assoc. prof., Tang Wenhao, MSc,**  
**Yang Shixin, PhD student**  
**«Belarusian National Technical University»,**  
**Minsk, Republic of Belarus**  
**ARCHITECTURE OF CONTROL UNIT OF A BRUSHLESS**  
**DC MOTOR ON BASE OF NEURAL NETWORK**

**Keywords:** brushless motor, control unit, backpropagation neural network.

**Abstract:** PID control is used to control the electric motor, which has a simple structure, high reliability and ease of engineering implementation. The paper proposes the development of a forward-propagation neu-



ral network with back-propagation of error for tuning the coefficients of the PID controller when controlling a brushless DC motor.

**Main part.** The optimal solution obtained by dynamic programming is always the global optimal solution that solves the local optimization problem [1]. Its main principle is to correctly divide the actual problem into thousands of stages and adopt a step-by-step solution to the problem. However, this method does not have a single standard model and requires a lot of data to store. Currently, the most commonly used method is the hybrid method, which combines the gradient descent method and the conjugate gradient method. First, the gradient descent method is used to quickly converge the network near the extreme value, and then the conjugate gradient method is used to overcome the disadvantage of the slow convergence of the gradient descent method near the extreme value [2]. Of course, the key to this method is to find the turning point of the gradient descent method and the conjugate gradient method, which is also the difficulty of this method. The advanced BP neural network combining algorithm is highly displayable but easily amenable to local optimization. Genetic Algorithm (GA), Chaotic Algorithm (CA), and Simulated Annealing Algorithm (SA) do not need gradient, have little dependence on performance index function, wide application range of z1wAQ, good reliability, and are suitable for parallel computing, but not suitable for global optimization . Therefore, an organic combination with a BP neural network can complement each other's strengths and avoid weaknesses [3].

The paper proposes the development of a speed controller based on a back-propagation (BP) neural network. Figure 1 shows the MATLAB/Simulink blocks used.

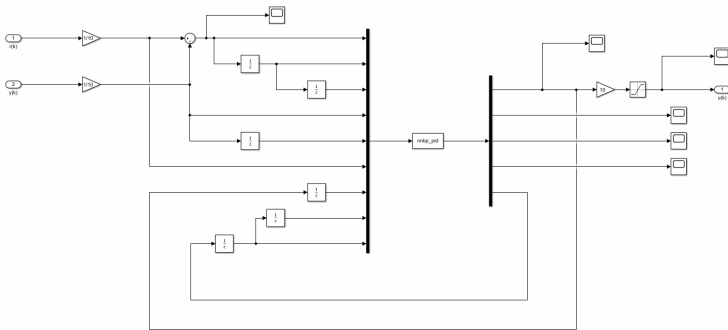


Figure 1 – BP-PID controller

To develop the architecture of a brushless DC motor control unit based on a neural network, we will build an S-fiction as a BP neural network controller based on a mathematical model

$$u(k) = f[u(k-1), K_p, K_i, K_d, e(k), e(k-1), e(k-2)]$$

where  $f[ ]$  is a nonlinear function related to  $K_p, K_i, K_d, u(k-1), e(k)$ , etc. BP neural network NN can be used to find such an optimal control law through training and learning.

The S-function of the BP neural network of the PID controller works as follows:

The input of S-function is:  $u = [e(k); E(k-1); E(K-2); Y(k); Y(k-1); R(k); U(k-1); \text{hidden layer} + \text{output layer weight coefficient (K-2); hidden layer} + \text{output layer weight coefficient (k-1)}] = [u(1); U(2); U(3); U(4); U(5); U(6); U(7); \dots U(\text{number of hidden layer weights} + \text{number of output layer weights})]$ . The purpose of returning all weight coefficients from output to input is to update the weight matrix and adaptively adjust the three PID parameters.

This function has four external input variables:  $T, nh, xite$  and  $alfa$ .  $T$  inputs the sampling time,  $NH$  determines the number of hidden layers, and the learning rate and inertia coefficient in the weight coefficient correction formula of  $xite$  and  $alfa$ .

Thus, the neural network controller BP was simulated in MATLAB/Simulink. Control response speed can be optimized by adjusting the BP neural network hidden layer weight and the number of neural network layers.

### References.

1. Liu Xudong, research on control strategy and key technology of permanent magnet synchronous motor for electric vehicle based on predictive control [D] Shandong University, 2016.
2. Chan L W, Fallside F. An Adaptive Training Algorithm for Back Propagation Networks[J], Computers, Speech and Language, 1987(2): 205–218.
3. Lu Juan Juan, Chen Hong Research progress of BP neural network [J], control engineering, 2006, 13 (5): 449–451.

**Павловский В.А.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**МЕТОД СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ**  
**ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Сочетание биологии и техники, нестационарность и распределенность в пространстве и времени, нелинейные и недетерминированные связи между параметрами заставляют относить технологические процессы сельскохозяйственного производства к сложным объектам управления. Упрощенность управления приводит к существенной хаотичности в производстве и, как следствие, к снижению его экономической эффективности. Повышение эффективности агропромышленного производства объективно требует внедрения новых совершенных устройств управления на базе микропроцессорной техники.

В управлении технологическими процессами существенное значение имеют информационные процессы. Определения информация и ее роль в управлении даны в [1]. Управляющие воздействия формируют на основе информации об объекте управления. При этом объект управления адекватно отображается моделью в виде информационной системы в устройстве управления. Адекватность отображения объекта управления достигается при информационном разнообразии устройства управления равном, либо превышающем разнообразие объекта управления. То есть для каждого состояния или процесса протекающего в объекте управления, в информационной системе устройства управления должны быть соответствующее состояние или процесс.

Автоматизация технологических процессов предполагает замену в операциях управления человека техническими средствами. В общем случае труд оператора при управлении направлен на сбор информации, подготовку и принятие решений, контроль за их исполнением. Действия оператора основываются на знании технологии производства и объекта управления. Отметим в операциях управления наличие функции связанной с обработкой информации.

Насколько важна информация в управлении ясно из следующей цитаты: «Поэтому говорят: если ты знаешь врага и знаешь себя, тебе не нужно волноваться за исход сотни сражений. Если ты знаешь себя, но не знаешь врага, за каждую достигнутую тобой победу ты расплатишься, потерпев поражение. Если ты не знаешь ни себя, ни врага, ты будешь проигрывать всегда.» [2].

Переход от незнания к знанию освобождает от предрассудков и делает выбор в принятии решений адекватным. Составляющие информацию сведения о технологическом процессе уменьшают неопределенность в действиях по управлению. Сведения о технологическом процессе могут быть получены измерением параметров с помощью датчиков и косвенно с помощью вычислений по имеющимся данным и моделям. Количественные и качественные оценки технологических параметров, а так же результаты их обработки представляют собой ценную технологическую информацию.

Наиболее полно обработать и использовать технологическую информацию с целью повышения эффективности управления позволяет микропроцессорная техника. Для этого аналоговый сигнал преобразуется в унифицированный электрический и затем в цифру сохраняемую в памяти микропроцессорной системы. Перевод информации сигналов в цифровой вид предоставляет новые большие возможности в хранении и обработке обеспечиваемые микропроцессорной техникой, например, доступность и бездефицитность которые отсутствовали для сигналов в аналоговом виде. Таким образом, создаются предпосылки для использования ранее недоступной информации в решении ряда задач, в том числе новых и взаимосвязанных, повышающих качество управления.

Микропроцессор предназначен для обработки информации. С помощью микропроцессора устройства управления способны обрести комплексное информационное восприятие объекта управления. В частности устройствам типа микропроцессорные контроллеры свойственна мультиплексность в выполнении задач управления, т.е. способность практически одновременно (квазипараллельно) осуществлять управление несколькими процессами. Достигается распределением ресурсов между отдельными информационными задачами по принципам работы операционной системы реального времени.

Таким образом, один контроллер способен поддерживать управление несколькими контурами регулирования. Кроме этого кон-

тронлер способен одновременно осуществлять еще и управление последовательностью операций (логическое управление). При этом вся собираемая, обрабатываемая контроллером информация по всем задачам располагается в его памяти в цифровом виде, что делает её доступной для использования при решении любой из задач.

Такая возможность позволяет при наличии реально существующей связи между отдельными процессами в сложном объекте учесть это, введя полезную информационную связь между отдельными задачами в устройстве управления. Введение полезных информационных связей приводит к появлению синергетического эффекта – новых полезных свойств системы не характерных для ее частей взятых по отдельности, что выражается в виде повышения показателей качества управления.

Устройство управления должно постоянно проверять правильность хода технологического процесса, при этом особенно важна координация отдельных специализированных задач. Для этого необходимо правильно организовать обмен данными между программными модулями, как локально, так и в распределенной среде, интерфейс пользователя и взаимодействие между вычислительной системой и технологическим оборудованием.

Таким образом, для улучшения характеристик технологического процесса необходимо, используя возможности микропроцессора, обрабатывать всю доступную полезную информацию. Эффективность микропроцессорных устройств управления во многом определяется не их вычислительной мощностью, а способами обработки информации, реализованными в виде управляющих технологических программ, являющихся неотъемлемой частью системы управления.

#### Список использованных источников

1. Морозова Е.А. Информация и ее роль в управлении социальными процессами // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6. ; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=5111> (дата обращения: 01.12.2022).
2. Сунь-цзы. Искусство войны. – Москва: Эксмо, 2021. – 160 с.

**Павловский В.А., Попов Д.С.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ВАРИАНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ**  
**В СВИНАРНИКЕ**

Схемы организации вентиляции в свинарнике приведены в [1].

Параметрами микроклимата в свинарнике являются: температура, влажность, концентрация вредных газов, скорость движения воздуха.

При работе системы вентиляции выделяют теплый, переходный и холодный период года. В теплый период года, который в основном приходится на календарное лето, основной проблемой является повышение температуры. Для снижения температуры, прежде всего, увеличивают вентиляцию помещения. В теплый период требуемый объем вентиляции для снижения температуры в разы превышает, объёмы вентиляции необходимые для удаления излишков влаги и вредных газов. Весной и осенью, в переходный период, повышается влажность и снижается температура. Объём вентиляции для удаления излишков тепла может оказаться ниже объема вентиляции для выноса избытков влаги. В холодный период, зимой, температура в помещении падает, и для её повышения используют систему отопления, система вентиляции в этот период решает проблему удаления из помещения вредных газов и подачи объема воздуха необходимого для дыхания, объём вентиляции при этом должен быть минимальным.

Возможные варианты реализации системы автоматического регулирования температуры в свинарнике:

1) вентиляторы включаются позиционно.

Достоинства: дешевизна системы.

Недостатки: низкая точность поддержания необходимого воздухообмена (дискретность шага составляет производительность одного вентилятора).

2) вентиляторы включаются позиционно, плавное регулирование осуществляется шиберными заслонками.

Достоинства: можно обеспечить высокую точность, при небольших капитальных вложениях.

Недостаток: перерасход электроэнергии (излишняя мощность рассеивается на заслонках).

3) на каждый вентилятор устанавливается собственный частотный привод.

Достоинства: высокая точность поддержания регулируемой величины.

Недостатки: дороговизна частотного привода, потери электроэнергии при работе двигателя на малых оборотах (при работе на малых оборотах КПД вентилятора существенно снижается по сравнению с работой в режиме близком к номинальному).

4) устанавливается один частотный преобразователь на группу вентиляторов.

Достоинства: система дешевле по сравнению с установкой собственного частотного привода на каждый вентилятор.

Недостатки: ниже точность поддержания регулируемой величины по сравнению с индивидуальным регулированием вентилятора и те же потери электроэнергии при работе двигателя вентилятора на малых оборотах.

5) система, состоящая из нескольких вентиляторов включаемых позиционно и одного с частотным приводом.

Достоинства: сочетание позиционного и непрерывного регулирования позволяют поддерживать высокую точность за счет непрерывного регулирования и высокий КПД за счет работы вентиляторов в номинальном режиме при позиционном управлении.

#### Список использованных источников

1. Морозова, С.А. Вентиляция свинарника: виды, схемы, критерии выбора оборудования; URL: <https://sagrada.biz/press-centr/stati/ventilyatsiya-svinarnika-vidy-skhemy-kriterii-vybora-oborudovaniya/> (дата обращения: 01.12.2022).

**Павлюковец С.А., к.т.н., доцент, Вельченко А.А., к.т.н., доцент,  
Чаплыгин Д.Ю., аспирант, У Синьсинь, аспирант  
Белорусский национальный технический университет, Минск,  
Республика Беларусь  
НЕЙРОСЕТЕВОЙ АЛГОРИТМ ВНЕСЕНИЯ ДОЗ  
УДОБРЕНИЙ**

**Ключевые слова:** точное/прецизионное земледелие, нейросетевой алгоритм, искусственная нейронная сеть, нейрон.

**Аннотация:** В представленной работе, основываясь на базовые принципы разработки эффективных архитектур искусственной нейронной сети, разработана собственная архитектура нейронной сети, которая обеспечивает точность классификации, сопоставимую с точностью существующих архитектур при большем быстродействии.

**Основная часть.** На современном этапе развития сельского хозяйства необходимым условием для интенсивного земледелия является всемерное повышение плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур на основе научно обоснованных систем ведения хозяйства. Повышение эффективности удобрений – одна из основных задач агрономов и руководителей хозяйств. В комплексе мероприятий и приемов рационального применения удобрений первостепенное значение имеет определение количества удобрений, вносимого в почву в оптимальные сроки и наиболее эффективными способами.

В последнее время активно создаются модели на основе искусственной нейронной сети (ИНС), адаптивная система нейро-нечеткого вывода, подходы к генетическому программированию.

В данной работе авторами предлагается создание архитектуры трехслойной ИНС системы управления внесением доз удобрений мобильной роботизированной сельскохозяйственной техникой. ИНС состоит из слоев нейронов, которые включают три слоя: входной слой, имеющий семь входных параметров (максимальная температура воздуха  $T_{max}$ , и минимальная температура воздуха  $T_{min}$ , влажность воздуха  $\gamma$ , географическая широта  $\varphi$ , географическая долгота  $\psi$ , высота над уровнем моря  $h$ , первоначальная концентрация удобрения в почве  $N_0$ ), один скрытый слой, имеющий десять вычислительных нейронов с сигмоидальной функцией активации и выходной слой с одним нейроном (рисунок 1). Перед входом в ИНС выполняется этап предварительной обработки данных. Каждый нейрон в входном слое принимает свое значение из базы данных. Проводится нормализация входных и выходных данные, в результате чего все входные и выходные данные, результаты и целевые показатели будут находиться между нулем и единицей.



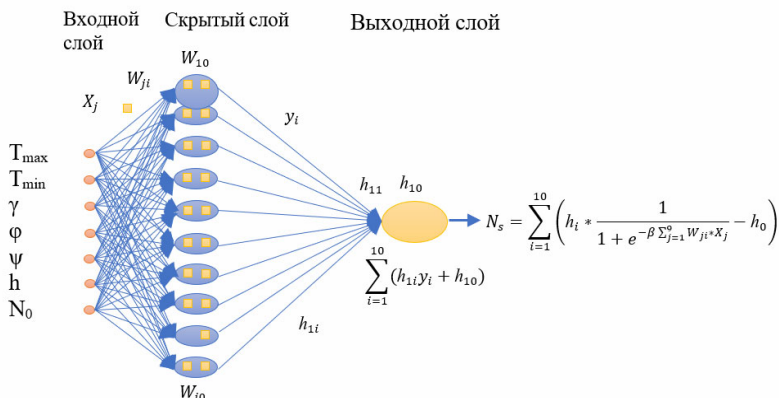


Рисунок 1 – Архитектура трехслойной нейронной сети с 7-ю входными сенсорными нейронами

**Закключение.** Основой прецизионного земледелия являются получение достоверной информации (массива данных) о состоянии сельскохозяйственного поля и создание оптимальных условий для роста и развития растений без нарушений норм экологической безопасности, т. е. внедрение технологии точного земледелия.

Таким образом, предложенный алгоритм внесения доз удобрений мобильной роботизированной сельскохозяйственной техникой на основе архитектуры трехслойной ИНС с семью входными параметрами имеет в вычислительном скрытом слое сигмоидную функцию активации, а в выходном слое линейную функцию активации, которая позволит получить зависимость дозы удобрения в почве с метеорологическими параметрами. Данная модель ИНС основана на показателях почвенной диагностики, предполагающий доведение содержания подвижных форм элементов питания в почве до оптимального уровня.

#### Список использованных источников

1. Точное земледелие – инвестиции в будущее [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agroin-form.ru>, 2015.
2. Якушев, В. П. Информационное обеспечение точного земледелия / В. П. Якушев, В. В. Якушев. – СПб.: ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.

3. Точное земледелие на вооружении у сельхозпроизводителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agro-inform.ru>, 2015.

4. Агрохимическое обследование в точном земледелии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agrophys.com>, 2015.

5. Шеуджен А.Х., Громова Л.И., Онищенко Л.М. Методы расчета доз удобрений: учеб. пособие / Кубан. гос. агр. ун-т. – Краснодар, 2010. – 61 с.

**Пыхтеева И.В., к.т.н., доцент, Журба В.Н., ст. преподаватель  
Мелитопольский государственный университет,  
г. Мелитополь, Россия**

**РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ  
УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ  
ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

Современные системы автоматического проектирования позволяют решать конструкторские задачи комплексно: от постановки задачи до получения чертежей и программ для оборудования (станков) с числовым программным обеспечением. В конечном итоге это позволяет в несколько раз ускорить не только выполнение чертежей, но и изготовление самих деталей.

Сначала создаем функцию для получения переменных `function GetPartVars`, эта функция получает ссылку на деталь с именем, и передает ссылку на список переменных этой детали. С помощью цикла передает ссылку на отдельное изменение [1,2].

Чтобы создать функцию для запуска КОМПАСа прописываем `function StartKompas`. Она определяет запущена ли программа. Если еще не запущена, то запускаем установленную версию, которая прописана в системе. Получаем ссылку на текущий документ, если уже открыт. Загружаем сборку, если такой документ сборки уже открыт, то закрывает его, и заново загружаем сборку. После всего активируем API.

Создаем процедуру для чтения переменных `procedure ReadParts`, которая получает ссылку на список деталей и число их. Проводим цикл по деталям и помещаем имя детали в список.

Далее создаем процедуру для изменения переменных `PROCEDURE ChangeVar`, что получает список деталей. Добавляем на форму `OpenDialog1`, `Error`, `StringGrid1` и `BitBtn1`.

Для StringGrid1 создаем метод StringGrid1SetEditText procedure TVal.StringGrid1SetEditText, предназначенный для проверки введенных значений на ошибки.

Для BitBtn1 создаем метод BitBtn1Click procedure TVal.BitBtn1Click, который начинает передачу КОМПАСу переменных по очереди.

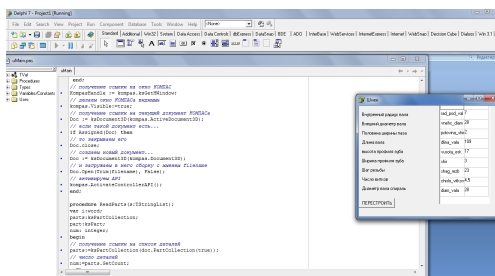


Рисунок 1 – Запуск программы

Далее создаем процедуру для изменения переменных PROCEDURE ChangeVar, что получает список деталей. Ищем деталь с заданным именем и получает список переменных детали. Ищем переменную с именем. Начинаем редактировать деталь, меняем значение переменной, обновляем модель. Завершаем редактирование детали с сохранением изменений. После обновляем сборку. Добавляем на форму OpenFileDialog, Error, StringGrid1 и BitBtn1. Для StringGrid1 создаем метод StringGrid1SetEditText, предназначенный для проверки введенных значений на ошибки. Для BitBtn1 создаем метод BitBtn1Click procedure TVal.BitBtn1Click, который начинает передачу компаса переменные поочередно. Сохраняет изменения в сборке. Mastercam - CAD / CAM-система для программирования фрезерной, токарной, токарно-фрезерной и электроэрозионной обработки, а также деревообработки, гравировки, раскроя и резки листового материала на соответствующем оборудовании. Для того, чтобы в дальнейшем получить управляющую программу на обработку детали необходимо для начала прочертить контур. Для того, чтобы это сделать нажимаем меню – Создать-Линия и в зависимости от того, какая линия необходима, выбираем горизонтальную, или вертикальную и указываю соответствующие

координаты. Далее назначаем параметры черновой отделки. Выбираем функцию "скопировать после". После этого переименуем первую операцию в Rough. Аналогично переименуем вторую операцию в Finish – это будет говорить, об окончании обработки.

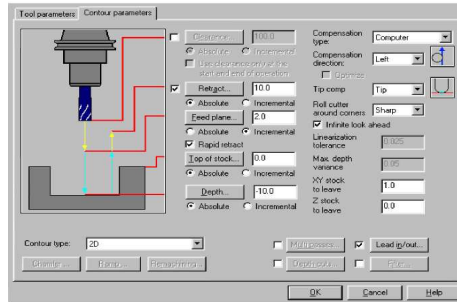


Рисунок 2 – Настройка инструмента для черновой обработки

В результате создания программы, при автоматизированном проектировании, пользователь имеет возможность менять необходимые параметры: диаметры, длину, конструктивные элементы вала. Для создания API выбранная программа Delphi. Приведены копии экрана детали до и после модификации. То есть проектировался модуль API для быстрой корректировки геометрии детали средствами системы автоматизированного проектирования «КОМПАС» и визуального оформления в среде Delphi. Была разработана управляющая программа для обработки детали вал-шестерня на станки с числовым программным обеспечением в Mastercam.

#### Список использованных источников

1. Мацулевич Ю.О. Загальна методика комп'ютерного геометричного моделювання профілів кулачків механізмів приводу шліфувальних головок зубозаточувальних верстатів / Ю.О. Мацулевич, О.В. Скорлупін, І.В. Пихтєєва // Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: зб. наук. праць XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. – Львів: ЛДУ БЖД, 2019. – С. 225–226.

2. Пыхтеева І.В. Вирішення задачі по визначенню технологічних параметрів процесу обтягування / І.В. Пыхтеева, О.В. Івженко, Д.В. Лубко. // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2019. – Вип. 19, т. 3 – С. 316–324.

**Пыхтеева И.В., к.т.н., доцент, Малюта С.И., к.т.н., доцент  
Мелитопольский государственный университет  
Мелитополь, Россия  
МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ  
В СРЕДЕ DELPHI**

Одним из способов повышения производительности труда является внедрение новых, научно обоснованных технологий и использование высокопроизводительных универсальных программ, которые обеспечивают заданные показатели качества выполнения технического процесса, направленных на решение задач повышения качества и сокращения времени на оптимизацию конструкции с применением автоматизированной системы инженерных расчетов.

Предлагается несколько систем визуального программирования. В первую очередь это Delphi XE, C++ Builder, VisualBasic, Visual C++. Наиболее полными, универсальными и часто используемыми системами являются Delphi XE и Builder C++ от Borland [2].

Для создания формы используется пункт меню File→New Form главного меню Delphi. После создания формы на ней можно размещать элементы управления. При запуске программы на экране монитора появляется главное окно программы (рисунок 1), на котором расположено Главное меню программы.

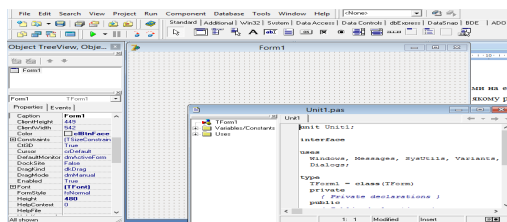


Рисунок 1 – Главное окно Delphi 7.

Для создания формы используется пункт меню File→New Form главного меню Delphi. После создания формы на ней можно размещать элементы управления. (рисунок 1).

В качестве операционной среды для функционирования программного комплекса была выбрана платформа Win64. нас интересуют следующие компоненты:

- Edit (3 штуки) – представляет собой однострочное текстовое поле, служащее для ввода данных пользователем.

- ComboBox (2 штуки) – представляет собой комбинацию списка строк ListBox со строкой ввода Edit.

- Label (7 штук) – предназначен для отображения статического текста.

- Button (1 штука) – используется для реализации в программе команд с помощью обработчика события OnClick этого компонента.

Размещаем их на форме таким образом, чтобы вырисовывался начальный интерфейс программы.

Теперь добавим недостающие компоненты (рисунок 2):

- Memo (1 штука) – простой текстовый редактор.

- RadioGroup (2 штуки) – группа зависимых переключателей.

- RadioButton (2 штуки) – компонент который служит для "переключения каналов", как и в настоящем радиоприемнике.

Теперь создаем новую форму, которая будет содержать базы данных со станками, и режущим инструментом.

DbGrid (2 штуки) – компонент, который отображает набор данных в формате электронной таблицы .

- Button (3 штуки).

- AdoConnection(2 штуки) – компонент, который связывает между собой все компоненты с приставкой ADO.

- AdoTable (2 штуки) – таблица ADO.

- DataSource (2 штуки) – не визуальный компонент, который обеспечивает связь с внешней БД (базой данных).

Добавим на нее необходимые компоненты.

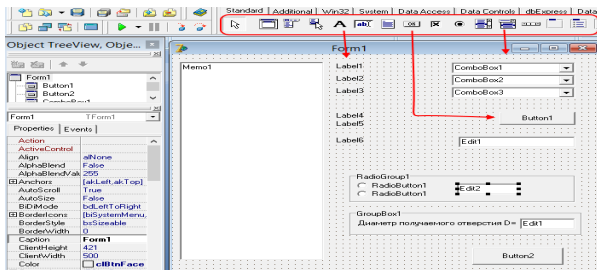


Рисунок 2 – Добавление компонентов в форму

Последними создадим формы авторизации и создания нового пользователя (рисунок 3). Добавляем форму и добавляем на нее так компоненты: Label (2 штуки), Edit (2 штуки), Button(2 штуки).

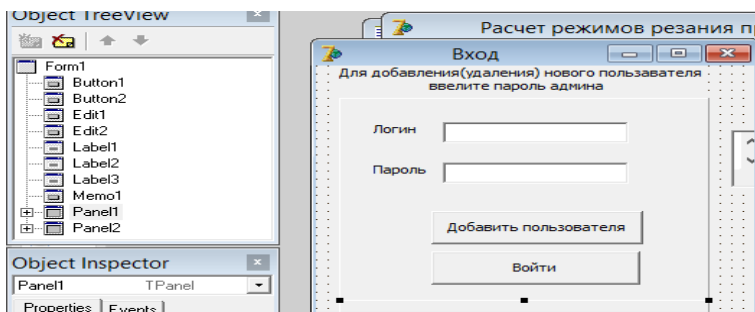


Рисунок 3 – Окно авторизации пользователя.

На форму добавления нового пользователя дополнительно необходимо включить компонент Мемо, который будет добавлять и считывать информацию из текстового документа usr.txt, который расположен в каталоге программы и содержит базу данных существующих пользователей.

Разработан интерфейс программного модуля в среде быстрой Delphi, который позволяет корректировки технических характеристик модели. На основе анализа существующих информационных источников в этой области были приняты оригинальные идеи, которые положены в основу работы. Произведена верификация программы. Выявлено, что созданный программный модуль полностью соответствует поставленной задаче и нет логических ошибок.

Список использованных источников.

1. Гофман В.С. Delphi. Быстрый старт [Текст] / В.С. Гофман, А.Д. Хомоненко: // БХВ-Петербург, 2003. – 327 с
2. Голяев С.С. Информатика: практичне керівництво [Текст] / С.С. Голяев, М.В. Вдовін, Р.Н. Правосудов. // М.: Принтком, 2009. – 432 с.

**Рябенко Л.А. студент 1 курса магистратуры,  
Соколов А.В., д.т.н., доцент, Журавлев А.В., д.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет  
инженерных технологий», г. Воронеж, Россия  
СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОЦЕССОМ СУШКИ ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛКИ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФИЛЕ ТИЛАПИИ**

За последние годы в РФ активно развивается аквакультура. Основная задача заключается в расширении ассортимента рыбной продукции, выращенной в условиях УЗВ. В условиях аквакультуры выращивается огромное множество различных видов рыб и морепродуктов. В число основных выращиваемых категорий рыб входят лососевые, карповые и растительноядные. Наравне с вышеперечисленными категориями рыб, в России и странах ЕАЭС разводят тилапию. Данная рыба пользуется спросом во всем мире и обладает высокими гастрономическими качествами: низкой калорийностью и высоким содержанием белка. На прилавках магазина мясо тилапии чаще всего представлено в виде филе мороженого.

Производство филе тилапии мороженого – это несколько этапов, которые проходят последовательно и связаны между собой. Основными стадиями производства являются: подготовка сырья, мойка и разделка рыбы, зачистка, мойка и закрепление филе, контрольная проверка на паразитарную чистоту, укладывание, замораживание и глазирование филе, распиловка крупных блоков филе для мелкой фасовки, упаковывание, маркирование, хранение [1].

После разделки рыбы остаются рыбные отходы: голова, молоки, икра, внутренний жир, кожа, косточки, хрящики, плавники, часть мягких тканей (при производстве филе). В данных частях рыбы содержится множество питательных элементов и их можно использовать по нескольким направлениям: для производства пищевой продукции и/или производства кормовой продукции.



Так как сырье относится к быстропортящемуся, для использования на пищевые цели необходимо применение эффективных методов и способов консервирования. Сушка в щадящих условиях является наилучшим способом максимального сохранения всех ценных пищевых компонентов сырья в течении длительного времени, что позволяет рационально использовать вторичные ресурсы рыбоперерабатывающей промышленности и расширять ассортимент пищевой рыбной продукции [2].

Процесс сушки можно производить разными способами: вакуум-сублимационным обезвоживанием и конвективной сушкой.

Для обеспечения высушивания поступающего дисперсного материала до необходимого влагосодержания можно использовать автоматический способ управления процессом сушки на сушилке с активным гидродинамическим режимом (рисунок 1).

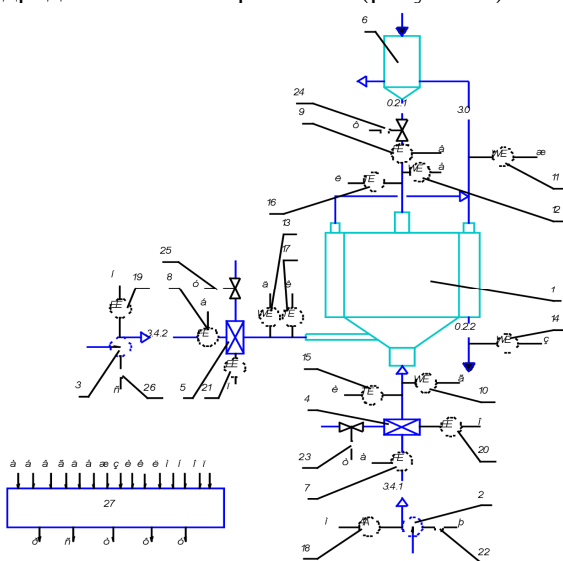


Рисунок 1 – Схема сушилки с активным гидродинамическим режимом

Предлагаемый способ автоматического управления процессом сушки дисперсного материала в активном гидродинамическом режиме имеет следующие преимущества:

- обеспечивает многоканальное управление по двум уровням, что позволяет повысить точность и надежность управления в наиболее оптимальных диапазонах изменения режимных параметров;
- за счет оперативного использования информации с датчиков влагосодержания исходного материала и высушенного в качестве корректирующих сигналов значительно снижается инерционность управления, то есть сужается интервал времени с момента получения информации о ходе сушки до подачи управляющего воздействия на исполнительные механизмы регулирования. При этом повышается чувствительность системы управления процессом на случайные возмущения со стороны работы оборудования, большую часть которых удастся полностью компенсировать, то есть повышается точность и надежность управления процессом сушки;
- позволяет получить готовый продукт высокого качества за счет оптимизации режимных параметров процесса сушки дисперсного материала в активном гидродинамическом режиме;
- обеспечивает снижение тепло-энергетических и материальных затрат на единицу массы готового материала [3].

#### Список использованных источников

1. Сборник технологических инструкций по обработке рыбы. Том 1. – М.: ВНИРО, 1992 год. – Текст : электронный // «Консультант плюс»: [сайт]. – 2013. – 5 окт. – URL:<http://www.consultant.ru/> (дата обращения 27.11.2022).
2. Сушка малоценных продуктов разделки рыб при производстве сухих основ для бульонов, супов и соусов быстрого приготовления / Л.В. Антипова, Ю.Н. Воронцова, А.Ю. Баранов, Е.В. Буданцев // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2012. – № 3(53). – С. 12–15. – EDN PJHXEL.
3. Антипов, С.Т. Способ автоматического управления процессом сушки в аппарате с активной гидродинамикой / С.Т. Антипов, А.В. Прибытков, А.В. Журавлев // Вестник Воронежской государственной технологической академии. – 2005. – № 10. – С. 184–185. – EDN ILAHBH.

**Сеньков А.Г., к.т.н., доцент,  
Немирович С.И., м.т.н., ассистент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ  
ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СЕЛЬСКОМ  
ХОЗЯЙСТВЕ**

Сельское хозяйство является одним из перспективных направлений в развитии технологии искусственного интеллекта. Наиболее широкое применение они получили в непрерывном контроле и наблюдении за стадом. Которое позволяет оценивать состояние животного в реальном времени. На выпасе по фотографиям с беспилотного летательного аппарата могут найти более удобные места для выпаса животных. Но чтобы это все хорошо работало необходимо обучить нейронную искусственную сеть (ИНС) на нужный результат и обрабатывать изображения. Но есть уже обученные нейронные сети, к примеру, ИНС Nvidia InPainting умеет удалять ненужные объекты на изображении, а Remove.bg умет удалять фон на объекте пример удаления фона на рисунке 1.



Рисунок 1 – работа ИНС Remove.bg

Но на этом обработка изображения у ИНС не заканчивается, они могут дорисовывать недостающие части или детали приближать и детализировать объекты. Но все же работу ИНС по изображениям можно классифицировать на: идентификацию, стилизацию, поиск совпадений, генерация изображения, семантика изображений [1-3].

Идентификация это простая ИНС которая определяет признаки и выдает сообщение, что изображено или разделяет на классы. С помощью этого можно находить на снимке корову и отличить ее от других животных. Затем с помощью поиска совпадений по конституции тела животного можно определить, что это нужная нам корова, а не другая т.к. ведутся работы по обучению нейросети определять идентификационный номер животных по изображению. Не каждое изображение сможет обработать нейросеть. Когда одинаковые объекты заполняют все пространство изображения, то она либо не может определить, что это или пытается выделить все и сразу из-за чего невозможно дальнейшая обработка изображения и получения необходимого результата.

Недостатками ИНС являются трудоемкое и время затратное мероприятие по обучению, которое не всегда дает нужный результат из-за плохой или маленькой выборки, так же не стоит обучать сеть на многозадачность, результат может быть неоднозначным. На данный момент большинство ИНС невозможно применять в системах реального времени из-за долгой обработки данных, да и результат не всегда предсказуем. Не стоит забывать, что ИНС это способ преобразования информации, а не машина способная мыслить.

#### Список использованных источников

1. Шаповалова, А.В. Практическое применение искусственных нейронных сетей в обработке графической информации / А.В. Шаповалова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2017. – № 10 (144). – С. 41–43.
2. Способы определения массы КРС / [Электронный ресурс] / Режим доступа:<http://oleg-inform.ru/opredelenie-zhivoj-massy-krs-promeram.html> Дата доступа – 20.04.2022.
3. Dai J., He K., Sun J. BoxSup: Exploiting Bounding Boxes to Supervise Convolutional Networks for Semantic Segmentation. [Электронный ресурс] URL: <https://arxiv.org/abs/1503.01640.html>.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ФАКУЛЬТЕТУ – 65 ЛЕТ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 3  |
| Полещук Л.Л., заместитель директора Департамента<br>по энергоэффективности Госстандарта<br>«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ» ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КАК<br>ВЕКТОР СИСТЕМНОЙ ПОЛИТИКИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ....                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 7  |
| Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, академик НАНБ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ПОЧЕТНЫЙ ПРОФЕССОР И.Ф. КУДРЯВЦЕВ – ОСНОВОПОЛОЖНИК<br>БЕЛОРУССКОЙ ШКОЛЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ<br>СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА .....                                                                                                                                                                                         | 12 |
| Кудрявцева В.И., к.социол.н., доцент УО «Белорусский государственный экономический университет», Минск, Республика Беларусь<br>НЕОРДИНАРНЫЙ УЧЁНЫЙ И ЛЮБИМЫЙ ОТЕЦ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 15 |
| Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент, Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., к.т.н. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В АПК<br>ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАНСФОРМАТОРОВ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ<br>СХЕМАМИ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК .....                                                                                                                   | 17 |
| Гируцкий И.И. <sup>1</sup> , д.т.н., доцент, Сеньков А.Г. <sup>2</sup> , к.т.н., доцент, Загинайлов В.И. <sup>3</sup> , д.т.н., профессор <sup>1</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь, <sup>2</sup> ТП «Центр радиотехники Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь, <sup>3</sup> РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, РФ<br>ЭТАПЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО<br>ХОЗЯЙСТВА ..... | 24 |
| <b>СЕКЦИЯ 1 ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АПК</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
| Базулина Т.Г. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ЗАЩИТА ВНУТРЕННИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С<br>ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ДУГОВЫХ ПРОБОЕВ ..                                                                                                                                                                                                                                                                        | 29 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Барайшук С.М. <sup>1</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Павлович И.А. <sup>1</sup> , Муродов М.Х. <sup>2</sup> , к.т.н., доцент <sup>1</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь, <sup>2</sup> Наманганский инженерно-строительный институт, Наманган, Республика Узбекистан |    |
| ПРИМЕНЕНИЕ ГРУНТ-ЗАМЕЩАЮЩЕЙ СМЕСИ ПРИ МОНТАЖЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ В РАЙОНАХ С ВЫСОКИМ УДЕЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ГРУНТА .....                                                                                                                                                                                                   | 31 |
| Болтянская Н.И., к.т.н., доцент, Кашпор К.А., бакалавр, Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия                                                                                                                                                                                                         |    |
| ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗВИТИЕ МИРОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЫНКА .....                                                                                                                                                                                                                                                             | 34 |
| Болтянская Н.И., к.т.н., доцент, Кашпор Н.А., бакалавр Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия                                                                                                                                                                                                          |    |
| ПРЕИМУЩЕСТВА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КЛАСТЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ .....                                                                                                                                                                                                                                             | 37 |
| Дайнеко В.А., к.т.н., доцент, Прищепова Е.М., к.т.н., Базулина Т.Г., Крупеня В.И. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                |    |
| ВЫБОР И ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА .....                                                                                                                                                                                                                                      | 40 |
| Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., к.т.н., Янукович Г.И., к.т.н., профессор УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                        |    |
| СООТНОШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ ТРАНСФОРМАТОРА «ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК С ЗИГЗАГОМ» .....                                                                                                                                                                                                               | 43 |
| Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., к.т.н., УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                         |    |
| КОМПЕНСАЦИЯ МДС И МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В ТРАНСФОРМАТОРЕ «ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК С ЗИГЗАГОМ» .....                                                                                                                                                                                                          | 46 |
| Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., к.т.н., Г.И. Янукович, к.т.н., профессор УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                        |    |
| ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗКИ НА ПЕРВИЧНЫЕ И ВТОРИЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА «ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК С ЗИГЗАГОМ» .....                                                                                                                                                                                                          | 49 |
| Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., к.т.н. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                          |    |
| СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА «ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК С ЗИГЗАГОМ» ДЛЯ ТОКОВ ПРЯМОЙ, ОБРАТНОЙ И НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ .....                                                                                                                                                                                                   | 52 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Зеленькевич А.И., к.т.н., Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Жидович А.А.,<br>Матреничев Е.А., Коротышевский Е.Ю. УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ В<br>ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4 кВ МОЛОЧНО-ТОВАРНОЙ ФЕРМЫ ...            | 54 |
| Зеленькевич А.И., к.т.н., Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Кот В.К.,<br>Литовченко А.А., Олейников Д.А УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ<br>НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4 кВ МОЛОЧНО-<br>ТОВАРНОЙ ФЕРМЫ .....        | 57 |
| Зиганшин А.Г., аспирант, Димитриев А.А., аспирант, Михеев Г.М.,<br>д.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет»,<br>Чебоксары, Россия<br>ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ «БАЙПАС» КАК МЕТОДА<br>ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЛ 6-35 кВ<br>ПОСРЕДСТВОМ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ<br>ПОТРЕБИТЕЛЕЙ .....        | 60 |
| Иванов Д.М., ст. преподаватель, Грушин В.С., студент УО «Белорусский<br>государственный аграрный технический университет», Минск,<br>Республика Беларусь<br>ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ<br>МУНИЦИПАЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПУТЕМ<br>ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ<br>УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ ..... | 63 |
| Иванов Д.М., ст. преподаватель, Нефедов С.С., ст. преподаватель<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>НЕЗАВИСИМЫЙ СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРО-<br>МАГНИТНОГО МОМЕНТА И ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ<br>АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ .....                                    | 66 |
| Иванов Д.М., ст. преподаватель, Нефедов С.С., ст. преподаватель<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>ПРИМЕНЕНИЕ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО СЕКЦИОНИРОВАНИЯ<br>ВОЗДУШНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 6(10) кВ .....                                                           | 69 |
| Иванов Д.М., ст. преподаватель, Силоцкий А.С., ст. преподаватель<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>ВНЕДРЕНИЕ АСКУЭ ДЛЯ САДОВОДЧЕСКИХ ТОВАРИЩЕСТВ<br>РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ .....                                                                                 | 71 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ковалев В.А. <sup>1</sup> , к.т.н., доцент, Крутов А.В. <sup>1</sup> , к.т.н., доцент, Липницкий Л.А. <sup>2</sup> , к.т.н., доцент, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                 |    |
| БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ<br>УНИВЕРСИТЕТ, МГЭИ им. А.Д. Сахарова, Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                |    |
| ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИКТИВНОГО<br>ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В<br>АПК .....                                                                                                                                                                                                                  | 74 |
| Кудрявцева В.И., к.социол.н., доцент УО «Белорусский государственный<br>экономический университет», г. Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                  |    |
| КОСМОНОМИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:<br>ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПРОФИЛАКТИКА АВАРИЙНОСТИ НА<br>АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ И ОБЪЕКТАХ .....                                                                                                                                                                            | 77 |
| Miroshnichenko Ya., senior lecturer, Gvozdev A.V., assistant professor,<br>Boltianska N., assistant professor Melitopol State University, Melitopol,<br>Russia                                                                                                                                                     |    |
| MAIN PRINCIPLES OF ENERGY SAVING IN THE AGRO-INDUSTRIAL<br>COMPLEX .....                                                                                                                                                                                                                                           | 79 |
| Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., к.т.н.<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                   |    |
| ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СЕЛЕКТИВНЫХ ЗАЩИТ ...                                                                                                                                                                                                                                                                     | 82 |
| Равинский Н.А., ст. преподаватель, Иванов Д.М., ст. преподаватель<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                              |    |
| МЕТОДИКА ВЫБОРА МОДУЛЬНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ<br>ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ .....                                                                                                                                                                                                                                                     | 84 |
| Свешников А.Г., аспирант, Михеев Г.М., д.т.н., доцент ФГБОУ ВО<br>«Чувашский государственный аграрный университет», Чебоксары,<br>Россия                                                                                                                                                                           |    |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ УТЕЧКИ ЖИДКОСТИ ПУТЕМ АНАЛИЗА ТОКА<br>НАГРУЗКИ НАСОСА И ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ<br>ВОДОСНАБЖЕНИЯ В СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТАХ ...                                                                                                                                                                          | 87 |
| Селицкая О.Ю., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                  |    |
| К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ..                                                                                                                                                                                                                                                                   | 90 |
| Хорольский В.Я. <sup>1</sup> , д.т.н., профессор, Исупова А.М. <sup>2</sup> , к.т.н. <sup>1</sup> ФГАОУ<br>ВО Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь,<br><sup>2</sup> Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО<br>«Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде |    |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ УСТАНОВКИ ПУНКТОВ<br>АВТОМАТИЧЕСКОГО СЕКЦИОНИРОВАНИЯ В ПРОТЯЖЕННЫХ<br>РАДИАЛЬНЫХ ЛИНИЯХ 6–10 кВ .....                                                                                                                                                                                             | 93 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Юсубалиев Аширбай, д.т.н., Институт энергетических проблем,<br>г. Ташкент                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
| УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ<br>СЕТЕЙ 0,4–10 кВ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 96  |
| <b>СЕКЦИЯ 2 НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ<br/>ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АПК</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
| Андрейчик А.Е., ст. преподаватель, Клинцова В.Ф., ст. преподаватель<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
| ПРЕИМУЩЕСТВА БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 99  |
| Александрова А.А., ст. преподаватель, Симачкова М.С., ст. преподаватель,<br>Дулепова Ю.М., ст. преподаватель ГБОУ ВО «Нижегородский<br>государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино<br>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО<br>УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАГРЕВА ВОДЫ ЗА СЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ<br>ЭНЕРГИИ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                         | 101 |
| Арабей С.М., д.ф.-м.н., доцент, Станишевский И.В., к.ф.-м.н., доцент,<br>Слонская С.В., к.х.н., доцент УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
| ФОРМИРОВАНИЕ В СИЛИКАТНОМ НАНОРЕАКТОРЕ<br>ФОТОСТАБИЛЬНЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ ПРИМЕСНЫХ ЦЕНТРОВ<br>ЗАМЕЩЕННОГО АІ-ФТАЛОЦИАНИНА . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 104 |
| Барайшук С.М. <sup>1</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Голосов Д.А. <sup>2</sup> , к.т.н., доцент,<br>Михалкович О.М. <sup>3</sup> , к.ф.-м.н., Хуан Х.Л. <sup>4</sup> , магистр физики <sup>1</sup> Белорусский<br>государственный аграрный технический университет, Минск, Республика<br>Беларусь, <sup>2</sup> Белорусский государственный университет информатики<br>и радиоэлектроники, Минск, <sup>3</sup> Белорусский государственный<br>педагогический университет имени Максима Танка, Минск, Республика<br>Беларусь, <sup>4</sup> Чжоныданский педагогический университет, Чжоныдан, КНР |     |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОДЯЩИХ И<br>ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЛОЕВ СЕНСОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ<br>МИКРОБАЛОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ TI В V . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 107 |
| Вертель М. <sup>1</sup> , к.ф.-м.н., Барайшук С. <sup>2</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Туровец А. <sup>1</sup> ,<br>Щербак В. <sup>2</sup> <sup>1</sup> Институт физики, университета М. Кюри-Склодовской,<br>Люблин, Польша, <sup>2</sup> Белорусский государственный аграрный технический<br>университет, Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
| ФОРМИРОВАНИЕ САМООЧИЩАЮЩЕГОСЯ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО<br>ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 111 |
| Гаель И.А., ст. преподаватель, УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
| ГАЗИФИКАЦИЯ КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ С<br>ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И НЕТРАДИЦИОННЫХ<br>ИСТОЧНИКОВ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 114 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Гаель И.А., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
| ДРЕВЕСНЫЕ ОТХОДЫ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ В АПК . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 116 |
| Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, академик НАНБ, Клинцева В.Ф., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
| ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГО-ОБЕСПЕЧЕНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 118 |
| Герасимович Л.С., академик, Михайлов В.В., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
| СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И СВЕТОДИОДОВ ДЛЯ ТЕПЛИЦ . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 121 |
| Гурбанович А.В. <sup>1</sup> , Гурбанович А.В. <sup>1</sup> , Митюк В.И. <sup>1</sup> , к.ф.-м.н., Ткаченко Т.М. <sup>2</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Головчан А.В. <sup>3</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Вальков В.И. <sup>3</sup> , д.ф.-м.н., профессор, Суrowец З. <sup>4,6</sup> , д.ф.-м.н., Маширов А.В. <sup>5</sup> , к.ф.-м.н. <sup>1</sup> Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск, <sup>2</sup> Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь, <sup>3</sup> Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина, Донецк, <sup>4</sup> Институт физики Университета М. Кюри-Склодовской, Люблин, <sup>5</sup> Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, <sup>6</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна |     |
| МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ПНИКТИДАХ МАРГАНЦА . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 124 |
| Дворник Г.М., к.п.н., доцент, Крутов А.В., к.т.н., доцент, Зайцев Е.В, ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
| ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА РАЗВИТИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В АПК . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 127 |
| Зыкун А.С., Плискевич Е.В., Чеботарёв В.П., д.т.н., профессор УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
| ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА В ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИНАХ КАК СРЕДСТВО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 129 |
| Коровкина Н.П., к.п.н., доцент, Барашко О.Г., к.т.н., доцент, Кобринец В.П., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
| НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСВЕЩЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 132 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Кравцов А.М., к.т.н., доцент, Войтешонок П.Л., магистрант<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>г. Минск                                                                                                                                                             |     |
| ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ<br>ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ<br>ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ .....                                                                                                                                                                                    | 135 |
| Кузьмина Т.Н. <sup>1</sup> , ст. научный сотрудник, Кузьмин В.Н. <sup>1</sup> , гл. научный<br>сотрудник <sup>1</sup> ФГБНУ «Росинформагротех», рп Правдинский, Россия<br>Болтянская Н.И. <sup>2</sup> , к.т.н., доцент, <sup>2</sup> Мелитопольский государственный<br>университет, Мелитополь, Россия |     |
| ПРИРОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ УКРАИНЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ<br>НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ<br>ЭНЕРГИИ .....                                                                                                                                                                                                 | 137 |
| Попкова Н.А., Белорусский национальный технический университет,<br>Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                           |     |
| АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ<br>ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ<br>КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ .....                                                                                                                                                                                  | 140 |
| Пуртова А.С. Федеральное государственное бюджетное научное<br>учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,<br>г. Москва, Россия                                                                                                                                                           |     |
| РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ<br>ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ В ТРУДАХ<br>НАУЧНОЙ ШКОЛЫ АКАДЕМИКА СТРЕБКОВА Д.С. ....                                                                                                                                                                  | 143 |
| Романов И.Г., магистрант, Кравцов А.М., к.т.н., доцент УО «Белорусский<br>государственный аграрный технический университет», Минск,<br>Республика Беларусь                                                                                                                                              |     |
| УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ<br>ОБЪЕКТОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ: АКТУАЛЬНОСТЬ,<br>ПРОБЛЕМЫ, ПУТИ РЕШЕНИЯ .....                                                                                                                                                                             | 146 |
| Селюк Ю.Н., Бондарчук О.В., Дубкова А.В. УО «Белорусский<br>государственный аграрный технический университет», Минск,<br>Республика Беларусь                                                                                                                                                            |     |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКО-<br>ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ<br>БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК .....                                                                                                                                                                                 | 149 |
| Синица С.И., ст. преподаватель, Головач И.Н., аспирант УО «Белорусский<br>государственный аграрный технический университет», Минск,<br>Республика Беларусь                                                                                                                                              |     |
| ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ .....                                                                                                                                                                                                                                                          | 152 |

|                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Токарева А.Н., к.т.н., доцент, Демченко М.С., к.т.н., Грачева Н.Н., к.т.н., доцент Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград, Россия             |     |
| ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ ЗАКЛАДКИ В ГРУНТ ИСПАРИТЕЛЯ СИСТЕМЫ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛИЦЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ . . . . . | 155 |
| Цубанов И.А., Цубанова И.А., Гакало К.В. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                           |     |
| ОЦЕНКА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ЗЕРНОСУШЕНИИ . . . . .                                                                                              | 158 |
| <b>СЕКЦИЯ 3 ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В АПК</b>                                                                                                                    |     |
| Белов Е.Л., к.т.н., доцент, Шаронова Т.В., к.т.н., доцент, Петров А.Ю., магистрант Чувашский государственный аграрный университет, г. Чебоксары                                  |     |
| РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА ПОЧВЫ ТЕПЛИЦЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ . . . . .                                                                                                 | 161 |
| Бондарчук О.В. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                     |     |
| УСТАНОВКА ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ ПЕРЕД СОЛОДОПРОИЗВОДСТВОМ . . . . .                                                                                              | 164 |
| Бондарчук О.В. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                     |     |
| СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ЗАГРУЖЕННОЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОАКТИВАТОРА . . . . .                                                                                                      | 167 |
| Гвоздев А.В., к.т.н., Клевцова Т.А., к.т.н., Старовойт Н.А., аспирант, Зайцев Р.Р., аспирант Мелитопольский государственный университет, г. Мелитополь, Россия                   |     |
| ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЕГО СЕПАРАЦИЕЙ . . . . .                                                                                                       | 169 |
| Гвоздев А.В., к.т.н., доцент, Мирошниченко Я.А., аспирант Мелитопольский государственный университет, г. Мелитополь, Россия                                                      |     |
| ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СМЕСИТЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ТИПА . . . . .                                                                                                                       | 172 |
| Домбровская Я.П., к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж                                                            |     |
| МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБА С ВОДНО-МЕДОВЫМ ЭКСТРАКТОМ ТРАВЫ ЗВЕРОБОЯ, СБРОЖЕННЫМ МОЛОЧНОКИСЛЫМИ БАКТЕРИЯМИ . . . . .                               | 175 |

|                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Дубодел И.Б., к.т.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент, Кардашов П.В., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                        |     |
| ВОЗМОЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ pH ВОДНЫХ РАСТВОРОВ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ .....                                                                                                                        | 178 |
| Заяц Е.М., д.т.н., профессор, Янко М.В. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                        |     |
| ДИСМУТАЦИЯ АЭРОИОНОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ .....                                                                                                                                                              | 181 |
| Кардашов П.В., к.т.н., доцент; Корко В.С., к.т.н., доцент; Дубодел И.Б., к.т.н., доцент; Мрыхин Ф.И., аспирант УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь |     |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ .....                                                                                                                                    | 184 |
| Клевцова Т.А., к.т.н., Гвоздев А.В., к.т.н., Зайцев Р.Р., аспирант Мелитопольский государственный университет, г. Мелитополь, Россия                                                                         |     |
| СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА .....                                                                                                                                                               | 187 |
| Ключников А.И., д.т.н., доцент, Ключникова Д.В., к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж                                                         |     |
| ПРИМЕНЕНИЕ НЕПРОНИЦАЕМЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ТРУБЧАТЫХ МЕМБРАННЫХ МОДУЛЕЙ ...                                                                                                                    | 190 |
| Кривовязенко Д.И., к.т.н., Заяц Е.М., д.т.н., профессор, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                       |     |
| ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИИ НА ВЫДЕЛЕНИЕ БЕЛКОВ ИЗ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ .....                                                                                                                             | 192 |
| Крутов А.В., к.т.н., доцент, Дворник Г.М., к.п.н., доцент, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                     |     |
| ДЕКОНТАМИНАЦИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ УЧРЕЖДЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ .....                                                                                                         | 195 |
| Крутов А.В., к.т.н., доцент, Ковалев В.А., к.т.н., доцент, Крылова Н.Г., к.ф.-м.н., доцент, Скочек И.И. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь        |     |
| ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ МАСТИТА У КОРОВ .....                                                                                                                                                      | 198 |
| Крылова Н.Г., к.ф.-м.н., доцент, Крутов А.В., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                   |     |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОЛОКА В НИЗКОЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ .....                                                                                                                                  | 201 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Кудинович А.Н., м.т.н., Ищенко Д.О. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ВЕНТИЛИРОВАНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 204 |
| Кульнева Н.Г., д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж, РФ<br>Журавлев М.В., к.т.н. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», г. Москва, РФ<br>ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СВЕКЛОВИЧНОЙ ТКАНИ ПЕРЕД ЭКСТРАГИРОВАНИЕМ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 206 |
| Лубинский Н.Н., к.х.н., Слонская С.В., к.х.н., доцент Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь<br>КОБАЛЬТИТЫ ЛАНТАНА, НЕОДИМА КАК МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ ГАЗОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 209 |
| Мухаммадиев А., д.т.н., профессор, Юсупов Д.Р., доцент, Эргашев Г.М., Юлдашев Р. Наманганский инженерно-строительный институт, г. Намаган, Республика Узбекистан<br>ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ КАРТОФЕЛЯ С ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБРАБОТКАМИ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 212 |
| Нефедов С.С., ст. преподаватель, Иванов Д.М., ст. преподаватель, Щепко Н.Ю., студент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 215 |
| Новикова Г.В. <sup>1</sup> , д.т.н., профессор, Просвирякова М.В. <sup>2</sup> , д.т.н., доцент, Горячева Н.Г. <sup>3</sup> , к.т.н., доцент, Михайлова Е.Д. <sup>4</sup><br><sup>1</sup> ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, <sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, <sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России», г. Москва, <sup>4</sup> ВФ ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Чебоксары<br>ХМЕЛЕСУШИЛКИ С СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ЭНЕРГОПОДВОДОМ ..... | 218 |
| Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Прищепова Е.М., к.т.н., Зеленкевич А.И., к.т.н., Петрович В.Л. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ДИАПАЗОН ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКЕ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 221 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Прищепова Е.М., к.т.н., Крупенья В.И. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ И КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА . . . . .                                                                                                                                                                                       | 225 |
| Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Рутковский И.Г., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ЭЛЕКТРОДАХ ПРОТОЧНЫХ МНОГОЗОННЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ . . . . .                                                                                                                                                                                  | 228 |
| Проскурина О.П., к.т.н., доцент, Лыткина Л.И., д.т.н., профессор, Ожерельева О.Н. к.т.н., доцент, Шуваева Г.П., к.б.н., доцент, Свиридова Т.В., к.б.н., доцент ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Россия<br>СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ ЗАДАННОЙ КРУПНОСТИ . . . . .                                                                                                                                             | 232 |
| Равинский Н.А., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь<br>ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ЧАСТОТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ                                                                                                                                                                                                                                             | 234 |
| Рутковский И.Г., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАТА ОТ ЕГО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ . . . . .                                                                                                                                                                                                                            | 236 |
| Сергиевич О.А. <sup>1</sup> , к.т.н., Дятлова Е.М. <sup>1</sup> , к.т.н., доцент, Шевченко А.А. <sup>2</sup> , к.т.н., доцент <sup>1</sup> Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, <sup>2</sup> Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАОЛИНОВ РБ В АПК . . . . . | 239 |
| Сухарев И.Н., доцент, к.т.н., Мироненко Д.А., студент, Усков А.И., студент, Рябенко Л.А. студент, Столяров И.М. студент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж<br>ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАКУУМ-АППАРАТОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ УВАРИВАНИЯ УТФЕЛЯ В СВЕКЛОСАХАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ . . . . .                                                                                                                             | 242 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Юсубалиев Аширбай, д.т.н., профессор, Институт энергетических проблем, Ташкент Шарипов Шерзод Насим угли Бухарский инженерно-технологический институт, г. Бухара                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
| НАКОПЛЕНИЕ ЗАРЯДА В СЕМЕНАХ ПРИ ДВИЖЕНИИ В НЕРАВНОМЕРНОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 245 |
| Янко М.В., Заяц Е.М., д.т.н., профессор УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
| ЭЛЕКТРОННО-ИОННАЯ АКТИВАЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ SACCHAROMYCES CEREVISIAE . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 248 |
| <b>СЕКЦИЯ 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
| Авцинов И.А., д.т.н., профессор; Суханова Н.В., к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСТРОЙСТВ С ГАЗОВОЙ СМАЗКОЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОПЕРАЦИЙ МАНИПУЛИРОВАНИЯ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 251 |
| Барашко О.Г., к.т.н., доцент, Кобринец В.П., к.т.н., доцент, Коровкина Н.П., к.п.н., доцент УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
| АГРЕГИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ В MES-СИСТЕМАХ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 254 |
| Вотинцев М.В., аспирант 1 курса факультета энергетики и электрификации, научный руководитель: зав. кафедры, доцент Ниязов А.М., ФГБОУ ВО УдГАУ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
| РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЖИВОТНЫХ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 257 |
| Гируцкий И.И. <sup>1</sup> , д.т.н., доцент, Сеньков А.Г. <sup>2</sup> , к.т.н., доцент, Слимаков Д.Д. <sup>1</sup> , магистрант, Ербаев Е.Т. <sup>3</sup> , доктор PhD, и.о. доцента <sup>1</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь, <sup>2</sup> ГП «Центр радиотехники Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь, <sup>3</sup> НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Республика Казахстан |     |
| МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РОБОТИЗАЦИИ ДОЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРОВ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 260 |
| Диденко А.А., к.т.н., Христенко А.Г., к.т.н., доцент, Пшенов Е.А., к.т.н., доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный аграрный университет», г. Новосибирск                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
| АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАЗДАЧИ ЖИДКИХ КОРМОВ ТЕЛЯТАМ МОЛОЧНОГО ПЕРИОДА . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 263 |



|                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Дранников А.В., д.т.н., профессор, Егорова Г.Н., к.т.н., доцент, Дерканосова А.А., д.т.н., доцент, Бубнов А.Р., аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж |     |
| АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА АМИДОМИНЕРАЛЬНОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА . . . . .                                                                                                                     | 265 |
| Ермаков А.Н., магистрант УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                         |     |
| МОДЕЛЬ ТЕПЛИЦЫ С УЧЕТОМ РЯДА КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ . . . . .                                                                                                                                                  | 268 |
| Ермаков А.Н., магистрант, Слимаков Д.Д., магистрант УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                              |     |
| МОДЕЛЬ ДВУХПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С АДАПТАЦИЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПО ПРОГНОЗУ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ . . . . .                                                                                 | 271 |
| Жур А.А., ст. преподаватель, Павловский В.А., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                  |     |
| ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ». . . . .                                                                                                       | 274 |
| Иванов Д.М., ст. преподаватель, Епифанов В.И., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                 |     |
| ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ . . . . .                                                                                                                      | 277 |
| Кобринец В.П., к.т.н., доцент, Барашко О.Г., к.т.н., доцент, Коровкина Н.П., к.п.н., доцент УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь                           |     |
| РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СУШКИ В БАРАБАННЫХ СУШИЛКАХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ . . . . .                                                                                            | 280 |
| Кондрукевич В.Ю., Жур А.А., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                    |     |
| АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЖИДКОГО КОРМЛЕНИЯ СВИНЕЙ . . . . .                                                                                                                                                  | 281 |
| Матвееenko В.В., к.ф.-м.н., доцент, Матвееenko И.П., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                              |     |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СВЧ-СУШКИ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА MATLAB . . . . .                                                                                                      | 284 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Матвеевко И.П., к.т.н., доцент, Кленовский О.М., УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                 |     |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ РЕГУЛЯТОРОВ ЯРКОСТИ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА В PROTEUS . . . . .                                                                                                                                                                                    | 287 |
| Матвейчук Н.М., к.ф.-м.н., доцент, Мякинник Е.Е., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                              |     |
| ВЫБОР ТИПА РЕГУЛЯТОРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО НАСТРОЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ . . . . .                                                                                                                                           | 290 |
| Матвейчук Н.М. <sup>1</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Цагельник С.Н. <sup>2</sup> <sup>1</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь, <sup>2</sup> УП «Агрокомбинат «Ждановичи», Минск, Республика Беларусь |     |
| УДАЛЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА ТЕПЛИЧНОМ КОМБИНАТЕ . . . . .                                                                                                                                                   | 292 |
| Мойсеевич А.А., Бородин А.И., Якубовская Е.С. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                    |     |
| АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ КЕФИРНОЙ ЗАКВАСКИ КАК СПОСОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ . . . . .                                                                                                                                                                   | 295 |
| Мойсеевич В.М., Якубовская Е.С. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                  |     |
| ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ РОБОТА-ПОДГРЕБАТЕЛЯ КОРМОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВЫДАЧИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КОРМОВ . . . . .                                                                                                                                                  | 297 |
| Мякинник Е.Е., ст. преподаватель, Костикова Т.А., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                              |     |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУР СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ . . . .                                                                                                                                                                | 299 |
| Несенчук А.А., к.т.н., доцент Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                               |     |
| ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОБАСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИНТЕРВАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРНЕВОГО ПОДХОДА . . . . .                                                                                                                                             | 301 |
| Овсянников В.Ю. <sup>1</sup> , д.т.н., доцент, Бабенко М.С. <sup>2</sup> , к.т.н., инженер <sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж, <sup>2</sup> ООО «Воронежсельмаш», г. Воронеж                    |     |
| АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПАСТЕРИЗАЦИОННО-ОХЛАДИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ ДЛЯ МОЛОКА . . . . .                                                                                                                                                                        | 304 |

|                                                                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Опейко О.Ф., к.т.н., доцент    Белорусский национальный техниче-<br>ский университет, Минск, Республика Беларусь                                                                                          |     |
| ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ЗАДАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ<br>НЕЛИНЕЙНЫМ ОБЪЕКТОМ . . . . .                                                                                                                             | 307 |
| Pauliukavets S.A., PhD, assoc. prof., Velchenko A.A., PhD, assoc. prof.,<br>Tang Wenhao, MSc, Yang Shixin, PhD student «Belarusian National<br>Technical University», Minsk, Republic of Belarus          |     |
| ARCHITECTURE OF CONTROL UNIT OF A BRUSHLESS DC<br>MOTOR ON BASE OF NEURAL NETWORK . . . . .                                                                                                               | 308 |
| Павловский В.А. УО «Белорусский государственный аграрный<br>технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                          |     |
| МЕТОД    СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ    УПРАВЛЯЮЩИХ<br>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ<br>ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ<br>ПРОЦЕССОВ . . . . .                                                 | 311 |
| Павловский В.А., Попов Д.С. УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                              |     |
| ВАРИАНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ В СВИНАРНИКЕ . .                                                                                                                                                          | 314 |
| Павлюковец С.А., к.т.н., доцент, Вельченко А.А., к.т.н., доцент,<br>Чаплыгин Д.Ю., аспирант, У Синьсинь, аспирант Белорусский<br>национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь         |     |
| НЕЙРОСЕТЕВОЙ АЛГОРИТМ ВНЕСЕНИЯ ДОЗ УДОБРЕНИЙ . .                                                                                                                                                          | 315 |
| Пыхтеева И.В., к.т.н., доцент, Журба В.Н., ст. преподаватель<br>Мелитопольский государственный университет, г. Мелитополь, Россия                                                                         |     |
| РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ<br>ПРОГРАММЫ    ПРИ    АВТОМАТИЗИРОВАННОМ<br>ПРОЕКТИРОВАНИИ . . . . .                                                                                           | 318 |
| Пыхтеева И.В., к.т.н., доцент, Малюта С.И., к.т.н., доцент<br>Мелитопольский государственный университет Мелитополь, Россия                                                                               |     |
| МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ В<br>СРЕДЕ DELPHI . . . . .                                                                                                                                       | 321 |
| Рябенко Л.А., студент 1 курса магистратуры, Соколов А.В. д.т.н.,<br>доцент, Журавлев А.В., д.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Воронежский<br>государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж, Россия |     |
| СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ<br>СУШКИ ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФИЛЕ<br>ТИЛАПИИ . . . . .                                                                                        | 324 |
| Сеньков А.Г., к.т.н., доцент, Немирович С.И., м.т.н., ассистент УО<br>«Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь                                       |     |
| ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ<br>НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ . . . . .                                                                                                           | 327 |

Научное издание

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – ВАЖНЕЙШЕЕ УСЛОВИЕ  
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ АПК

Материалы

Международной научно-технической конференции,  
посвященной 65-летию агроэнергетического факультета  
и 100-летию И. Ф. Кудрявцева

*(Минск, 21–22 декабря 2022 года)*

Ответственный за выпуск *И. В. Протосовицкий*  
Компьютерная верстка *А. И. Зеленкевича*  
Дизайн обложки *Д. А. Пекарского*

Подписано в печать 16.02.2023. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 19,99. Уч.-изд. л. 15,63. Тираж 25 экз. Заказ 40.

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.