



Университет настоящих
профессий

**Красноярский
Государственный
Аграрный
Университет**

1952



СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУКА – ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

ЧАСТЬ 3

Материалы XXI Всероссийской студенческой научной конференции

12–13 марта 2026 г., Красноярск



Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Департамент образования и кадровой политики
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Красноярский государственный аграрный университет»



СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУКА – ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

Материалы XXI Всероссийской студенческой научной конференции
(12–13 марта 2026 г.)

ЧАСТЬ 3 – ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ И ЭНЕРГЕТИКИ

Секция 5. Техническое обеспечение агропромышленного комплекса
Секция 6. Энергетика, электротехнологии, автоматизация и энергосбережение в АПК

Электронное издание

Красноярск 2026

УДК 631
ББК 4я431
С 88

Ответственные за выпуск:
А.В. Коломейцев, М.В. Горелов

Редакционная коллегия:

В.С. Литвинова, канд. с.-х. наук, доцент;
Д.Д. Харбин, ст. преподаватель;
Н.В. Кузьмин, канд. техн. наук, доцент;
Н.М. Романченко, канд. техн. наук, доцент

С 88 Студенческая наука – взгляд в будущее [Электронный ресурс]: материалы XXI Всероссийской студенческой научной конференции (12–13 марта 2026 г.). Часть 3 / Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2026. – 185 с.

В третьей части представлены доклады, сделанные на XXI Всероссийской студенческой научной конференции, которая проходила в Красноярском государственном аграрном университете 12–13 марта 2026 г.

Предназначено для преподавателей, аспирантов, магистров и студентов сельскохозяйственных образовательных учреждений, специалистов сельского хозяйства.

УДК 631
ББК 4я431

Информация об опубликованных статьях размещена
на платформе научной электронной библиотеки eLIBRARY.ru.

Статьи публикуются в авторской редакции, авторы несут полную ответственность за содержание и изложение информации: достоверность приведенных сведений, использование данных, не подлежащих публикации, использованные источники и качество перевода. Издательство не несет ответственности за опубликованные материалы. Все материалы отображают персональную позицию авторов. Мнение издательства может не совпадать с мнением авторов.

© ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2026
© Авторы статей, 2026

СЕКЦИЯ 5. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

ПОДСЕКЦИЯ 5.1. СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 631.33

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ ПИТОМНИКОВОДСТВА: АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ВЫКОПОЧНЫХ МАШИН)

Аймалетдинова А.С.¹, студент

Трухачева В.С.², студент

Королева А.С.³, студент

^{1,2,3}Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева,
Москва, Россия

zdrasteidasti@mail.ru

Научный руководитель: Умнов Н.С., ассистент

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва,
Россия

zdrasteidasti@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы технического обеспечения специализированных питомников по выращиванию посадочного материала плодовых, лесных и декоративных культур. Актуальность темы обусловлена необходимостью снижения доли ручного труда и повышения сохранности корневой системы при выкопке саженцев. На примере выкопочных машин проведен анализ существующих конструкций, их классификация, выявлены достоинства и недостатки. Предложены пути совершенствования конструкций для повышения качества выкопки и адаптации к различным типам почв и возрастным группам растений.

Ключевые слова: питомниководство, техническое обеспечение АПК, выкопочная машина, посадочный материал, саженцы, механизация, корневая система, скребковый рабочий орган

Питомниководство является важнейшей отраслью агропромышленного комплекса, обеспечивающей посадочным материалом садоводство, лесное хозяйство и зеленое строительство. Качество саженцев напрямую зависит от условий их выращивания и, что не менее важно, от технологии выкопки. Повреждение корневой системы при извлечении растений из почвы приводит к снижению приживаемости, замедлению роста и даже гибели растений после пересадки [4].

Несмотря на общий прогресс в механизации АПК, техническое обеспечение питомников до сих пор характеризуется высокой долей ручного труда, особенно на операциях выкопки и сортировки посадочного материала. Существующие сельскохозяйственные машины часто не учитывают специфику питомников: хрупкость корневой системы, большой разброс размеров растений, необходимость работы в междурядьях с ограниченным пространством. Целью данной статьи является анализ современного состояния и перспектив развития специализированной техники для питомников на примере выкопочных машин как наиболее востребованного типа оборудования [1].

Питомники по производству посадочного материала существенно отличаются от обычных сельскохозяйственных полей. К основным особенностям, определяющим требования к технике, относятся: многообразие культур и возрастных групп. В одном питомнике могут выращиваться сеянцы (1-2 года), саженцы (2-4 года) и крупномеры (5-12 лет). Для каждой группы требуются разные режимы выкопки. Высокая стоимость продукции: повреждение даже небольшой партии саженцев ведет к значительным экономическим потерям. Ограниченная ширина междурядий: стандартные междурядья в школьном отделении питомника составляют 0,8-1,2 м, что ограничивает габариты применяемой техники. Почвенные условия: часто питомники располагаются на легких супесчаных почвах (для лучшего развития корней), которые, однако, подвержены осыпанию, что создает дополнительные сложности при выкопке. Сезонность работ: выкопка проводится в сжатые сроки (осенью и весной), когда почва имеет определенную влажность, влияющую на качество отделения корней от почвы.

Исходя из этих особенностей, техника для питомников должна обладать: маневренностью, возможностью регулировки параметров (глубина хода, интенсивность воздействия), щадящим воздействием на растения и высокой надежностью.

Выкопочные машины (выкопочные плуги) предназначены для подрезки корневой системы растений на заданной глубине и извлечения их из почвы для последующей выборки вручную или механизированным способом. По принципу действия и типу рабочего органа их можно классифицировать следующим образом [2].

Скребокковые (пассивные) выкопочные машины – наиболее распространенный и простой по конструкции тип машин. Основным рабочим органом является скоба (лемех) V-образной или плоской формы, которая подрезает пласт почвы с корнями на глубине 20-40 см [1]. Принцип работы: Тяговое усилие трактора передается на скобу, которая внедряется в почву, подрезает корни и приподнимает пласт. Саженцы остаются лежать на поверхности разрыхленного пласта или частично в нем. Достоинства: простота конструкции, низкая стоимость, высокая надежность, возможность работы на различных типах почв, низкие эксплуатационные затраты. Недостатки: высокое тяговое сопротивление (требуются тракторы мощностью от 80 л.с.), недостаточное рыхление почвенного пласта (корни часто остаются в комьях земли, что затрудняет выборку и повреждает их при отряхивании), невозможность регулировки интенсивности воздействия. Примеры моделей: ВО-0,7 (Россия), НВС-1,2 (Беларусь), а также навесные скобы кустарного производства, распространенные в небольших питомниках [3].

Более совершенный тип машин, в которых подрезанный пласт почвы дополнительно обрабатывается вибрационными или ротационными механизмами для отделения корней от почвы.

Вибрационные (грохотного типа) – после подрезки скобой пласт почвы попадает на вибрирующую решетку (грохот). Вибрация разрушает комья земли, и корневая система освобождается от почвенного субстрата. Саженцы остаются на решетке и укладываются в валок. Достоинства: лучшее качество отделения почвы, меньшее травмирование корней за счет исключения ручного отряхивания. Недостатки: более сложная конструкция, наличие дополнительного привода (от ВОМ трактора), риск повреждения корней при неправильной настройке амплитуды вибрации.

Ротационные – почвенный пласт поступает на вращающиеся роторы с пальцами или битерами, которые интенсивно разрушают комья и отбрасывают почву в сторону, оставляя растения на поверхности. Достоинства: высокая производительность, хорошая сепарация на легких и средних почвах. Недостатки: сложность конструкции, высокая энергоемкость, риск травмирования корней на тяжелых и каменистых почвах.

Анализ современного состояния выкопочных машин (таблица 1) показывает, что наиболее перспективными направлениями развития являются: учитывая разнообразие культур в питомнике, актуальным является создание модульных машин, позволяющих быстро менять рабочие органы в зависимости от типа растений и почвенных условий.

Например, базовая рама с возможностью навески пассивной скобы, вибрационной секции или роторного сепаратора.

Таблица 1 – Сравнительный анализ типов выкопочных машин

Параметр	Скребок машина (пассивная)	Вибрационная машина (активная)
Качество отделения почвы	Низкое	Высокое
Травмирование корней	Среднее (при ручной доработке)	Низкое (при правильной настройке)
Тяговое сопротивление	Высокое	Среднее
Сложность конструкции	Низкая	Средняя/Высокая
Производительность	Средняя	Высокая
Стоимость	Низкая	Высокая
Рекомендуемые почвы	Легкие и средние	Легкие и средние (для тяжелых требуется адаптация)

Современные вибрационные машины должны оснащаться системами, позволяющими плавно регулировать частоту и амплитуду колебаний в зависимости от: типа почвы (песок, суглинок, чернозем), влажности почвы, возраста и типа корневой системы (стержневая, мочковатая). Это позволит подобрать оптимальный режим для каждой партии растений, минимизируя повреждения.

Для снижения травмирования коры и корней целесообразно использовать рабочие органы с эластичным покрытием (полиуретан, резина) в зонах контакта с растениями. Особенно это актуально для роторных сепараторов и направляющих элементов.

Все больше питомников переходят на контейнерное выращивание посадочного материала. Для таких хозяйств необходимы специализированные машины для выемки контейнеров из траншей (при прикопке) или их перемещения. Однако традиционная выкопка из открытого грунта остается основной для крупномеров и лесных культур.

Перспективным является создание комбинированных агрегатов, выполняющих за один проход несколько операций: подрезку корней, сепарацию почвы, укладку растений в транспортную тару и даже первичную сортировку.

Выбор конкретного типа выкопочной машины должен основываться на масштабах производства, ассортименте культур и финансовых возможностях питомника [4].

Малые питомники и фермерские хозяйства (площадь до 5 га, ручная выборка). Оптимальным выбором будет простая и недорогая скребок машина (пассивная скоба). При небольших объемах ручная доочистка корней от земли экономически оправдана, а низкая стоимость техники позволяет быстро окупить вложения.

Средние питомники (площадь 5-20 га, широкий ассортимент). Рекомендуется приобретение вибрационной выкопочной машины. Дополнительные затраты на ее покупку окупаются за счет повышения качества продукции (лучшая приживаемость) и снижения затрат ручного труда на выборку и отряхивание саженцев.

Крупные питомниководческие комплексы (площадь свыше 20 га, промышленное производство). Необходимо применение высокопроизводительных роторных машин или комбинированных агрегатов с максимальным уровнем автоматизации. Также целесообразно использование техники на гусеничном ходу для снижения уплотнения почвы.

Техническое обеспечение питомниководческой отрасли АПК имеет свою специфику, обусловленную высокой стоимостью продукции и требованиями к сохранности корневой системы. Выкопочные машины являются ключевым звеном в технологической цепи производства посадочного материала [5].

Проведенный анализ показывает, что в данной нише сельхозмашиностроения наблюдается переход от простых пассивных орудий к более сложным активным системам. Наиболее перспективными направлениями развития являются создание вибрационных машин с регулируемыми параметрами, модульных конструкций и комбинированных агрегатов.

Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на изучение влияния режимов работы активных рабочих органов на сохранность различных типов корневых систем, а также на разработку адаптеров для работы на тяжелых почвах. Внедрение современных выкопочных машин позволит питомникам значительно повысить качество посадочного материала, снизить долю ручного труда и увеличить рентабельность производства, что в полной мере соответствует задачам импортозамещения и развития отечественного АПК.

Список литературы

1. Зангиев А.А. Технология механизированных работ в растениеводстве: учебник / А.А. Зангиев, А.В. Шпилько. – Москва: КолосС, 2019. – 448 с.
2. Попов В.М., Шевченко В.А. Технологии и технические средства для питомниководства // Вестник сельскохозяйственного развития. – 2023. – № 4 (35). – С. 56-62.
3. Завражнов А.И. Технология и техника в питомниководстве / А.И. Завражнов. – Москва: КолосС, 2020. – 320 с.
4. Кирюшин С.О., Смирнов П.А. Анализ повреждаемости корневых систем саженцев при механизированной выкопке // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14, № 1 (53). – С. 112-121.
5. Официальный сайт Ассоциации производителей посадочного материала [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ruspitomniki.ru/> (дата обращения: 03.03.2026).

КРИТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗДЕЛЕНИЯ В МУЛЬТИВИХРЕВОМ ВОЗДУШНОМ КЛАССИФИКАТОРЕ

Вдовина Виктория Александровна, студентка

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
vik.ktor.ria@mail.ru

Научный руководитель: Прец Мария Арнольдовна

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
precmari@gmail.com

Научный руководитель: Зинуров Вадим Эдуардович, кандидат технических наук

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
vadd_93@mail.ru

Аннотация. В агропромышленном комплексе процессы разделения мелкодисперсных материалов играют важную роль при очистке и подготовке зерна, порошков и различных продуктов растительного происхождения. Эффективность работы сепарационного оборудования во многом определяется характеристиками фракционирования частиц. Целью настоящего исследования является получение критериальных зависимостей, позволяющих прогнозировать границу разделения и селективность мультिवихревого воздушного классификатора. На основе численного моделирования процесса движения газодисперсного потока получены кривые фракционной эффективности. Для их описания использована логистическая функция, по параметрам которой определялись характерные размеры разделения. Обработка результатов позволила получить безразмерные корреляционные зависимости для расчета граничного размера разделения и индекса резкости сепарации. Полученные уравнения могут быть использованы при проектировании и оптимизации сепарационного оборудования для агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: воздушная сепарация; мультिवихревой классификатор; фракционная эффективность; численное моделирование; агропромышленный комплекс; разделение частиц

Процессы разделения и классификации сыпучих материалов широко применяются в агропромышленном комплексе при очистке зерна, подготовке порошкообразных продуктов и переработке сырья растительного происхождения. Качество разделения напрямую влияет на эффективность технологических операций, производительность оборудования и потери продукта. При обработке зерна и других дисперсных материалов часто применяются воздушные сепараторы и классификаторы, использующие различие аэродинамических свойств частиц [1, с. 270]. Одним из перспективных направлений совершенствования сепарационного оборудования является использование аппаратов с развитой вихревой структурой потока. Формирование вихревых зон позволяет интенсифицировать процессы разделения и повысить селективность фракционирования. В последние годы значительное внимание уделяется исследованиям многоступенчатых и мультिवихревых сепарационных устройств, в которых создается сложная структура течения газодисперсной смеси [2, с 20]. Процессы движения частиц в газовом потоке характеризуются значительной сложностью и зависят от большого числа факторов: скорости газа, плотности частиц, геометрии аппарата и структуры течения. Поэтому для анализа и оптимизации таких процессов широко применяются методы вычислительной гидродинамики (CFD) [3, с. 239].

Одной из задач исследования является получение обобщенных зависимостей, позволяющих прогнозировать характеристики разделения без проведения трудоемких расчетов. Для этого используются критериальные уравнения, связывающие параметры процесса с безразмерными характеристиками течения [4, с. 140]. Целью настоящей работы

является получение критериальных зависимостей для прогнозирования характеристик разделения частиц в мультивихревом воздушном классификаторе, применяемом в системах сепарации агропромышленного комплекса [5, с. 337].

В работе исследуется мультивихревой воздушный классификатор с соосно расположенными трубами [6, с. 1040]. Газодисперсный поток поступает во внутреннюю трубу и далее через щели попадает в межтрубное пространство, где формируется мультивихревая структура. В результате взаимодействия центробежных сил, аэродинамического сопротивления и гравитационных эффектов происходит разделение частиц по размеру. Характерным геометрическим параметром аппарата принят диаметр вихревой зоны. Исследование проводилось методом численного моделирования газодисперсного потока [7, с. 444]. По результатам расчетов для различных режимов работы аппарата были получены кривые фракционной эффективности, характеризующие вероятность попадания частиц определенного размера в крупную фракцию.

Для аппроксимации полученных зависимостей использовалась логистическая функция

$$E = E_0 + \frac{E_\infty - E_0}{1 + e^{-k_c(d-d_{50c})}}, \quad (1)$$

где E – фракционная эффективность, d – диаметр частицы, d_{50c} – граничный размер разделения, k_c – коэффициент крутизны кривой. Параметр d_{50c} соответствует размеру частицы, для которого вероятность попадания в крупную фракцию составляет 50 %. Для оценки селективности процесса разделения использовался индекс резкости сепарации

$$Sc = \frac{d_{75}}{d_{25}}, \quad (2)$$

где d_{75} и d_{25} – размеры частиц, соответствующие значениям эффективности 75 и 25 %.

По результатам моделирования была сформирована база данных, включающая значения граничного размера разделения и параметров кривых фракционной эффективности при различных режимах работы аппарата. В расчетах рассматривались частицы с различной плотностью, характерной для материалов агропромышленного комплекса. Для получения зависимостей результаты были представлены в безразмерной форме. В качестве безразмерного параметра, характеризующего границу разделения, использовано отношение d_{50} / d_s , где d_s – диаметр межтрубного пространства. Обработка результатов выполнялась методом логарифмической регрессии. В результате получена критериальная зависимость для расчета граничного размера разделения

$$d_{50c, \text{pred}} = 0,34296 d_s \text{Re}^{-0,309} \text{Fr}^{0,2204} \left(\frac{\rho_p}{\rho_g} \right)^{-0,5572}, \quad (3)$$

где ρ_p – плотность частиц, ρ_g – плотность газа.

Полученная зависимость показывает, что увеличение интенсивности потока приводит к уменьшению относительного размера отсечки. Это связано с усилением инерционных сил, способствующих более эффективному отделению мелких частиц. Одновременно увеличение плотности частиц повышает эффективность их отделения из потока.

Для оценки селективности процесса сепарации была получена зависимость для индекса резкости разделения

$$S_{c, \text{pred}} = 3,27008 \text{Re}^{-0,04348} \text{Fr}^{-0,1232} \left(\frac{\rho_p}{\rho_g} \right)^{0,0198}, \quad (4)$$

Анализ полученной зависимости показывает, что параметры режима оказывают сравнительно меньшее влияние на резкость разделения по сравнению с граничным размером отсечки. Это соответствует физике процесса сепарации, поскольку селективность разделения в большей степени определяется структурой вихревого течения внутри аппарата.

Полученные зависимости позволяют оценивать характеристики разделения частиц в мультивихревом воздушном классификаторе без проведения трудоемкого численного моделирования. Основным параметром, определяющим границу разделения, является интенсивность газового потока, характеризуемая безразмерными критериями движения. Положительное влияние увеличения плотности частиц на эффективность сепарации объясняется ростом инерционных сил, действующих на частицы в вихревом потоке. Более тяжелые частицы легче отделяются от газового потока и перемещаются к периферии аппарата. Результаты исследования показывают, что мультивихревая структура потока обеспечивает устойчивое разделение частиц при относительно широком диапазоне режимов. Это делает подобные аппараты перспективными для применения в системах воздушной сепарации агропромышленного комплекса.

Список литературы

1. Rhodes M. J. (ed.). Introduction to particle technology. – John Wiley & Sons, 2008.
2. Hoffmann A. C., Stein L. E., Bradshaw P. Gas cyclones and swirl tubes: principles, design and operation // Appl. Mech. Rev. – 2003. – Т. 56, № 2 – С. 28-29.
3. Michaelides E. E., Sommerfeld M., Van Wachem B. Multiphase flows with droplets and particles. – CRC Press, 2022.
4. Hetsroni G. Handbook of multiphase systems. – 1981.
5. Zinurov V. et al. Numerical Study of Vortex Flow in a Classifier with Coaxial Tubes // International Journal of Engineering & Technology Innovation. – 2022. – Т. 12, № 4.
6. Prets M. A. et al. Fractionation Efficiency of Fine Bulk Material in a Multi-Vortex Classifier when the Design Parameters Change // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2025. – Т. 59, № 4. – С. 1039-1044.
7. Cortes C., Gil A. Modeling the gas and particle flow inside cyclone separators // Progress in energy and combustion Science. – 2007. – Т. 33, № 5. – С. 409-452.

ОБЗОР ЭРОЗИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕПАРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ

Демина Юлия Николаевна, студент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Julia-nic2007@mail.ru

Научный руководитель: Якимов Николай Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

atrp_kgeu@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема эрозионного износа сепарационного оборудования, применяемого в агропромышленном комплексе при послеуборочной обработке зерна. Показано, что износ рабочих элементов сепараторов, возникающий при многократном соударении зерна, минеральных примесей, пыли и растительных остатков с поверхностями аппарата, приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик оборудования и снижению эффективности очистки зерновой массы. Обоснована целесообразность применения численного моделирования для прогнозирования зон повышенного износа и выбора рациональных подходов к оценке долговечности сепараторов. Проведен сравнительный анализ эрозионных моделей McLaury, DNV, Finnie, Generic Fluent и Ока. Установлено, что модель Ока является наиболее эффективной, поскольку наиболее полно учитывает параметры, необходимые для описания эрозионного износа сепараторов. Полученные данные могут применяться для продления срока службы агропромышленных сепараторов

Ключевые слова: эрозионный износ, сепарационное оборудование, агропромышленный комплекс, зерноочистительные сепараторы, численное моделирование, ANSYS Fluent, эрозионные модели, газо-твердый поток, Ока

Износ сепарационного оборудования в агропромышленном комплексе снижает эффективность подготовки зерна. Классические расчетные формулы не обеспечивают необходимой детализации для выявления критических зон износа. Наиболее эффективным решением задачи прогнозирования долговечности является численное моделирование. Целью данной работы является сравнительный анализ существующих расчетных моделей эрозии применительно к оборудованию сепарационного типа.

Послеуборочная обработка зерна является одной из наиболее важных операций в системе его производства, поскольку именно на данном этапе закладываются условия для дальнейшего сохранения качества и потребительских свойств продукции. Особое значение в структуре послеуборочных мероприятий имеет очистка зерновой массы, так как поступающее с поля зерно содержит различные примеси, частицы растительного происхождения, пыль [1, с. 225]. Наличие посторонних включений может привести к ухудшению качества продукции. В связи с этим качественная очистка зерна рассматривается как обязательная технологическая операция.

Эффективная очистка зерна в агропромышленном комплексе осуществляется в сепараторах, которые являются основным видом оборудования для разделения зерновой массы и примесей. В сепараторах происходит отделение посторонних включений от основного продукта по различию их физических свойств, таких как размер частиц, плотность, аэродинамические характеристики и форма. В процессе работы зерновая масса поступает в рабочую зону аппарата, где под действием воздушного потока, сит или других разделяющих элементов происходит выделение легких, крупных и мелких примесей. В

результате обработки повышается чистота зерна, снижается его засоренность и улучшаются условия последующего хранения и переработки [2, с. 1].

При обработке зерна сепарационные машины подвергаются эрозионному износу. Он возникает вследствие многократного соударения частиц зерновой массы и содержащихся в ней примесей с поверхностями рабочих элементов оборудования. В процессе сепарации зерно, частицы почвы, песка, пыли и растительных остатков перемещаются с определенной скоростью под действием воздушного потока и гравитации и взаимодействуют с конструктивными элементами аппарата. При ударе твердых частиц о металлические поверхности происходит постепенное разрушение поверхностного слоя материала, что приводит к уменьшению толщины деталей, изменению их геометрии и ухудшению эксплуатационных характеристик оборудования.

Наиболее действенным способом снижения эрозионного износа элементов сепарационного оборудования является предварительный анализ и прогнозирование интенсивности эрозии с использованием методов численного моделирования [3, с. 106]. Оно может быть реализовано с применением программного комплекса ANSYS Fluent, позволяющего исследовать структуру потока, траектории движения частиц и параметры их соударения с поверхностями аппарата. В программе доступно несколько стандартных моделей эрозии, которые можно выбрать в настройках.

Из-за сложности механизмов возникновения и широкого распространения эрозионного износа неудивительно, что не существует универсально принятой прогностической модели. Однако за годы исследований было разработано множество моделей эрозионного износа, каждая из которых ориентирована на описание различных типов эрозии, возникающих под воздействием разнообразных факторов и условий эксплуатации оборудования. Для выбора наиболее подходящей модели эрозии при численном моделировании износа сепарационного оборудования, применяемого в агропромышленном секторе, необходимо последовательно рассмотреть каждую из доступных моделей с точки зрения ее физической основы, области применения и условий, при которых она обеспечивает наиболее корректное описание процесса. Такой подход позволяет определить, какая из моделей в наибольшей степени соответствует особенностям эрозионного воздействия, характерного для данного типа оборудования.

Исходя из этого, представляется необходимым рассмотреть модели эрозионного износа, используемые в численном моделировании, с последующей оценкой их применимости к анализу износа сепарационного оборудования, эксплуатируемого в агропромышленном секторе.

Модель McLaury была разработана для случаев, где твердые частицы переносятся водой или суспензией. Следовательно, для моделирования эрозии агропромышленных сепараторов McLaury является наименее подходящей, так как недостаточно полно отражает особенности износа сепарационного оборудования

Модель DNV была разработана для прогнозирования эрозионного износа, возникающего при переносе песчаных частиц в системах добычи и транспорта нефти и газа. Наиболее часто она применяется для оценки эрозии трубопроводов, отводов, тройников и других элементов трубопроводной арматуры, по которым транспортируются потоки, содержащие абразивные частицы песка. Модель основана на эмпирических зависимостях, полученных в результате экспериментальных исследований песочных потоков. В зерноочистительных сепараторах иной тип формирования эрозии. Поэтому модель DNV не подходит для моделирования эрозионного износа сепарационного оборудования агропромышленного назначения.

Модель Finnie была разработана для описания эрозионного износа пластичных материалов при воздействии твердых частиц. Для моделирования эрозии агропромышленных сепараторов данная модель мало эффективна. Это связано с тем, что она описывает главным образом режущий механизм износа и наиболее корректно работает при малых углах удара частиц. В зерноочистительных сепараторах частицы зерна и примесей

сталкиваются с элементами аппарата под различными углами и в сложных вихревых потоках, поэтому механизм эрозии значительно сложнее и не всегда соответствует предпосылкам модели Finnie.

Модель Generic Fluent разработана как универсальная эмпирическая модель для расчета эрозии частицами в широком классе газо- и гидродинамических задач. Для сепараторов агропромышленного комплекса она является одним из наиболее удобных вариантов благодаря простоте реализации, гибкости настройки и возможности быстро выявлять зоны повышенного износа. Однако данная модель не специализирована под потоки зерновой пыли и растительных примесей, поэтому при отсутствии экспериментальной калибровки может дать не точные данные.

Модель Ока разработана для прогнозирования эрозионного износа металлических поверхностей при воздействии твердых частиц в газовых потоках. Она учитывает скорость и угол соударения частиц, их размер, а также твердость материала стенки, что обеспечивает более физически обоснованное описание процессов эрозии при воздействии твердых частиц в газовом потоке. Благодаря учету этих факторов модель считается одной из наиболее точных и широко применяемых для численного моделирования эрозии в оборудовании с газо-твердыми потоками, включая сепарационные аппараты. Хотя модель изначально создавалась для более широкого класса промышленных задач, она хорошо подходит для оценки износа элементов сепараторов агропромышленного комплекса.

В результате проведенного обзора установлено, что для анализа эрозионного износа сепарационного оборудования агропромышленного комплекса применение численного моделирования является наиболее обоснованным подходом, поскольку позволяет выявлять зоны максимального износа и учитывать особенности движения газо-твердого потока в рабочем объеме аппарата. Сравнительный анализ показал, что модели McLaury, DNV и Finnie в меньшей степени соответствуют условиям работы зерноочистительных сепараторов, так как были разработаны для иных сред, режимов течения и механизмов разрушения поверхности. Наиболее перспективными для рассматриваемой задачи являются модели Generic Fluent и Ока, из которых модель Ока представляется наиболее предпочтительной, поскольку она учитывает скорость и угол соударения частиц, их размер, а также свойства материала стенки, что обеспечивает более физически обоснованное описание эрозионного износа.

Список литературы

1. Begunov M. A., Koval V. S., Chernyakov A. V. Study of a pneumatic separator for grain cleaning //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 413. – С. 01023.
2. Stepanenko S. et al. Research of the process of air separation of grain material in a vertical zigzag channel //Journal of Central European Agriculture. – 2023. – Т. 24. – №. 1. – С. 225-235.
3. Pereira G. C., de Souza F. J., de Moro Martins D. A. Numerical prediction of the erosion due to particles in elbows //Powder Technology. – 2014. – Т. 261. – С. 105-117.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДОБЫЧИ МЕДНЫХ РУД В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

Дубинский Андрей Борисович, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия,

dubinskijandrej524@gmail.com

Научный руководитель: Романченко Наталья Митрофановна, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

girenkov@mail.ru

Аннотация. В статье представлены сведения о свойствах, способах получения и местах расположения в Красноярском крае месторождений медных руд, служащих для получения меди – важнейшего конструкционного и электротехнического металла, нашедшего применение в практике сельскохозяйственного и автотракторного машиностроения, в области электрооборудования и электротехнологий в агропромышленном комплексе.

Ключевые слова: конструкционные и электротехнические материалы, медь, бронзы, латуни, медные руды, месторождения

Основными конструкционными материалами, из которых изготавливают детали машин, в том числе и сельскохозяйственных, являются металлические сплавы – черные и цветные. Черные сплавы – стали и чугуны – обладают высокими прочностными свойствами и применяются чаще остальных. Но, в случае, наличия таких эксплуатационных требований к деталям, как их работа при повышенных нагрузках в неблагоприятных условиях, в качестве конструкционных материалов используют медь и ее сплавы.

Медь относится к тяжелым цветным металлам, она отличается высокой плотностью ($8,9 \text{ г/см}^3$) и очень высокими электропроводностью и теплопроводностью. Более 50 % выпускаемой меди используется в электротехнике и энергетике. К сожалению, механические свойства меди (прочность и твердость) делают ее неинтересной для изготовления деталей машин (таблица 1). Прочностные свойства меди повышают путем ее легирования, путем добавки в ее состав цинка, алюминия, железа, никеля, свинца, кремния и т.д., получая при этом медные сплавы, называемые латунями и бронзами. Механические свойства некоторых латуней и бронз приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические свойства меди и некоторых ее сплавов [1–3]

Металл, сплав	Предел прочности при растяжении σ_r , МПа	Относительное удлинение δ , %	Применение
Медь литая	150...200	15...25	Проводники электрического тока, детали электрических машин и приборов
Л68	300	40	Проволока, листы, трубы, поплавки карбюраторов двигателей, бачки радиаторов и др.
ЛС59-1	350	25	Листы, прутки, трубы, втулки, гайки, болты, зубчатые колеса, жиклеры, тройники, пробки и др.
БрО10	215...295 (в зависимости от вида литья)	4...8	Подшипники скольжения и детали арматуры

Важным свойством медных сплавов является и стойкость их против коррозии, особенно важной для многих деталей сельскохозяйственных машин, работающих во влажной атмосфере, влажной почве, растворах удобрений и гербицидов. По сравнению с латунями, бронзы обладают лучшими коррозионностойкими свойствами.

Стоит отметить и еще один аспект применения меди, производимый из нее медный купорос, используется в сельском хозяйстве в качестве фунгицида.

Красноярский край является одним из богатейших регионов Российской Федерации по наличию минерально-сырьевых ресурсов и ведущим по медносодержащему сырью.

При изучении дисциплины «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» в одном из модулей студенты направления «Агроинженерия» знакомятся с металлургическими аспектами получения важнейших металлов, но вопросы, относящиеся к получению меди и медных сплавов, вынесены на самостоятельное изучение.

К настоящему времени возникла необходимость актуализации этих вопросов, что делается силами участников студенческого научного кружка «Современные конструкционные материалы», работающего на кафедре общинженерных дисциплин Красноярского ГАУ.

Цель настоящей работы – анализ литературы и обобщение данных о современных медных месторождениях Красноярского края с целью дополнения электронного учебного курса «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», расположенного на платформе LMS Moodle [4].

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: проанализировать сведения о материально-сырьевой базе Красноярского края, используемой для получения меди и сплавов на ее основе.

Поставленные задачи решались при помощи методов научного исследования: анализа научной и учебной литературы по тематике исследования; анализа официальной статистической информации.

Для получения меди применяют медные руды, а также отходы меди и ее сплавов (лом). В рудах медь обычно находится в виде сернистых соединений, окислов или гидрокарбонатов.

Наибольшее промышленное применение имеют сульфидные руды (CuFeS_2 ; Cu_2S ; CuS), которые содержат 1...6 % меди [5]. На рис. 1 представлен образец сульфидной руды – халькопирита – из коллекции рудных минералов кафедры общинженерных дисциплин. Халькопирит (CuFeS_2), который относится к медистым колчеданам, является основным видом медной руды, которая добывается на месторождениях Красноярского края. Кроме меди, железа и серы в его состав входят примеси: Ni, Zn, SiO_2 , Al_2O_3 , CaO [5].



Рисунок 1 – Образец халькопирита

В Российской Федерации разведаны и разрабатываются 170 месторождений медных руд, запасы которых составляют 102,1 млн.т (по состоянию на январь 2024 г.), что составляет 8,8 % мировых запасов [6]. В стране действует развитый комплекс по переработке сырья – функционируют обогатительные фабрики для получения концентрата, содержащего до 35 % меди, который далее перерабатывается на металлургических заводах в рафинированную медь. По объему рафинированной меди Россия занимает 5 место (3,7 % выпуска) после Китая, Чили, Демократической Республики Конго и Японии.

Крупнейшие в России медные месторождения Октябрьское и Талнахское находятся в Красноярском крае в Норильском рудном районе (рис. 2), в совокупности здесь разведаны 32,6 млн.т сульфидных медно-никелевых руд, содержание меди в которых достигает 6,9 %. Аналогичные месторождения выявлены на юге Красноярского края (Кингашское и Верхнекингашское). В таблице 2 указана доля в запасах Российской Федерации основных месторождений Норильского района.

Таблица 2 – Запасы меднорудного сырья месторождений Норильского рудного района [6]

Месторождение	Доля в запасах Российской Федерации, %
Октябрьское	17,4
Талнахское	9,5
Масловское	1,1
Норильск 1	2,5

Добываемые руды являются комплексным сырьем, в них достаточное для переработки содержание никеля, кобальта, платиноидов, золота, цинка редких металлов, что определяет высокую рентабельность производства даже в условиях Крайнего Севера.

Предприятия по добыче и переработке медно-никелевых руд указанных месторождений Красноярского края принадлежат ПАО «ГМК «Норильский никель». В целом обеспеченность запасами компании превышает 70 лет. К 2030 г. «Норникель» намерен нарастить добычу на объектах Красноярского края за счет развития рудников, действующих на базе Октябрьского и Талнахского месторождений, а также проекта «Южного кластера», реализуемого на базе северной части месторождения Норильск I [6].

Вывод. Представленные в статье актуальные сведения о современном состоянии добычи и производства меди и медных сплавов могут быть использованы

для дополнения модуля «Металлургическое производство» электронного учебного курса «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», расположенного на платформе LMS Moodle [4, 8].



Рисунок 2 – Карта Красноярского края с указанием месторождений цветных металлов [7]

Список литературы

1. Романченко, Н.М. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Часть I. Материаловедение.*: учеб. пособие [Текст] / Н.М. Романченко; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2019. – 329 с.
2. Латунь по ГОСТ: классификация, свойства, химсоставы. – Текст: электронный // URL: <https://www.vekomet.ru/articles/latun-po-gost-klassifikatsiia-svoistva-khimsostavy/> (дата обращения 11.02.2026).
3. Марочник стали и сплавов. – Текст: электронный // URL: https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=1305 (дата обращения 13.02.2026).

4. Материаловедение, технология конструкционных материалов. – Текст: электронный // URL: <https://e.kgau.ru/mod/page/view.php?id=214719> (дата обращения 13.02.2026).

5. Романченко Н.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебное пособие. В 2 ч. Ч.2 [Текст] / Н.М. Романченко. – М.: ИНФРА-М, 2025. – 263 с.

6. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ДОКЛАД О СОСТОЯНИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ в 2023 году. – Текст: электронный // URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvenny_doklad_o_sostoyani_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/ (дата обращения 16.02.2026).

7. Минерально-сырьевая база Красноярского края. – Текст: электронный // URL: <https://museum.krasfond.ru/library/nedra-krasnoyarskogo-kraja/93-mineralno-syrevaya-baza-tsvetnykh-metallov-krasnoyarskogo-kraja.html> (дата обращения 16.02.2026).

8. Романченко Н.М. Исследование результатов студенческой научной работы для дополнения электронного учебного курса / Н.М. Романченко // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России [Электронный ресурс]: Материалы III Международной научной конференции. – Красноярск, 2022. – С. 308-301.

АБСОРБЦИОННЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ КАК ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Зинурова Карина Ирековна, студентка

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

karinarazakova14@gmail.com

Научный руководитель: Якимов Николай Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

atrp_kgeu@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к применению абсорбционных холодильных машин в системах холодоснабжения и кондиционирования. Показано, что интерес к таким установкам обусловлен возможностью использования низкопотенциальной и сбросной теплоты, а также тепловой энергии солнечных коллекторов. Рассмотрены наиболее распространенные рабочие пары, конструктивные схемы и направления повышения энергетической эффективности. Отмечено, что для объектов агропромышленного комплекса абсорбционные холодильные машины представляют практический интерес в тех случаях, когда имеется доступ к тепловым ресурсам, недоиспользуемым в традиционных компрессионных системах. Сделан вывод о перспективности применения данных машин в составе энергоэффективных инженерных систем АПК.

Ключевые слова: абсорбционная холодильная машина, АХМ, агропромышленный комплекс, энергосбережение, утилизация теплоты

Абсорбционные холодильные машины (АХМ) относятся к классу термотрансформаторных установок, в которых получение холода обеспечивается преимущественно за счет подвода теплоты, а не механической работы компрессора. В отличие от парокомпрессионных холодильных машин, в АХМ функцию повышения давления хладагента выполняет связка «абсорбер–насос–генератор», что позволяет использовать в качестве движущей силы низкопотенциальную теплоту различного происхождения. Именно эта особенность определяет устойчивый научный и практический интерес к абсорбционным циклам на протяжении многих десятилетий [1, с. 345].

Актуальность применения АХМ в настоящее время возрастает в связи с необходимостью сокращения удельного потребления электроэнергии, повышения энергетической автономности предприятий и более полного использования вторичных энергетических ресурсов. Для многих производственных объектов характерно наличие сбросной теплоты, которая в традиционных схемах фактически теряется. В таких условиях абсорбционные установки позволяют преобразовывать тепловую энергию в холодильный эффект, повышая общий коэффициент использования энергетических ресурсов. В обзорных исследованиях показано, что АХМ целесообразны там, где имеется доступ к горячей воде, пару, дымовым газам, солнечной теплоте либо иным источникам низко- и среднетемпературной энергии [2, с. 95].

Для агропромышленного комплекса данное направление представляет особый интерес. На объектах АПК потребность в холоде возникает при хранении овощей, фруктов, мясной и молочной продукции, при кондиционировании производственных помещений, а также в системах технологического охлаждения. Одновременно на ряде предприятий присутствуют котельные, сушильные установки, когенерационные модули, теплогенерирующее оборудование, а также сбросные тепловые потоки от различных технологических процессов. Следовательно, использование АХМ в составе инженерной

инфраструктуры АПК может рассматриваться как один из вариантов повышения энергоэффективности и снижения эксплуатационных затрат.

Наиболее распространенными рабочими парами в абсорбционных циклах являются $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ и $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$. Пара вода – бромид лития широко применяется в системах кондиционирования и холодоснабжения с температурами охлаждения выше 0°C , поскольку вода в данном случае выступает хладагентом, а бромид лития – абсорбентом [3, с. 1901]. К ее преимуществам относятся высокая степень промышленной освоенности, сравнительно простая реализация одноэффектных и двухэффектных схем, а также хорошие показатели энергетической эффективности при наличии стабильного теплового источника. Однако данные системы требуют вакуумного режима, чувствительны к подосу воздуха и кристаллизации раствора, что предъявляет повышенные требования к качеству эксплуатации и точности поддержания режимных параметров.

Другая базовая рабочая пара – аммиак–вода. Ее ключевым преимуществом является возможность получения более низких температур охлаждения, что делает такие машины пригодными не только для систем кондиционирования, но и для технологического холода и холодильного хранения. По данным обзорных работ, аммиачные абсорбционные установки являются перспективными в тех случаях, когда требуется отрицательная температура кипения хладагента и имеется тепловой источник умеренного потенциала. Вместе с тем такие системы отличаются большей сложностью аппаратного оформления, так как требуют применения узлов ректификации и очистки паров аммиака, а также более жесткого соблюдения требований безопасности [4, с. 683]. Поэтому выбор рабочей пары всегда должен определяться назначением установки и требуемыми температурными параметрами охлаждения.

С точки зрения конструктивной реализации наибольшее распространение получили одноэффектные, двухэффектные и диффузионно-абсорбционные схемы. Одноэффектные установки отличаются относительной простотой, устойчивостью конструкции и возможностью работы от источников теплоты более низкой температуры. Однако их коэффициент преобразования, как правило, ограничен. Двухэффектные схемы обеспечивают более высокий COP, но требуют более высоких температур греющего источника и характеризуются большей сложностью устройства. В научной литературе также рассматриваются усовершенствованные схемы с внутренней рекуперацией теплоты, дополнительными растворо-теплообменными аппаратами и оптимизированной организацией процессов в генераторе и абсорбере.

Следует отметить, что реальная эффективность АХМ в значительной степени определяется не только выбором схемы, но и интенсивностью процессов тепло- и массообмена. Именно абсорбер и генератор во многом определяют размеры установки, ее энергетические показатели и устойчивость работы. Поэтому в современных исследованиях большое внимание уделяется интенсификации контактных процессов, совершенствованию поверхностей теплообмена, использованию пленочных, струйных и распыливающих режимов течения раствора, а также оптимизации гидродинамики аппаратов. Для обзорной статьи это важно подчеркнуть, поскольку развитие АХМ в настоящее время связано не столько с принципиально новыми циклами, сколько с улучшением аппаратной реализации уже известных схем.

Отдельное направление исследований связано с интеграцией АХМ в системы, использующие солнечную энергию. В литературе показано, что солнечно-тепловые абсорбционные системы являются одним из наиболее проработанных вариантов экологически ориентированного холодоснабжения, особенно в условиях, когда максимум солнечной радиации совпадает с пиком холодильной нагрузки. Для объектов АПК такой подход может быть полезен в тепличных комплексах, на перерабатывающих предприятиях, в административно-бытовых корпусах, а также в системах сезонного хранения продукции. Однако широкое внедрение подобных решений по-прежнему ограничивается высокой

капиталоемкостью, необходимостью аккумулирования теплоты и сложностью регулирования в переменных климатических условиях.

Согласно современным обзорам, повышение энергетической эффективности АХМ достигается несколькими основными путями: совершенствованием схемы цикла, интенсификацией тепло- и массообмена, подбором новых рабочих пар, оптимизацией температурных режимов генератора, конденсатора, испарителя и абсорбера, а также гибридизацией с другими энергетическими системами [5, с. 710]. Практически это означает, что оценка целесообразности применения АХМ должна основываться не только на величине COP, но и на анализе доступности теплового источника, характера графика холодильной нагрузки, сезонности использования, стоимости обслуживания и требований к надежности оборудования.

Для агропромышленного комплекса важным преимуществом АХМ является возможность включения их в состав комплексных систем энергоснабжения и холодоснабжения. В частности, они могут работать совместно с котельными установками, когенерационными модулями, солнечными коллекторами, биотопливными теплогенераторами и другими источниками теплоты. Такой подход особенно актуален для удаленных или энергодефицитных объектов, где снижение электрической нагрузки имеет самостоятельное значение. Кроме того, использование АХМ позволяет в ряде случаев перераспределить энергопотребление между электрической и тепловой составляющими, что может быть экономически оправдано при соответствующей структуре тарифов и наличии дешевой теплоты.

Таким образом, абсорбционные холодильные машины не являются универсальной заменой компрессионным системам, однако в определенных условиях обладают существенными преимуществами. Их использование наиболее рационально там, где имеется доступ к побочным или возобновляемым тепловым ресурсам, а также где требуется снижение зависимости от электрической энергии. Для объектов агропромышленного комплекса это делает АХМ перспективным элементом энергоэффективных инженерных систем. Дальнейшее развитие данного направления связано с созданием более компактных и надежных аппаратов, интенсификацией процессов тепло- и массообмена, снижением капитальных затрат и адаптацией установок к переменным режимам эксплуатации.

Для объектов агропромышленного комплекса применение АХМ наиболее целесообразно в составе комплексных инженерных систем, где имеется возможность утилизации вторичных тепловых ресурсов. Дальнейшее развитие данного направления связано с совершенствованием аппаратов абсорбера и генератора, интенсификацией тепло- и массообменных процессов, а также снижением капитальных затрат на внедрение таких установок.

Список литературы

1. Srihirin P., Aphornratana S., Chungpaibulpatana S. A review of absorption refrigeration technologies // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2001. Vol. 5, No. 4. P. 343–372. DOI: 10.1016/S1364-0321(01)00003-X.
2. Siddiqui M.U., Said S.A.M. A review of solar powered absorption systems // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 42. P. 93–115. DOI: 10.1016/j.rser.2014.10.014.
3. Sun J., Fu L., Zhang S. A review of working fluids of absorption cycles // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16, No. 4. P. 1899–1906. DOI: 10.1016/j.rser.2012.01.011.
4. Wu W., Wang B., Shi W., Li X. An overview of ammonia-based absorption chillers and heat pumps // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 31. P. 681–707. DOI: 10.1016/j.rser.2013.12.021.
5. Nikbakhti R., Wang X., Hussein A.K., Iranmanesh A. Absorption cooling systems – Review of various techniques for energy performance enhancement // *Alexandria Engineering Journal*. 2020. Vol. 59, No. 2. P. 707–738. DOI: 10.1016/j.aej.2020.01.036.

ПРОВЕРКА ОСНОВНОГО ЗАКОНА ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Коротова Вероника Андреевна, студентка

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

korotovaveronica@yandex.ru

Николаенко Виктория Владимировна, студентка

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

viktorka.doc7@gmail.com

Куставинова Арина Алексеевна студентка

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

arinakustik94@gmail.com

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

Научный руководитель: Сакаш Ирина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

stella93@yandex.ru

Аннотация. В статье показана созданная вычислительная программа в среде программирования Delphi на языке Pascal, которая проводит расчеты по экспериментальным данным лабораторной работы по физике «Проверка основного закона динамики вращательного движения». Программа написана авторами под руководством преподавателя для облегчения вычисления конечного выражения.

Ключевые слова: физика, Pascal, Delphi, вычислительная программа, лабораторная работа, язык программирования

Студентам, будущим инженерам-программистам, необходимо изучать физику и программирование в вузе. Эти дисциплины изучаются на первом курсе. Они включены в блок дисциплин обязательной части. По физике есть выполнение лабораторных работ с использованием приборов.

Для того чтобы выявить уровень знаний у студента, необходимо провести эксперимент.

Цель данной работы – написать программу вычисления параметров по полученным в результате эксперимента данным лабораторной работы «Проверка основного закона динамики вращательного движения».

Вычислительная программа – комбинация компьютерных инструкций и данных, позволяющая аппаратному обеспечению вычислительной системы выполнять вычисления или функции управления.

Разработка программы начинается с постановки задачи, для выполнения которой нужна определенная модель. После нахождения нужной модели, необходимо определить план создания программы.

План – это алгоритм, на основе которого описываются этапы решения задачи. Алгоритмом – это совокупность правил, расположенных в правильном логическом порядке и которые позволяют решать однотипные задачи.

Проектирование и разработку программ надо разбить на ряд последовательных периодов:

- 1) постановка данной задачи;
- 2) проектирование;
- 3) построение модели;
- 4) разработка алгоритма задачи;
- 5) написание программы;

- 6) отладка программы;
- 7) тестирование программы;
- 8) документирование

Студенты группы Э-1.1-25о специальности «Информационные системы и программирование» Коротова Вероника Андреевна, Николаенко Виктория Владимировна и Куставинова Арина Алексеевна создали вычислительную программу в среде программирования Delphi на языке Pascal для проверки выполнения заданий лабораторной работы «Проверка основного закона динамики вращательного движения» (рис. 1, 2).

В форме написана тема в строке заголовка. Под кнопкой «Начать» есть цель работы. На рисунке 2 получаем вид формы программы после нажатия кнопки «Начать».

Данные массы и измеренные значения времени падения груза в результате эксперимента заносятся в правую таблицу (рис. 3). После этого нужно нажать кнопку «Заполнить» (рис. 3).

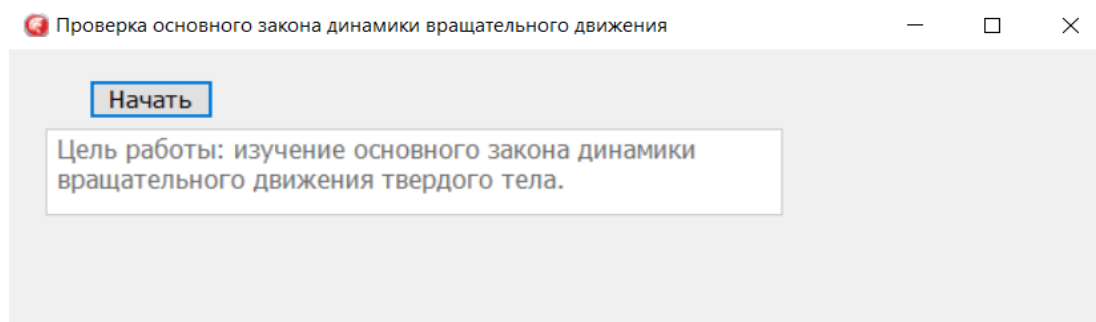


Рисунок 1 - Вид формы программы при ее открытии

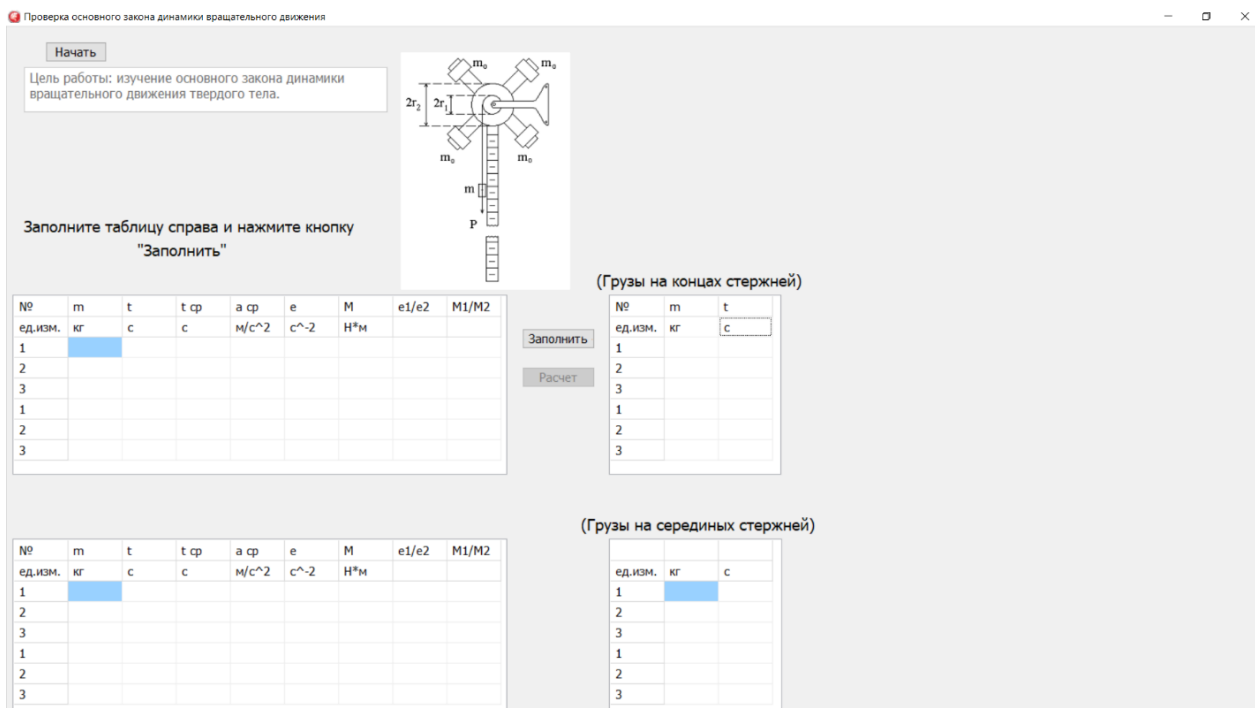


Рисунок 2 - Форма программы лабораторной работы при нажатии кнопки «Начать»

Таким образом, данные из таблицы эксперимента будут перенесены в главную таблицу слева, где в дальнейшем будут вычисляться следующие параметры: ускорение, угловое ускорение, момент силы, момент инерции. Затем необходимо нажать кнопку «Расчет» (рис. 4). Появятся вычисленные параметры работы. Числа в ячейках правой таблицы можно исправить, если занесли неверные данные. В правой таблице невозможно редактирование.

Написанная программа по «Проверка основного закона динамики вращательного движения» поможет нам в изучении правильности написания программ, а преподавателю проверить, правильно ли студенты сделали расчет параметров в лабораторной работе.

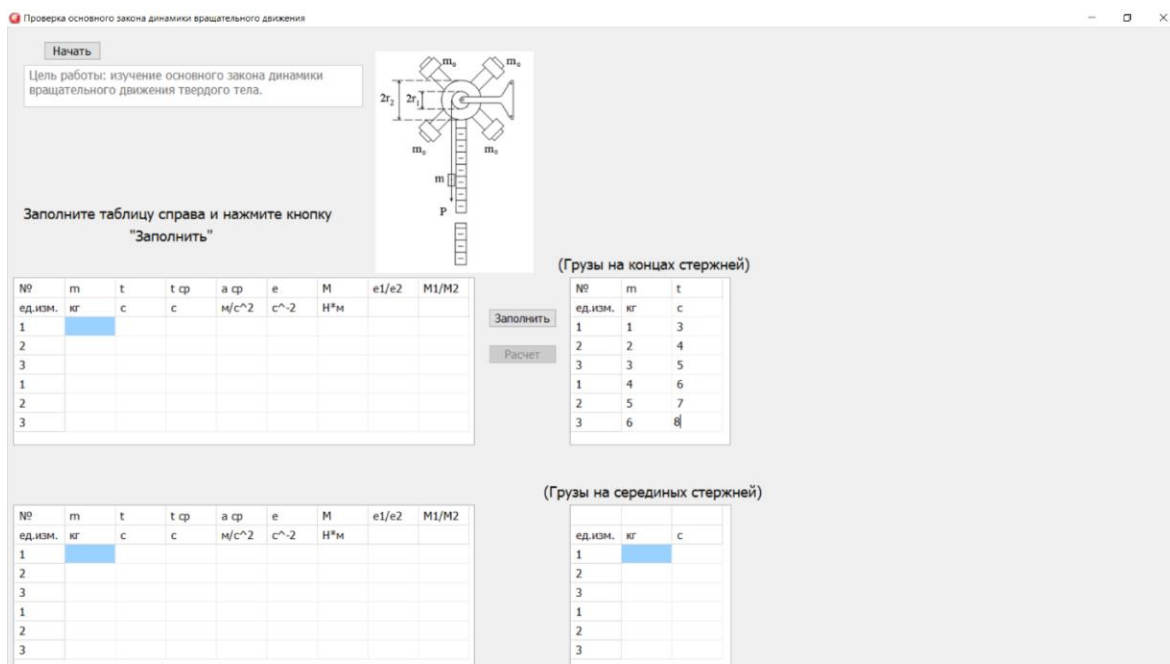


Рисунок 3 - Перенос числовых значений параметров, полученных экспериментально из правой таблицы в левую

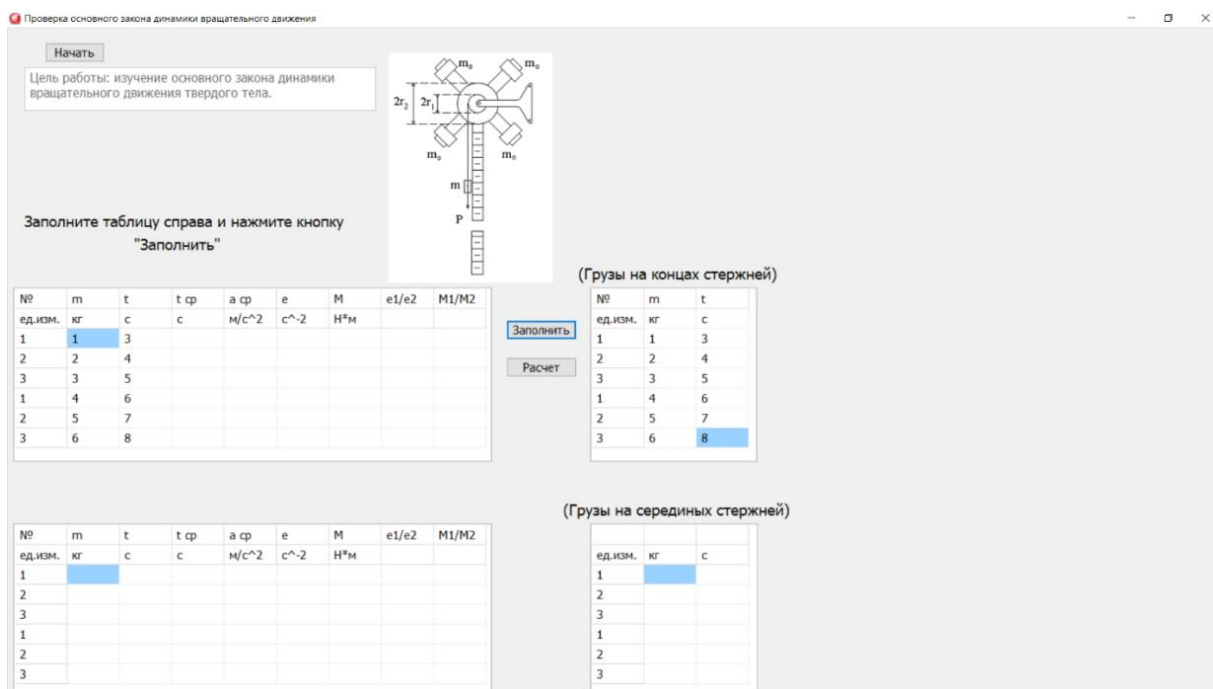


Рисунок 4 - Вид формы с перенесенными значениями параметров работы в основную таблицу

Такие же операции проводим и со второй таблицей.

Созданная программа помогла получить знания по написанию ее алгоритма, а также может быть использована преподавателем для проверки выполненной лабораторной работы.

Проверка основного закона динамики вращательного движения

Начать

Цель работы: изучение основного закона динамики вращательного движения твердого тела.

Заполните таблицу справа и нажмите кнопку "Заполнить"

(Грузы на концах стержней)

№	m	t	t _{ср}	a _{ср}	e	M	e1/e2	M1/M2
ед.изм.	кг	с	с	м/с ²	с ⁻²	Н*м		
1	1	3						
2	2	4	4	0,055	2,444444	0,438525		
3	3	5						
1	4	6					3,0625	0,398485
2	5	7	7	0,017955	0,798185	1,100475		
3	6	8						

Заполнить

Расчет

№	m	t
ед.изм.	кг	с
1	1	3
2	2	4
3	3	5
1	4	6
2	5	7
3	6	8

(Грузы на серединах стержней)

№	m	t	t _{ср}	a _{ср}	e	M	e1/e2	M1/M2
ед.изм.	кг	с	с	м/с ²	с ⁻²	Н*м		
1								
2								
3								
1								
2								
3								

Заполнить

Расчет

№	m	t
ед.изм.	кг	с
1		
2		
3		
1		
2		
3		

Рисунок 5 - Вычисление необходимых параметров лабораторной работы

Проверка основного закона динамики вращательного движения

Начать

Цель работы: изучение основного закона динамики вращательного движения твердого тела.

Заполните таблицу справа и нажмите кнопку "Заполнить"

(Грузы на концах стержней)

№	m	t	t _{ср}	a _{ср}	e	M	e1/e2	M1/M2
ед.изм.	кг	с	с	м/с ²	с ⁻²	Н*м		
1	1	3						
2	2	4	4	0,055	2,444444	0,438525		
3	3	5						
1	4	6					3,0625	0,398485
2	5	7	7	0,017955	0,798185	1,100475		
3	6	8						

Заполнить

Расчет

№	m	t
ед.изм.	кг	с
1	1	3
2	2	4
3	3	5
1	4	6
2	5	7
3	6	8

(Грузы на серединах стержней)

№	m	t	t _{ср}	a _{ср}	e	M	e1/e2	M1/M2
ед.изм.	кг	с	с	м/с ²	с ⁻²	Н*м		
1	5	1						
2	6	2	2	0,22	9,777777	1,2933		
3	7	3						
1	8	4					6,25	0,654045
2	9	5	5	0,0352	1,564444	1,977372		
3	10	6						

Заполнить

Расчет

№	m	t
ед.изм.	кг	с
1	5	1
2	6	2
3	7	3
1	8	4
2	9	5
3	10	6

Рисунок 6 - Вычисление необходимых параметров лабораторной работы

Список литературы

1. Культин Н. Б. Delphi в примерах и задачах / Н. Б. Культин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 288 с.
2. Краткий курс физики / А.В. Чжан [и др.]. – Красноярск: КрасГАУ, 2020. – 123 с.

КРИВЫЕ ВТОРОГО ПОРЯДКА В СОВРЕМЕННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Майоров Егор Константинович, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

egor.maior1231@mail.ru

Научный руководитель: Корниенко Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

kornienko-vv@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические положения и доказательства одной из важнейших метрических задач начертательной геометрии по определению формы сечений поверхности конуса вращения, как составной части деталей машиностроения.

Ключевые слова: коника, инженерный дискриминант, подера, касательная, эллипс, парабола, гипербола, фокус

Свойства кривых широко используются в различных механизмах, строительных и архитектурных конструкциях, многочисленных направлениях машиностроения, баллистике, оптике, радиоэлектронике и других областях науки и техники.

При помощи кривых можно наглядно проследить тот или иной процесс, понять сущность той или иной функциональной зависимости, исследовать закономерности, для которых еще не найдены аналитические выражения, придать наиболее целесообразные и эстетичные формы изделию. Многие кривые линии непосредственно реализуются в физических явлениях в природе. Простое знакомство с отдельными кривыми и их свойствами уже развивает пространственное и математическое мышление, обогащает сознание многообразными связями математической теории с конкретным опытом, способствует развитию изобретательской мысли.

Практика разработала много методов построения кривых: метод координат по уравнениям и данным алгебраического анализа, метод геометрических множеств, метод инверсии и другие. Полное раскрытие особенностей формы кривой и ее свойств возможно только когда кривая выражена в аналитической форме. В этом случае могут быть вычислены координаты любой ее точки с необходимой точностью.

Кривые линии – плоские и пространственные, классифицируют на математические (определяются уравнениями, заданными в определенной системе координат) и графические (определяются только их изображением). Математические, в свою очередь, делят на алгебраические (описываемые алгебраическими уравнениями в ортогональной системе координат) и трансцендентные (описываемые одноименными уравнениями в ортогональной системе координат) [2].

Порядок плоской алгебраической кривой определяется степенью уравнения, описывающего ее в системе прямоугольных координат после освобождения его от дробей и радикалов в виде многочлена n -й степени, или наибольшей из возможного числа действительных точек пересечения с компланарной с ней прямой. Для пространственной прямой это число точек пересечения с плоскостью. Трансцендентные кривые могут пересекаться с плоскостью или с компланарной с ней прямой, в конечном или бесконечном количестве точек.

К наиболее часто встречающимся на практике кривым относят плоские кривые второго порядка, получившие наименования конические сечения, квадратные кривые или «коники» (по названию конической поверхности 2-го порядка, пересечение которой плоскостями и дает семейство данных кривых). Все виды коник также можно получить в сечениях гиперболоидов – однополостного или двухполостного.

Существует три основных типа конических сечений: гипербола, парабола и эллипс; окружность является частным случаем эллипса, хотя иногда его называют четвертым типом. Конические сечения были известны еще математикам Древней Греции. Открытие конических сечений приписывают Менехму (1 в. до н. э.). Кульминацией этих исследований стала систематическая работа Аполлония Пергского об их свойствах около 200 г. до н. э. Считается, что именно он первым описал фокусы эллипса и гиперболы. Фокус параболы первым описал и вывел общее уравнение для конического сечения Папп Александрийский, как геометрическое место точек, для которых отношение расстояний до точки фокуса и директрисы постоянно.

Конические сечения в евклидовой плоскости обладают различными отличительными свойствами, многие из которых могут быть использованы в качестве альтернативных определений. Одно из таких свойств определяет некруглую конику как множество тех точек, расстояния до которых до некоторой конкретной точки, называемой фокусом, и некоторой конкретной прямой, находятся в фиксированном соотношении, называемом эксцентриситетом. Тип конического элемента определяется значением эксцентриситета [1].

В аналитической геометрии доказано, что коника определяется пятью независимыми геометрическими параметрами – пятью линейно независимыми точками (см. рис. 1, а), пятью касательными (см. рис. 1, б), или любой комбинацией из касательных и точек, удовлетворяющих указанным условиям.

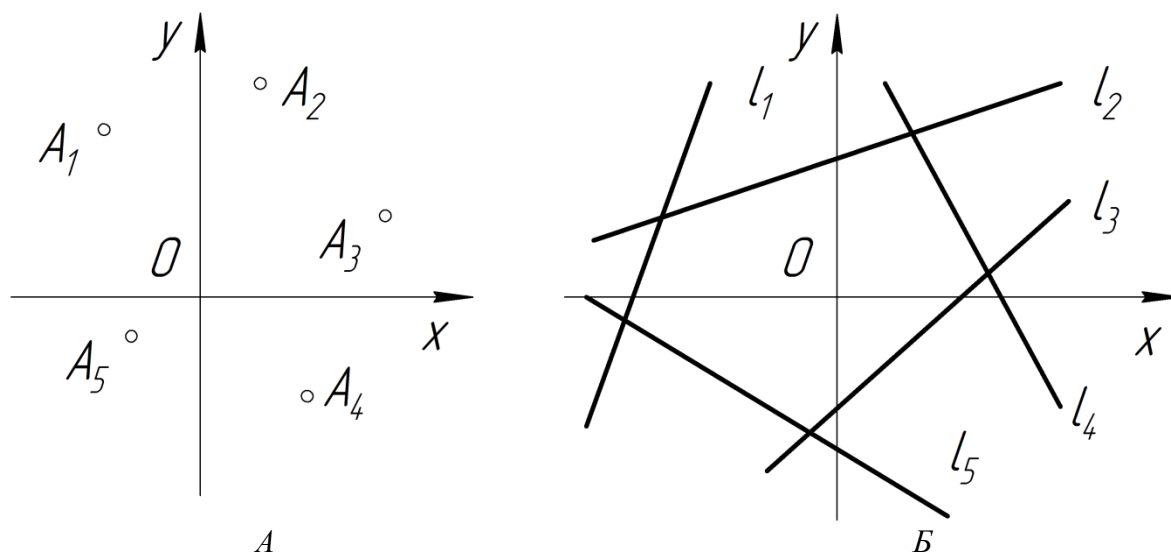


Рисунок 1 – Определение коники геометрическими параметрами

На практике часто конику задают двумя касательными к ней, точками касания на них и дополнительной точкой, ей принадлежащей. Этот способ имеет существенный недостаток – вид кривой не всегда может быть определен заранее. Более удобным способом на практике является способ задания коники двумя касательными, точками касания на них и графическим дискриминантом (см. рис. 2).

Отношение отрезков $f=BC/AC$ медианы называется дискриминантом коники, заданной графически. Для эллипса дис-

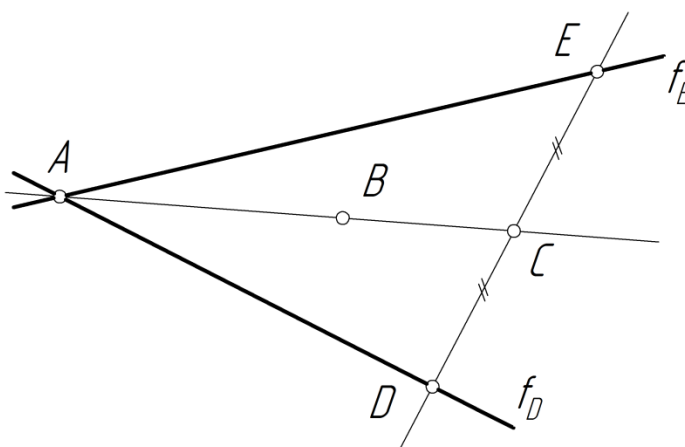


Рисунок 2 – Задание коники с помощью графического дискриминанта

криминант находится в пределах от 0 до 0,5, для гиперболы – от 0,5 до 1, для параболы $f=0,5$. За исключением параболы для одной и той же коники дискриминант может принимать значения, различные, в зависимости от угла между касательными и положениями точек касания на них. Задание коник графическим дискриминантом очень часто используют в техническом проектировании и при решении соответствующих геометрических задач. Особенное удобство пользования дискриминантом при построении сопряжений и плавных переходов с одной коники на другую определяется возможностью выбора кривой перехода – эллипса, параболы или гиперболы [3].

Отдельный интерес представляет множество оснований перпендикуляров, опущенных из какой-либо точки плоскости кривой (полюса) на касательные к ней. Такая плоская кривая называется подерой и дает множество оригинальных кривых, каждая из которых находит свое применение при конструировании изделий машиностроения. Любая кривая (называемая антиподерой) имеет бесчисленное множество подер, вид которых зависит только от выбора полюса. Подеры эллипса и гиперболы относительно фокусов – их главные окружности относительно центров, называются лемнискаты Буута. Относительно фокуса параболы ее подера – главная касательная, относительно полюса – офиурида, относительно вершины – циссоида Диоклеса и т. д. Кардиоида и улитки Паскаля – подеры окружности, когда полюс взят на окружности, вне ее или внутри соответственно. Свойства подер широко используются при решении различных задач технического и геометрического характера [4].

Развитие компьютерных технологий не может и не должно вытеснять из учебного процесса основополагающие теоретические инженерные дисциплины. Начертательная геометрия по праву занимает лидирующее положение в спектре таких дисциплин. Как полный курс, так и отдельные вопросы дисциплины закладывают не только базу успешного освоения очень многих предметов, но и формируют компетенции будущего специалиста.

Список литературы

1. Левицкий, В. С. Машиностроительное черчение [Текст]: Учеб. для студентов высших технических учебных заведений / В. С. Левицкий. – М.: Высш. шк., 1988. – 351 с.: ил.
2. Начертательная геометрия: учеб. пособие / сост. Г. П. Лещенко [и др.]. – Челябинск: ЮУрГАУ, 2025. – 82 с.: ил. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/506906>.
3. Чекмарев, А. А. Начертательная геометрия [Текст]: учеб. для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. / А. А. Чекмарев. – М.: Юрайт, 2020. – 147 с.: ил.
4. Шамина, Е. Н. Руководство к решению задач по начертательной геометрии [Текст]: учеб. пособие / Е. Н. Шамина. – Волгоград: Волгоград. гос. мед. ун-т, 2025. – 72 с.: ил. – <https://e.lanbook.com/book/498791>.

РЕСУРСНАЯ БАЗА ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЯ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

Майоров Егор Константинович, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия,
egor.maior1231@mail.ru

Научный руководитель: Романченко Наталья Митрофановна, кандидат технических наук,
доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
girenkov@mail.ru

Аннотация. В статье представлены сведения о свойствах, переработке, местах расположения в Красноярском крае месторождений алюминиевых руд, служащих для получения алюминия – важнейшего конструкционного и электротехнического металла, нашедшего применение в практике сельскохозяйственного и автотракторного машиностроения, в области электрооборудования и электротехнологий в агропромышленном комплексе.

Ключевые слова: конструкционные и электротехнические материалы, алюминий, бокситы, нефелины, месторождения

Алюминий, так же, как и медь, является основой цветных сплавов, которые наряду с черными, широко применяются в электротехнологиях и машиностроении, в том числе и сельскохозяйственном.

Алюминий относится к легким цветным металлам, имеющим малую плотность, однако обладает большой удельной прочностью (σ_6/ρ). Важные свойства алюминия – высокие электропроводность и коррозионная стойкость – делают металл привлекательным в самых разных отраслях промышленности. Образующаяся на поверхности деталей пленка окиси алюминия предохраняет детали от коррозионного разрушения в самых опасных средах в сельскохозяйственном производстве – влажном атмосферном воздухе, воздухе животноводческих ферм, влажной почве, растворах удобрений и гербицидов [1].

Для изготовления деталей машин применяют алюминиевые сплавы, которые обладают высокими технологическими свойствами, они хорошо поддаются обработке давлением (ковке, штамповке, прокатке, волочению) и литейной обработке.

Некоторые деформируемые сплавы возможно и упрочнять с помощью термической обработки, путем закалки и старения. К таким сплавам относятся [2]:

- дюралюмины (сплавы на основе системы Al-Cu-Mg),
- авиали (сплавы на основе системы Al-Mg-Si),
- ковочные сплавы на основе системы Al-Mg-Si-Cu,
- высокопрочные сплавы на основе системы Al-Zn-Mg-Cu.

Литейные алюминиевые сплавы имеют в своем составе Si, Cu, Mg, Mn.

И деформируемые, и литейные широко применяются для изготовления деталей сельскохозяйственных машин и автомобилей [2, 3]:

1. Алюминий – строительство (25%), авиа-, автомобиле- и судостроение (23%), производство тары и упаковки (17%), электротехника (12%), машиностроение (11%), потребительские товары (6%).

2. Деформируемые алюминиевые сплавы – поршни, заклепки, навесные детали, бамперы, радиаторы охлаждения, отопители, элементы каркаса и обшивки кузовов, балки, рамы тяжелых грузовых автомобилей, стойки кузова, автоцистерны, колесные диски, крышки, кожухи, корпуса водяных насосов, барабаны и другие.

3. Литейные алюминиевые сплавы – поршни, головки и блоки цилиндров, корпуса карбюраторов и топливных насосов, картеры коробок передач легковых автомобилей, шкивы, колесные диски.

Алюминий, из которого производят конструкционные сплавы, получают из алюминиевых руд путем обогащения и получения глинозема Al_2O_3 , электролиза полученного глинозема и рафинирования выплавленного алюминия [4].

Наличие в странах месторождений алюминиевых руд позволяет укреплять технологический суверенитет и развивать отрасли электротехнологий и машиностроения.

Сведения о месторождениях алюминиевых руд на территории Российской Федерации и Красноярского края обсуждаются на занятиях по дисциплине «Технология конструкционных материалов», но нуждаются в периодической актуализации.

Цель настоящей работы – анализ литературы и обобщение данных о современных месторождениях алюминиевых руд России и Красноярского края с целью дополнения электронного учебного курса «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», расположенного на платформе LMS Moodle Красноярского аграрного университета [5].

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: проанализировать сведения о материально-сырьевой базе России и Красноярского края, используемой для получения алюминия и сплавов на его основе.

Поставленные задачи решались при помощи методов научного исследования: анализа научной и учебной литературы по тематике исследования; анализа официальной статистической информации.

В промышленных масштабах алюминий получают из бокситов и нефелинов.

Бокситы представляют из себя сложные породы, состоящие из нескольких десятков элементов. На рисунке 1 представлен образец боксита из Чадобецкого месторождения Красноярского края из коллекции рудных минералов кафедры общинженерных дисциплин Красноярского ГАУ, содержащий около 55 % Al_2O_3 ; 23 % Fe_2O_3 ; 4 % SiO_2 ; 3 % CaO и примеси редких и редкоземельных металлов [4].



А



Б

**Рисунок 1 – Образцы алюминиевых руд:
а – боксит; б – нефелин**

Нефелины являются более бедным сырьем по количеству Al_2O_3 . Поэтому эти руды требуется обогатить для получения глинозема. Так, в образце нефелина из Кия-Шалтырского месторождения (рис. 1) Кемеровской области, содержится 27,3 % Al_2O_3 ; 5,2 % Fe_2O_3 ; 40 % SiO_2 ; 7,6 % CaO ; 11,9 % (Na_2O+K_2O) , а в обогащенном концентрате [4] – 29,3 % Al_2O_3 [4].

По производству бокситов Россия занимает 7-е место среди добывающих стран, по выпуску глинозема, в том числе из нефелиновых руд – 5-е. Но выплавляют российские заводы 6 % всего первичного алюминия, занимая 3-е место среди мировых производителей [3].

В шести регионах Российской Федерации разрабатываются 36 бокситовых месторождений, запасы алюминиевого сырья составляют 1352,1 млн т [3]. Красноярский край по запасам бокситов (83,3 млн т) занимает пятое место среди российских регионов, отставая от Свердловской, Архангельской, Белгородской областей и Республики Коми.

Важнейшие месторождения бокситовых руд в крае – Чадобецкая группа (месторождение Центральное – самое богатое, Иджибек и Пуня), Приангарская группа (месторождения Киргитейское, Верхотуровское и Порожнинское), Татарская группа (рис. 2) [6]. Экономически целесообразной для получения глинозема признана разработка месторождений Чадобецкой группы. Сырье Татарского месторождения по своему составу, содержащему очень мало CaO , рекомендовано разрабатывать для производства электрокорунда [6].

Нефелиновые руды в Российской Федерации сосредоточены, в основном, в Мурманской области, где разведаны 3120,3 млн т, и разработка их ведется промышленным способом уже несколько десятилетий. Значительно меньше запасов обнаружено в Республике Тыва (346,2 млн т), Красноярском крае (296,8 млн т) и Кемеровской области (33,7 млн т) [3].

Ачинский глиноземный комбинат производит свою продукцию из нефелиновых руд Кия-Шалтырского месторождения (Кемеровская область), которые перерабатываются без предварительного обогащения. Но запасы сырья на этом месторождении исчерпываются, предварительные расчеты показали, что ресурсов хватит на 10 лет работы комбината.

Для обеспечения дальнейшей работы Ачинского комбината акционерным обществом АО «РУСАЛ Ачинск» планируется освоение открытого еще в пятидесятых годах двадцатого века Горяч-

егорского месторождения, находящегося вблизи г. Шарыпово. Ожидаемый срок эксплуатации более 60 лет. Нефелины этого месторождения бедны по содержанию Al_2O_3 , для их переработки необходимо предварительное обогащение.

Ачинский глиноземный комбинат – единственный из трех работающих в России производств перерабатывает нефелиновые руды. Остальные, расположенные в Свердловской и Ленинградской областях, перерабатывают бокситы. ОАО «Русал» имеет еще несколько глиноземных комбинатов, находящихся за границей.

Производимый на Ачинском комбинате глинозем перерабатывается в первичный алюминий на Красноярском, Саяногорском, Богучанском алюминиевых заводах, которые получают электрическую энергию от Красноярской, Саяно-Шушенской и Богучанской ГЭС. Эти заводы, как и остальные 5, расположенные в Сибири (Братский, Иркутский, Хакасский, Новокузнецкий, Тайшетский), находятся в собственности Русала (Богучанский – в совместной собственности с ПАО «РусГидро»). На территории Российской Федерации функционируют 10 заводов по производству первичного алюминия.

В настоящее время в России ведется разработка практически всех разведанных месторождений алюминиевого сырья. Дальнейшее развитие отрасли прогнозируется в двух направлениях:

1. Совершенствование существующих технологий переработки бокситов с увеличением выхода глинозема до 98 % по сравнению с нынешними 85 % [3].
2. Разработка технологий переработки низкокачественного алюминиевого сырья с низким содержанием Al_2O_3 , запасы которого в стране достаточно высоки.

Вывод

Представленные в статье актуальные сведения о современном состоянии добычи, производства и перспективах развития алюминиевой промышленности в России и Красноярском крае рекомендуются для дополнения модуля «Металлургическое производство» электронного учебного курса «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», расположенного на платформе LMS Moodle [5, 7].

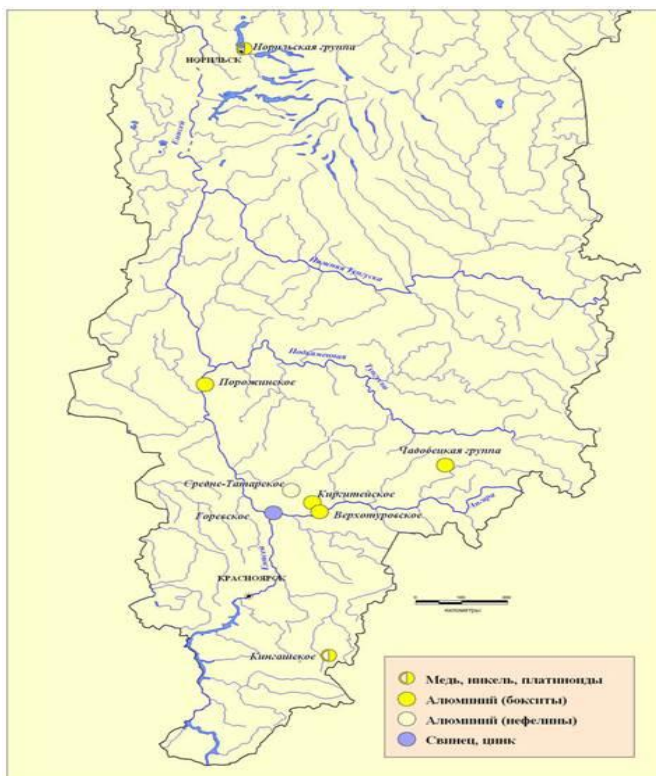


Рисунок 2 – Карта Красноярского края с указанием месторождений бокситов и нефелинов [6]

Список литературы

1. Романченко Н.М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии: учеб. пособие / Н.М. Романченко, В.Ф. Беспалов. – Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2016. – 280 с.
2. Романченко, Н.М. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Часть I. Материаловедение.: учеб. пособие [Текст] / Н.М. Романченко; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2019. – 329 с.
3. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2023 году. – Текст: электронный // URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiysko_y_federatsii/gosudarstvenny_doklad_o_sostoyani_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiysko_y_federatsii/ (дата обращения 22.02.2026).
4. Романченко Н.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебное пособие. В 2 ч. Ч.2 [Текст] / Н.М. Романченко. – М.: ИНФРА-М, 2025. – 263 с.
5. Материаловедение, технология конструкционных материалов. – Текст: электронный // URL: <https://e.kgau.ru/mod/page/view.php?id=214719> (дата обращения 24.02.2026).
6. Минерально-сырьевая база Красноярского края. – Текст: электронный // URL: <https://museum.krasfond.ru/library/nedra-krasnoyarskogo-kraya/93-mineralno-syrevaya-baza-tsvetnykh-metallov-krasnoyarskogo-kraya.html> (дата обращения 16.02.2026).
7. Романченко Н.М. Исследование результатов студенческой научной работы для дополнения электронного учебного курса / Н.М. Романченко // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России [Электронный ресурс]: Материалы III Международной научной конференции. – Красноярск, 2022. – С. 308-301.

ХИМИЧЕСКИ СТОЙКИЕ РЕЗИНЫ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Подшивалова Вера Сергеевна, студентка

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия
podsh.veraa@gmail.com

Щербак Кристина Николаевна, студентка

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия
christine.sherbak@yandex.ru

Научный руководитель: Сорокина Ирина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия
amet02@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности применения химически стойких эластомеров в пищевой промышленности. Дан сравнительный анализ наиболее востребованных типов резин: EPDM, NBR, FKM и силикон.

Ключевые слова: пищевая промышленность, химически стойкая резина, эластомеры, EPDM, NBR, фторкаучук (FKM), силикон (VMQ), CIP-мойка, пищевая безопасность, герметизация оборудования

В современной пищевой индустрии оборудование работает в условиях экстремальных нагрузок. Это не только механический износ, но и постоянный контакт с агрессивными средами: жирами, кислотами, сахарами и, что критически важно, моющими средствами.

Уплотнения, шланги и мембраны, от которых зависит не только герметичность оборудования, но и биологическая безопасность конечного продукта выполняют в основном из эластомеров.

Выбор химически стойкой резины для пищевого производства – это поиск баланса между физико-химическими свойствами материала и жесткими техническими нормами.

Некоторые химически нейтральные на первый взгляд продукты, такие как молоко или растительное масло, способны разрушить стандартную техническую резину.

Жиры и масла проникают в структуру полимера, вызывая его размягчение и потерю формы. Из некачественного эластомера могут мигрировать в продукт токсичные наполнители, пластификаторы или специфический запах, что делает пищу непригодной к употреблению.

Процессы мойки-CIP (Cleaning-in-Place) проводятся с использованием каустической соды, азотной кислоты и острого пара, поэтому резина должна выдерживать циклы дезинфекции без растрескивания.

В зависимости от условий эксплуатации, существуют специфические составы:

1. EPDM (Этиленпропиленовый каучук). EPDM по праву считается основным уплотнительным материалом в производстве напитков, пивоварении и молочной промышленности. Его популярность обусловлена уникальным строением полимерной цепи, которая не содержит двойных связей в основном скелете, что делает ее практически неуязвимой для агрессивных внешних воздействий. Главное преимущество EPDM – его инертность к дезинфекции. В пищевой индустрии оборудование промывается поочередно щелочными растворами, кислотными растворами и острым паром. EPDM выдерживает эти циклы годами, не теряя эластичности, в то время как другие резины могут стать хрупкими или начать мигрировать в продукт. Уплотнения из EPDM не трескаются при хранении на открытом воздухе или под воздействием УФ-излучения. Однако, эти эластомеры не выдерживают контакта с неполярными средами, к которым относятся:

- растительные масла и животные жиры;
- сливки и высокожирное молоко;
- минеральные масла (смазки).

EPDM – идеальный выбор для линий розлива соков, воды, пива и вина, а также для систем очистки. Однако его категорически запрещено использовать на линиях производства майонеза, растительного масла или жирных соусов [1].

2. NBR (Нитрильный каучук). NBR – это сополимер бутадиена и акрилонитрила. Если EPDM является фаворитом в производстве напитков, то NBR применяется для мясной, молочной и кондитерской промышленности, где содержание жира в продукте высоко. Ключевая особенность NBR заключается в содержании акрилонитрила (АН). От его процентного соотношения зависят свойства конечного изделия. Чем выше содержание АН, тем выше стойкость резины к маслам и жирам. В пищевых марках содержание АН обычно сбалансировано, чтобы обеспечить эластичность при низких температурах (например, в холодильных установках) и одновременно защитить материал от набухания [2].

В отличие от многих других эластомеров, молекулярная решетка NBR полярна. Это создает барьер для неполярных веществ, таких как растительные масла (подсолнечное, рапсовое, оливковое) и животные жиры (сливочное масло, свиной жир). Под воздействием этих сред NBR сохраняет свою форму, объем и физико-механические свойства (предел прочности и твердость).

Несмотря на свою стойкость к жирам, у нитрильного каучука есть серьезные технологические ограничения. Рабочий предел NBR обычно ограничен $+100^{\circ}\text{C}$ (краткосрочно до $+120^{\circ}\text{C}$). При превышении этой температуры резина «дубеет», теряет эластичность и начинает трескаться, что приводит к разгерметизации [3].

В структуре NBR присутствуют двойные связи углерод-углерод ($\text{C}=\text{C}$), которые легко атакуются озоном и ультрафиолетом. Если хранить уплотнения NBR на солнечном свете или рядом с работающими электродвигателями (генерирующими озон), на поверхности резины быстро появятся глубокие трещины. NBR также плохо переносит воздействие агрессивных окислителей, таких как азотная кислота, и перегретого пара, которые часто используются в циклах автоматической промывки оборудования [2].

Чтобы компенсировать недостатки NBR, химики разработали его гидрированную версию – HNBR. Он сохраняет стойкость к жирам, но выдерживает температуры до $+150^{\circ}\text{C}$ и гораздо устойчивее к химии, однако стоимость такого материала значительно выше.

3. Фторкаучук (FKM по классификации ASTM или FPM по стандарту ISO) представляет собой высокотехнологичный эластомер, в котором прочность химических связей достигает максимума. Своими свойствами он обязан связи углерод-фтор ($\text{C}=\text{F}$), которая является одной из самых сильных в органической химии. Она практически неустойчива для теплового воздействия и химической атаки.

FKM обладает самым широким спектром химической стойкости среди эластомеров. Он выдерживает контакт с:

- жирными кислотами и растительными маслами при температурах, где NBR уже начинает плавиться.
- концентрированными кислотами и щелочами, которые разрушают большинство других материалов.
- ароматическими и хлорированными углеводородами, выступая барьером для химических примесей.

В то время как обычные резины теряют свои свойства при $+120\dots 140^{\circ}\text{C}$, фторкаучук сохраняет эластичность при постоянной нагрузке до $+200^{\circ}\text{C}$, а кратковременно выдерживает пики до $+230^{\circ}\text{C}$. Это делает его незаменимым в процессах ультрапастеризации (УНТ): где продукт мгновенно нагревается до критических температур. Материал обладает способностью к самозатуханию, что повышает пожарную безопасность сложного оборудования.

В отличие от дешевых резин, качественный пищевой FKM содержит минимум добавок, которые могли бы «вымываться» в продукт. Кроме того, в вакуумных установках (например, при вакуумной упаковке мяса или деаэрации соков) FKM не выделяет летучих веществ, сохраняя герметичность камеры.

Единственным значимым недостатком FKM является его стоимость (в 5–10 раз выше, чем у EPDM). Однако в инженерии используется понятие «совокупной стоимости владения». Применение фторкаучука оправдано, когда:

- замена уплотнения требует полной остановки сложной автоматизированной линии (простой дорожке запчасти);
- оборудование работает в агрессивном режиме 24/7;
- риск попадания частиц разрушенной дешевой резины в партию продукта (например, детского питания) несет огромные репутационные потери [2].

4. Силикон принципиально отличается от всех вышеперечисленных материалов своей химической структурой. В его основе лежит не углеродная цепь (C-C), а кремний-кислородная связь (-Si-O-Si-). Это делает его практически невосприимчивым к факторам, которые разрушают обычную резину.

Силикон – абсолютный лидер по работе в условиях критического холода и тепла одновременно.

Силикон сохраняет эластичность при температурах до -60°C (специальные марки до -100°C), в то время как NBR или FKM при таких значениях становятся хрупкими, как стекло. Это делает его незаменимым в производстве мороженого и в камерах шоковой заморозки. Силикон также стабильно работает при $+200^{\circ}\text{C}$, что позволяет использовать его в хлебопекарных печах и сушильных установках [4].

Главное требование пищевой промышленности – продукт не должен менять свои органолептические свойства (вкус, запах, цвет). Силикон не вступает в реакцию с пищей, он не содержит пластификаторов, которые могли бы мигрировать в продукт. Благодаря своей структуре он обладает антиадгезивными свойствами – к нему практически ничего не прилипает, что крайне важно на линиях по производству карамели, меда или вязких соусов.

Ниже приведена таблица эксплуатационных свойств наиболее востребованных химически стойких резин, применяемых в пищевом машиностроении.

Таблица 1 - Сравнительный анализ основных типов резин для пищевой промышленности

Характеристика	EPDM (Этиленпропилен)	NBR (Нитрил)	FKM/FPM (Фторкаучук)	Силикон (VMQ)
Стойкость к жирам и маслам	Низкая (набухает)	Высокая	Очень высокая	Средняя
Стойкость к горячей воде/пару	Отличная (до $+150^{\circ}\text{C}$)	Удовлетворительная	Хорошая	Хорошая
Химическая стойкость (кислоты/щелочи)	Высокая	Средняя	Исключительная	Средняя
Температурный диапазон	$-50^{\circ}\text{C} \dots +150^{\circ}\text{C}$	$-30^{\circ}\text{C} \dots +110^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C} \dots +200^{\circ}\text{C}$	$-60^{\circ}\text{C} \dots +230^{\circ}\text{C}$
Механическая прочность	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая (легко рвется)
Приоритетное применение	Линии розлива напитков, соков, SIP-мойка	Переработка мяса, молочные продукты, масла	Агрессивная химия, высокие температуры	Фармацевтика, кондитерские изделия

Несмотря на температурные преимущества, у силикона есть серьезные ограничения по механической прочности. Его нельзя использовать в узлах с сильным трением, высоким давлением или там, где есть риск механического повреждения твердыми частицами продукта. Силикон обладает высокой газопроницаемостью. Он не подходит для систем, где требуется идеальная вакуумная герметичность или длительное удержание газов (например, в некоторых процессах газирования напитков). Силикон разрушается под воздействием перегретого пара (выше $+120^{\circ}\text{C}$) и концентрированных кислот/щелочей, используемых при жесткой SIP-мойке [5].

Выбор химически стойкой резины для пищевой промышленности – это критически важный этап обеспечения экологической и экономической безопасности производства. Не существует «идеального» универсального материала, и каждый тип эластомера эффективен лишь в своем технологическом коридоре.

Подводя итог, можно сформулировать три главных правила применения эластомеров в пищевой индустрии:

Принцип химической совместимости: При проектировании линий для жиросодержащих продуктов (масла, молочный жир) необходимо отдавать предпочтение NBR или FKM. Для водосодержащих сред и зон интенсивной санитарной обработки (CIP-мойка) оптимальным выбором остается EPDM.

Учет температурного режима: В условиях экстремального холода (заморозка) незаменим силикон, в то время как зоны сверхвысоких температур (пастеризация, выпечка) требуют применения FKM.

Приоритет безопасности: Пищевой допуск – это обязательное требование. Использование технических марок материалов вместо сертифицированных в пищевой отрасли недопустимо, так как ведет к миграции токсичных веществ в продукт [1].

В условиях современного рынка, где требования к качеству продуктов питания постоянно растут, глубокое знание свойств эластомеров позволяет не только продлить срок службы оборудования, но и гарантировать безопасность конечного продукта, что является фундаментом репутации любого предприятия.

Список литературы

1. ТР ТС 005/2011. О безопасности упаковки: технический регламент Таможенного союза: утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 16 августа 2011 г. № 769. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: docs.cntd.ru (дата обращения: 02.03.2026).
2. Инженерная химия полимеров для пищевых производств: учебное пособие для вузов / А. С. Кузнецов, И. В. Петров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 256 с.
3. Резиновые смеси для пищевой отрасли: технические характеристики и химическая стойкость эластомеров. – Текст: электронный // Промышленный портал «Эластомеры». – URL: <https://www.elastomer-info.ru> (дата обращения: 02.03.2026).
4. Материалы для оборудования пищевой промышленности: справочник / под редакцией В. М. Сидорова. – Москва: Машиностроение, 2020. – 320 с. – Текст: непосредственный.
5. ГОСТ ISO 1629-2017. Каучуки и латексы. Номенклатура: межгосударственный стандарт: издание официальное: введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 августа 2017 г. № 972-ст. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 15 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УЧЕТА ЛОКАЛЬНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕЧЕНИЯ В ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРАХ

Расчислова Софья Андреевна, студентка

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
sraschislova@mail.ru

Зиангиров Айдар Фаилевич, аспирант

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
zinaidar@mail.ru

Научный руководитель: Зинуров Вадим Эдуардович, кандидат технических наук

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
vadd_93@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к учету локальной шероховатости поверхности лопаток, возникающей вследствие эрозии твердыми частицами, при численном моделировании рабочих процессов в осевых компрессорах. Показано, что традиционный метод задания равномерной эквивалентной песочной шероховатости не позволяет адекватно оценить потери, вызванные неравномерным износом. Выполнен анализ двух основных подходов: метода локального изменения функций стенки и метода геометрической пертурбации профиля. На основе анализа данных, представленных в исследовании, установлено, что учет локальности повреждений приводит к более значительному падению КПД (до 10,1%) по сравнению с моделью равномерного огрубления (8,8%), что подтверждает необходимость применения усовершенствованных методов моделирования для повышения точности прогнозирования ресурса газотурбинных двигателей.

Ключевые слова: локальная шероховатость, CFD-моделирование, эрозия твердыми частицами, осевой компрессор, пограничный слой, газотурбинный двигатель, верификация модели

Работа выполнена в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение ИПИШ от 19.12.2025.

Обеспечение надежности и эффективности газотурбинных двигателей является приоритетной задачей современного авиадвигателестроения. В процессе эксплуатации лопатки компрессора подвергаются воздействию твердых частиц, что приводит к эрозионному износу. Согласно [1], частицы, поднимаемые с взлетно-посадочных полос во время взлета, играют существенную роль в деградации компрессора, причем в двигатель попадают частицы размером менее 50 мкм. Данный вид деградации изменяет профиль лопатки и увеличивает шероховатость ее поверхности, интенсифицируя потери на трение. Актуальность темы обусловлена тем, что традиционные подходы к моделированию шероховатости предполагают ее равномерное распределение по всей поверхности. Это не соответствует физической картине эрозии, которая носит локальный характер. Максимальный износ роторов наблюдается у передней кромки со стороны спинки, а статоров – у задней кромки со стороны корыта. Игнорирование этой локальности приводит к некорректной оценке аэродинамических потерь. Целью данной работы является анализ и сравнительная оценка существующих методов учета локальной шероховатости в CFD-моделях осевых компрессоров.

В современной практике численного моделирования течений в турбомашинах можно выделить два принципиально разных подхода к учету локальной шероховатости: гидравлический и геометрический.

Первый подход основан на модификации пристеночных функций. В коммерческих пакетах реализована модель эквивалентной песочной шероховатости, где влияние шероховатости моделируется через сдвиг логарифмического профиля скорости. Однако данный метод позволяет задавать лишь одно значение эквивалентной шероховатости для всей поверхности, что делает его малоприменимым для моделирования сложных паттернов эрозии. В [2] отмечается, что при расчетах характеристик компрессоров необходимо учитывать особенности трехмерных CFD-моделей при наличии шероховатости поверхности, однако стандартные подходы часто недостаточно точны для прогнозирования локальных эффектов.

Второй подход – геометрическая пертурбация – предполагает прямое изменение координат узлов расчетной сетки в зонах эрозии. Этот метод изменяет не только пристеночные функции, но и саму геометрию проточной части, влияя на поле давлений и структуру течения. В [3] исследовано влияние равномерной шероховатости на параметры компрессора и показано, что при увеличении шероховатости до предельных значений падение КПД может достигать 7,68%. Однако равномерная модель не учитывает пятнистый характер эрозии.

Для количественной оценки эффективности рассмотренных методов используются результаты CFD-расчетов для двухступенчатого компрессора низкого давления. В качестве предельного значения выбрана эквивалентная шероховатость 60 мкм, что соответствует состоянию полностью шероховатой поверхности, когда дальнейшее увеличение шероховатости не приводит к росту потерь. Для случая равномерной шероховатости падение степени сжатия компрессора составляет 5,2% по сравнению с гладкой поверхностью. Безразмерный расход воздуха снижается на 2,7%, а падение изоэнтропийного КПД достигает 8,8%. В случае применения модели локальной шероховатости, имитирующей реальные эрозионные повреждения, негативные эффекты оказываются существенно более выраженными: падение степени сжатия возрастает до 6,0%, снижение расхода достигает 4,1%, а падение КПД составляет 10,1% [4]. Таким образом, учет локальности повреждений приводит к дополнительному снижению КПД на 1,3%.

Полученное расхождение в прогнозировании потерь объясняется тем, что равномерная шероховатость создает равномерное торможение потока по всей поверхности лопатки. В реальности эрозия поражает наиболее чувствительные зоны профиля. Локальное повреждение передней кромки ротора приводит к более раннему утолщению пограничного слоя на спинке профиля, провоцируя его отрыв до достижения задней кромки. На статорах, где максимальная эрозия наблюдается на корыте у задней кромки, повреждения усиливают диффузорный эффект и также ведут к росту потерь.

С методологической точки зрения, метод геометрической пертурбации показывает свою работоспособность. Несмотря на то, что форма возмущений не является точной репликой эрозионных кратеров, она позволяет создать локальное возмущение поля течения, которое после калибровки дает результаты, сопоставимые с экспериментальными данными. Калибровка калибровочного параметра позволяет достичь расхождения с моделью равномерной шероховатости менее 1,4%.

Метод модификации пристеночных функций при детальном моделировании оказывается менее чувствительным к локальным эффектам. Для адекватного учета пятнистой эрозии он потребовал бы чрезвычайно мелкой разбивки граничных условий на множество зон с различными значениями эквивалентной шероховатости, что существенно увеличивает вычислительную сложность и требует детальных экспериментальных данных о распределении шероховатости по поверхности.

В ходе проведенного анализа установлено, что для корректного прогнозирования аэродинамических потерь в компрессорах, подверженных эрозионному износу, необходимо

использовать методы, учитывающие локальный характер повреждений. Модели равномерной шероховатости систематически занижают потери эффективности, что критично при оценке остаточного ресурса. Показано, что метод геометрической пертурбации профиля позволяет с достаточной инженерной точностью моделировать влияние локальной эрозии на интегральные параметры ступени. Падение КПД двух первых ступеней бустера достигает 10,1%, что при пересчете на цикл двигателя ведет к росту удельного расхода топлива на 0,73% и увеличению температуры газа перед турбиной на 1,25%. Полученные количественные оценки имеют высокую практическую ценность, так как позволяют перейти от качественных описаний деградации к конкретным критериям для планирования технического обслуживания газотурбинных двигателей.

Список литературы

1. Scarso S., Staudacher S., Mathes J., Schwarz N. A model to assess the importance of runway and taxiway particles to aircraft engine compressor deterioration // *Frontiers in Mechanical Engineering*. – 2024. – Т. 10. – С. 1420472. – С. 1-12
2. Михеев М. Г., Шипунов В. В. Учет покрытий элементов проточной части при прогнозировании характеристик компрессоров и турбин ГТД // *Перспективы развития двигателестроения: материалы междунар. науч.-техн. конф. им. Н. Д. Кузнецова*. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2025. – С. 952-954.
3. Alqallaf J., Teixeira J. A. Blade Roughness Effects on Compressor and Engine Performance—A CFD and Thermodynamic Study // *Aerospace*. – 2021. – Т. 8. – №. 11. – С. 330. – С. 1-29
4. Alqallaf J., Teixeira J. A. Numerical study of effects of solid particle erosion on compressor and engine performance // *Results in Engineering*. – 2022. – Т. 15. – С. 100462. – С. 1-16.

О ДВИЖЕНИИ ЧАСТИЦ В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ

Степанов Алексей Андреевич, студент

Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия
stepanov134Rus@yandex.ru

Скворцов Илья Игоревич, студент

Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия
Puxaskv_06@mail.ru

Научный руководитель: Тронеv Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор

Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия
stronev@mail.ru

Аннотация. Производительность комбайнов ограничена пропускной способностью ветро-решетной очистки. На комбайнах применяются автоматические системы контроля и управления рабочими органами. Для очистки зерна от примесей используются, в том числе циклоны. Поток, создаваемый вентилятором, зависит от конструктивных параметров самого вентилятора. Поток, попадая во внутреннюю поверхность канала, перемещает свободное зерно. На разделение зернового вороха по фракциям влияет конусность камеры, по которой подается ворох, мощность воздушного потока в циклонной камере и место поступления зерна в воздушный поток. Величину тангенциальной скорости в камере целесообразно повышать за счет сближения значений скоростей.

Ключевые слова: производительность комбайна, воздушный поток, вентилятор, циклон, зерновой ворох

Производительность современных зерноуборочных комбайнов ограничена пропускной способностью, точностью настроек рабочих органов и эффективностью работы системы ветро-решетной очистки [4, 5]. Для устранения данной проблемы на комбайнах применяются автоматические системы контроля и управления рабочими органами молотильно-сепарирующего устройства. Применение таких систем (для оптимальной настройки, визуализации и корректировки протекания технологического процесса) автоматических систем контроля [1, 2, 3, 6] позволило сделать вывод, что для повышения производительности, необходимо в системе очистки зерноуборочного комбайна дополнительно использовать циклоны. Таким образом, теоретическое изучение движения частиц (свободных зерен) в воздушном потоке циклона является актуальной задачей. Воздушный поток, создаваемый крыльчаткой вентилятора, зависит от конструктивных и технических параметров самого вентилятора, а его сила и мощность регулируется в основном за счет изменения частоты вращения. В дальнейшем этот поток, попадая во внутреннюю поверхность канала, перемещает свободное зерно, примеси и другие частицы вороха.

Зерно, попадая в закрученный воздушный поток циклона, увлекается им. На основании закона сохранения массы m любого индивидуального объема воздушного потока первое уравнение механики сплошной среды можно записать:

$$m = const \quad (1)$$

Или первое основное дифференциальное уравнение механики сплошной среды с учетом веса частицы p запишется так:

$$\frac{dp}{dt} + \rho \operatorname{div} \vec{v} = 0 \quad (2)$$

Это уравнение неразрывности в цилиндрической системе координат с учетом текущего значения радиуса циклона r запишется:

$$\operatorname{div} \bar{v} = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} (r v_z) + \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + r \frac{\partial v_z}{\partial t} \right] \quad (3)$$

Так как с изменением продольной координаты z сечение циклона медленно меняется, то членом $\frac{\partial v_z}{\partial t}$ по сравнению с членом, содержащим компоненту скорости v_z можно пренебречь. При сделанных выше допущениях член $\frac{\partial v_z}{\partial t}$ можно опустить. Таким образом, из выражения (3) следует:

$$r \frac{\partial v_z}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} (r v_z) = 0 \quad (6)$$

Выражение (4) подчиняет радиальную скорость условию:

$$v_z \cdot r = \text{const}, \quad (7)$$

где r – текущее значение радиуса циклона (рисунок 1).

Выражение (7) можно полностью подтвердить опытным путем. Зерна, попавшие в центр циклона, не увлекаются им и падают вниз. При приближении зерна к стенке циклона радиальная скорость его уменьшается. Величина тангенциальной составляющей скорости медленно уменьшается, и изменение тангенциальной скорости более крупных зерен идет медленнее, чем мелких. Таким образом, место поступления зерна в циклон влияет на время полета его до стенки циклона. Все выдвинутые положения объясняют поведение зерен, которые попадают в циклон, не касаясь его стенок.

На разделение зернового вороха по фракциям влияет конусность камеры, по которой подается ворох, мощность воздушного потока в циклонной камере и место поступления зерна в воздушный поток. Для повышения качества разделения зернового вороха, необходимо создать условия, чтобы зерно в камере циклона находилось не меньше времени, необходимого ему для совершения полного оборота от загрузки до выхода. Следовательно, конструкция циклонной камеры должна отвечать двум требованиям: в ней должно быть создано минимальное сопротивление и максимальное сохранение вращения в камере по отношению к скорости воздуха на входе.

Суммарный коэффициент сопротивления камеры η определяется формулой

$$\eta = \frac{\Delta p_{\text{полн}}}{\frac{1}{2} \rho v_{\text{прив}}^2}, \quad (8)$$

где Δp – разность значения полного давления перед входом в камеру и выходом в атмосферу.

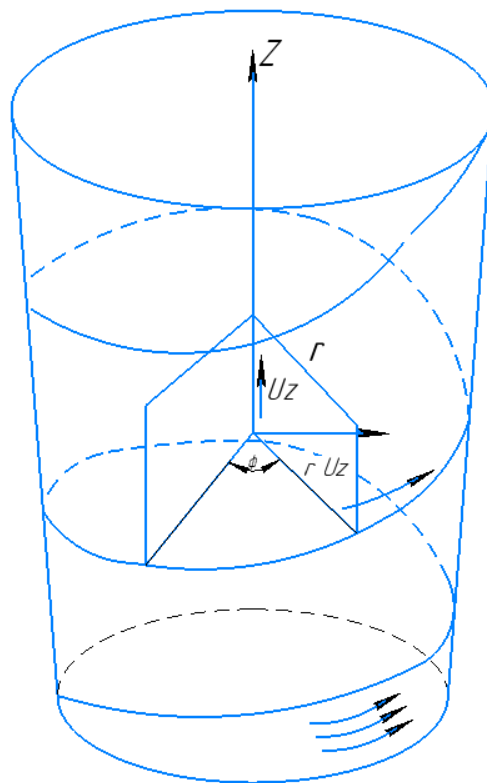


Рисунок 1 – Схема движения частицы по винтовой линии внутренней поверхности циклона

$$v_{\text{прив}} = \frac{Q}{S_{\text{цикл}}}, \quad (9)$$

где Q – расход воздуха;

$S_{\text{цикл}}$ – полное поперечное сечение циклонной камеры.

Падение вращения оценивается коэффициентом:

$$\varepsilon = \frac{v_{\text{фмакс.}}}{v_{\text{вх}}}. \quad (10)$$

Величину тангенциальной скорости в камере целесообразно повышать не за счет повышения абсолютного значения скорости на входе, за счет сближения этих значений.

Список литературы

1. Патент № 2544929 С1 Российская Федерация. Автоматическая система контроля и управления частотой вращения вентилятора / Ряднов А.И., Скворцов И.П., Тронеv С.В., Скворцова А.В., Прошин С.В. – Оpubл. 20.03.2015; Бюл. № 8.
2. Патент № 2800598 С1 Российская Федерация. Автоматическая система контроля и управления настройками рабочих органов молотильно-сепарирующего устройства / Ряднов А.И., Скворцов И.П., Скворцов И.И. – Оpubл. 25.07.2023; Бюл. № 21.
3. Патент № 2824794 С1 Российская Федерация. Автоматическая система контроля и управления ветро-решетной очистки зерноуборочного комбайна / Ряднов А.И., Скворцов И.П., Скворцов И.И., Скворцова А.В. – Оpubл. 13.08.2024; Бюл. № 23.
4. А.И. Ряднов, С.В. Тронеv, И.П. Скворцов. Теоретическая оценка пропускной способности рабочих органов зерноуборочного комбайна // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 2(34). – С. 189-194.
5. Скворцов, И.П. Повышение качества работы молотильно-сепарирующего устройства комбайна Дон-1500Б за счет применения системы контроля процесса повторного обмолота: дис. ... канд. техн. наук / И.П. Скворцов. – Волгоград, 2005. – 165с.
6. Теоретическое обоснование автоматической системы контроля процесса повторного обмолота / И.П. Скворцов, А.В. Скворцова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 3 (55). – С. 388-397.

ПОДСЕКЦИЯ 5.2. ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АПК

УДК 631.3:66

ВАРИАНТ МИНИ-ЦЕХА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ МАСЛИЧНЫХ

Будылина Елизавета Алексеевна, студентка

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
elizavetabisop@gmail.com

Лебедев Роман Анатольевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
roman.lebedev.2024@gmail.com

Научный руководитель: Доржеев Александр Александрович, кандидат технических наук
Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
dorzheeva.1985@mail.ru

Аннотация. В работе предложен вариант организации мини-цеха по переработке масличных в учебно-опытном хозяйстве, помимо научных целей предложенное внедрение также направлено на получение экономического эффекта от использования жмыха в кормопроизводстве для крупно-рогатого скота при наращивании производительности в животноводстве посредством привеса или повышения средних надоев и т.д., что также будет снижать себестоимость основного вида получаемого продукта, кроме того предложение направлено на решение вопросов сбережения и замещения традиционных энергоносителей, биотопливом из растительных масел, а именно – моторного дизельного топлива для тракторной техники и топлива для зерносушилок хозяйства.

Ключевые слова: энергоносители в сельском хозяйстве, дизельное топливо, биотопливо из рапса, мини-цех по переработке маслосемян, снижение топливных затрат

Для сельхозтоваропроизводителей с несколькими тысячами га посевов базовых культур экономия энергоносителей посредством внутренних ресурсных потенциалов давно апробируется во многих странах, там, где достаточно традиционных ископаемых, таких, как нефть, и особенно там, где таковых практически нет. Внутренний потенциал именно возобновляемых ресурсов из разряда биомассы имеется практически повсеместно, причем такое производство может быть организовано нецелевым назначением, которое напрямую ставит цель получения конкретного вида продукции, а второстепенным, или сопутствующим. Вокруг масличных, которые, главным образом, используются в переработке для пищевых и кормовых целей, назревает интерес по получению энергоносителей, например, из побочных и некондиционных продуктов, выход которых в разных технологиях может быть значительным в доле основного продукта [2,4].

Интенсивно развивающейся культурой для экспорта, получения корма, пищевых масел и в Красноярском крае является рапс. Именно технической культурой в перспективе считается масло семян крамбе. Помимо этих масел привлекательными с этой позиции остаются лен, подсолнечник, соя, горчица. В наших исследованиях интерес проявлен именно к растительным маслам, таким как рапс, подсолнечник и крамбе, которые входят в определенную ячейку научных исследований ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Полученные образцы масел в различных вариантах апробированы в лабораторных и производственных условиях, очищенные по технологии [2] биотопливные композиции положительно зарекомендовали себя при работе тракторных дизелей, что дает основание для дальнейших исследований.

Исследования по получению и использованию растительных масел в качестве основы биотоплив для тракторной техники, зерносушилок, других энергетических установок, работающих на минеральном дизельном топливе, требуют постоянной производственной базы. Изначально такой базой может выступить ООО «Учебно-опытное хозяйство «Миндерлинское» при ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Хозяйство имеет в парке машин именно те объекты, на которых ориентировано исследование биотоплив, это универсально-пропашные тракторы, зерносушилки и т.д. На рисунке показано фото зерносушильного комплекса, вблизи которого можно организовать работу мини-цеха по переработке масличных.



**Территория зерносушильного комплекса на базе установки «RIELA-20»
(фото – лето 2025 г.)**

Мини-цех по переработке масличных можно приобрести в виде готового технического решения по примеру хозяйств, которые уже занимаются переработкой масличных в регионе. Здесь необходимо определение целей и задач производства. Использование дорогостоящего оборудования только в учебных целях требует тщательной проработки и обоснования, и, на наш взгляд, является менее эффективным по сравнению с организацией целевого производства с определенной научной составляющей.

За основу при выборе составляющих линии мини-цеха по переработке масличных в работе принят стандарт ВНТП 20М-93 «Правила и нормы технологического проектирования предприятий малой мощности линий по производству растительных масел из семян подсолнечника и рапса методом прессования». Указанные нормы ориентированы на следующие условия из стандартного ряда мощностей:

- комплект оборудования производительностью от 1 до 10 т/сут. (главный ориентир – подсолнечник и рапс), маслоотжимные агрегаты ПШМ-250, либо его аналоги серии ПШ-250 и другие с производительностью по семенам 250 кг/ч (только холодного отжима);
- переработка семян рапса, исключая предварительное измельчение и влаготепловую обработку семян перед прессованием (получаемое масло пригодно только для технических целей, а для получения пищевого масла необходима его рафинация);
- в случае применения прессов типа ПШМ мини-цех может работать в 1, 2 или 3 смены, т.е. в зависимости от запаса сырья.

Технологический процесс подготовки рапсовых семян и семян крамбе заключается в следующих операциях:

- промежуточное хранение семян перед переработкой склад, бункер, всевозможные накопители и т.д.;
- сушка семян (при необходимости);
- взвешивание на весах автоматических, порционных, дозаторах и т.д.;
- очистка от сора на сепараторах, магнитных ситах и т.д.;
- измельчение семян холодным отжимом;
- охлаждение, транспортировка, складирование, хранение (отгрузка жмыха);
- сбор фуза, очистка фуза;
- первичная очистка масла (гравитационное осветление отстаиванием, фильтрация напорными фильтрами и т.д.);
- хранение масла.

Технологии получения прессового масла рапса, крамбе и подсолнечника имеют общие схемы в аппаратном оформлении и некоторые различия по температурным режимам в зависимости от изначальной масличности и влажности семян. Помимо главного производственного корпуса, где предусмотрено размещение непосредственно самого мини-цеха по переработке семян, необходимо предусмотреть размещение дополнительных (вспомогательных помещений, таких как; бытовые подсобные помещения, электрощитовые, щитовые КИПиА, вентиляционные камеры, лаборатории стационарные и экспресс лаборатории, тепловые пункты и пункты водоснабжения, механические мастерские и др.). Для рассматриваемого хозяйства большинство из перечисленного имеется в наличии и может быть включено в действующий производственный цикл.

Из готовых технических решений для переработки маслосемян большинства масличных, которые возделываются в регионе, апробированным партнером является ООО «НПП А-Инжиниринг» (г. Новосибирск). Близким под наши условия предложением является техническое решение в виде линии однократного отжима (0,2-0,4 т/ч) на базе маслопресса холодного прессования AP-330. Минимальная комплектация, помимо указанной маслоотжимной машины, включает транспортер, питатель маслопресса, встроенную фузолушку, транспортер отвода жмыха, пресс-фильтр с насосом для очистки масла и пульта управления. Этого уже достаточно для проведения научных исследований и организации переработки 250 кг/ч маслосемян рапса. Другие культуры, например подсолнечник, требуют обрушивания, влаготепловой подготовки и некоторых других подготовительных операций.

Следующим предложением, как в альтернативу выше представленному, является вариант приобретения также готового решения у других поставщиков, в том числе оборудования, бывшего в эксплуатации [1]. Такие предложения по линии переработке семян масличных имеют минимальную цену от 1,5 млн. руб. Окупаемость капитальных вложений может быть определена в зависимости от поставленных задач при реализации проекта. Первоначально это может быть ориентир, направленный на получение жмыха для использования в кормопроизводстве. Здесь окупаемость можно выразить посредством экономии на затратах при производстве комбинированных кормов для крупнорогатого скота, т.е. внутрихозяйственное производство и использование продукции. При наращивании производительности в животноводстве (привес, повышение средних надоев и т.д.), эффект также будет снижать себестоимость основного вида получаемого продукта.

Другой составляющей именно экономического эффекта от внедрения подобных решений может стать перспективное направление в реализации кормов для животных в розничные сети, в том числе через интернет-магазины. Основной же задачей для достижения поставленной цели является решение вопросов сбережения и замещения традиционных энергоносителей, а именно – моторного дизельного топлива для тракторной техники и топлива для зерносушилок хозяйства.

Поставленные в работе задачи также частично отражены в плане научной работы кафедры «Тракторы и автомобили» ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ по разделу подтемы «Повышение эффективности энергетических установок с использованием биоресурсов АПК, в том числе потенциала сельскохозяйственных отходов и рециклинговых энергоносителей».

Список литературы

1. Готовый бизнес в Красноярске. Линии по производству растительных масел. https://www.avito.ru/krasnoyarsk/dlya_biznesa.
2. Доржеев, А.А. Получение биодизельного топлива из некондиционного рапсового масла / А.А. Доржеев, С.В. Грищенко // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1(49). – С. 152-160.
3. Доржеев, А.А. Технология приготовления и использования биотопливной композиции на сельскохозяйственных тракторах [Текст] / автореф. дис.. канд. техн. наук / А.А. Доржеев. Красноярск, 2011. – 20 с.
4. Доржеев, А.А. Оценка возможности использования некондиционного растительного масла в качестве топливного компонента для зерносушилок / А. А. Доржеев, В. Д. Очиров // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России : Материалы V Международной научной конференции, Красноярск, 21 ноября 2024 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2025. – С. 39-42.
5. ООО «НПП А-Инжиниринг». Линия однократного отжима (0,2-0,4 т/ч): <https://agro-i.ru/contacts/%D1%80%D1%80%D1%80> (дата обращения 01.03.2025).

КЛАССИФИКАЦИЯ ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ СУХИХ СЫПУЧИХ КОМПОНЕНТОВ КОМБИНИРОВАННЫХ КОРМОВ

Гиль Глеб Георгиевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

Gil_gleb@mail.ru

Научный руководитель: Долбаненко Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

dwm-82@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена классификация дозирующего оборудования, используемого для дозирования сухих сыпучих компонентов при производстве комбинированных кормов, представлена классификационная схема позволяющая осуществить классификацию дозирующего оборудования, выявлены достоинства и недостатки присущие каждому из типов дозирующего оборудования, обосновано применение шнекового дозирующего оборудования как наиболее часто используемого для дозирования сухих сыпучих компонентов при производстве комбинированных кормов.

Ключевые слова: классификация, оборудование, процесс, компонент, доза, корм, точность

Осуществление такого технологического процесса как производство комбинированных кормов, несомненно, связано со строгим соблюдением их рецептуры и технологии производства. Выполнение всех требований, предъявляемых при приготовлении комбинированных кормов, безусловно, требует дозирования заданного количества необходимых компонентов, входящих в их состав. Следовательно, изучение такого процесса как дозирование, носит первостепенный характер. Для дозирования используются машины, называемые дозаторами. Процесс дозирования – это технологическая процесс, направленный на отбор компонента в заданном количестве (дозе) с необходимой точностью. Величина необходимой точности дозы определяется требованиями технологии производства [1, 2].

Исходя из этого дозирующие машины наряду со смешивающими, являются одними из главенствующих при производстве комбинированных кормов. Так как качество комбинированных кормов напрямую зависит от обеспечения требуемой точности дозирования компонентов.

Устройства, применяемые для дозирования, имеют очень разнообразные конструкции и принцип действия, но определяющим во всем имеющемся разнообразии конструкций является наличие возможности отмеривания установленной величины дозы.

Дозирующее оборудование классифицируется по таким параметрам как: принцип действия, тип рабочих органов, способ регулирования, характер протекание процесса дозирования, способ подачи дозируемых компонентов, количество дозируемых компонентов, тип эксплуатации. Ниже рассмотрим классификацию дозирующего оборудования по вышеозначенным параметрам (рисунок 1).

Согласно принципу работы (действия) дозирующие устройства бывают объемные и весовые, то есть осуществляющие дозирование по объему и весу (массе) соответственно. При этом следует принимать во внимание то, при осуществлении дозирования сухих сыпучих компонентов при применении для этого объемных дозаторов на величину дозы оказывает непосредственное влияние плотность, которую имеют дозируемые компоненты.

Исходя из характера протекание процесса дозирования, выделяют дозаторы, производящие дозирование непрерывно и дозаторы, осуществляющие периодическое (дискретное) дозирование. Как правило, периодическое (дискретное) дозирование взвешиваемой величины дозы осуществляется при весовом (массовом) способе дозирования

работа таких дозаторов основана на выделении необходимой массы (дозы) компонентов, эти дозаторы осуществляют дозирование с довольно высокой точностью. Дозирующие устройства для объемного непрерывного дозирования имеют достаточно простую конструкцию, но наряду с этим достоинством им присущ и довольно существенный недостаток, заключающийся в высокой погрешности в точности дозы.



Рисунок 1 – Классификация дозирующего оборудования

Проводя непрерывное дозирование компонентов по их массе, следует в обязательном порядке принимать во внимание величину влажности окружающего воздуха, так как это параметр оказывает непосредственное влияние на такой параметр как величина равновесной влажности дозируемых компонентов. Так, например изменение величины влажности окружающего воздуха изменение величины массы дозируемых сухих сыпучих компонентов изменяется на уровне порядка 10 % как в меньшую, так и в большую стороны, что, несомненно, приводит к большим отклонениям от величины необходимой порции (дозы) дозируемых компонентов.

Дозирующие же устройства, осуществляющие дозирование компонентов объемным непрерывным способом дозирования, менее требовательны к качественным показателям дозируемых компонентов.

В соответствии с типом дозирующих рабочих органов, дозирующее оборудование, делится на такие группы как: дозаторы шнекового типа, вибрационного типа, барабанного типа, тарельчатого типа, бункерного типа и ленточного типа.

Дозаторы шнекового типа имеют в своем составе бункер, который оборудован датчиком уровня компонентов, шнек, а также устройство разгрузки (клапан и питатель). К недостаткам таких дозирующих устройств относят: небольшую точность дозирования при осуществлении дозирования компонентов, имеющих неоднородную плотность, возможное истирание (разрушение) дозируемых компонентов, невозможность использования таких дозаторов для осуществления дозирования влажных компонентов, которые могут налипать на рабочие органы дозатора, довольно высокие энергетические затраты на привод дозатора.

К дозаторам вибрационного типа относят дозаторы, которые осуществляют вибрационное дозирование сухих сыпучих компонентов. Процесс дозирования в дозаторах такого типа осуществляется посредством вибрационного движения дозируемых компонентов. Главенствующим недостатком дозаторов такого типа является достаточно большая погрешность при дозировании.

Дозаторы барабанного типа применяются при дозировании сухих сыпучих компонентов. Среди барабанных дозаторов выделяют такие их разновидности как лопастные, ячеистые, рифленные, цилиндрические гладкие. Барабанные дозирующие устройства осуществляют дозирование в зависимости от количества, а также объема секторов, изменение величины отмериваемой дозы компонентов производится путем изменения частоты вращения барабана.

Дозаторы цилиндрического, а также гладкого типов производят дозирование компонентов под действием таких сил как сила трения и сила сцепления компонентов с поверхностью барабана, изменение подачи дозируемых компонентов осуществляется путем изменения положения заслонки. Величины точности осуществления дозирования и производительности, которую имеют дозаторы барабанного типа, находятся в непосредственной зависимости от таких физико-механических свойств дозируемых компонентов как постоянство объемной массы (плотности).

Дозаторы, имеющие тарельчатый тип, обладают довольно высокой точностью дозирования и позволяют иметь возможность регулирования величины дозы в достаточно широких пределах. Такого типа дозирующие устройства хорошо справляются с дозированием не только сыпучих, но и компонентов, имеющих мелкокусковую или, же мелкозернистую структуру. Но наряду с достоинствами таким дозаторам присущи и недостатки, заключающиеся в неточности величины дозы, возникающей при изменении фракционного состава дозируемых компонентов.

Дозаторы бункерного типа применяются при дозировании сухих сыпучих компонентов как в гранулированном, так и не гранулированном состоянии. Дозируемые компоненты подаются в бункер дозаторов такого типа и по достижению либо заданного объема у объемных дозаторов, либо же заданной массы у весовых дозаторов, осуществляется их выгрузка из дозатора. К достоинствам дозаторов такого типа относят простоту конструкции.

Дозаторы ленточного типа имеют возможность работы, как в непрерывном, так и в периодических режимах дозирования, обеспечивая при этом как весовое, так и объемное дозирование. К достоинствам дозаторов такого типа относят хорошую равномерность при дозировании, простоту конструкции, хорошую ремонтпригодность. Недостатками же являются довольно большие энергетические затраты на дозирование и небольшая точность дозирования.

Согласно способу подачи дозируемых компонентов, дозирующие устройства делятся на устройства, имеющие гравитационную подачу, то есть подачу под действием сил тяжести и принудительную подачу. Гравитационная подача дозируемых компонентов осуществляется под действием атмосферного давления воздуха при воздействии на компоненты только лишь силы тяжести. Принудительная подача дозируемых компонентов производится такими способами как механический, пневматический, гидравлический или же комбинацией этих способов.

В дозирующих устройствах, имеющих механическую подачу дозируемых компонентов, компоненты перемещаются в результате воздействия на них, транспортирующих рабочих органов (ленточных, лопастных, шнековых, ковшовых и т.д.). Как правило, дозаторы имеют привод от электрического двигателя.

В дозирующих устройствах, имеющих пневматическую подачу дозируемых компонентов, перемещение дозируемых компонентов осуществляется в результате воздействия на них рабочих органов, приводимых в действие движущимся воздушным потоком. Достоинствами такого типа привода являются простота конструкции и эксплуатации, надежность в работе, также скорость, с которой могут перемещаться компоненты в воздушном потоке, выше, чем при их подаче гидравлическим способом, то есть посредством жидкости. К недостаткам такого привода относят низкую точность дозы, неравномерность перемещения, например резкость или прерывистость, малую величину коэффициента полезного действия и возможность образование конденсата внутри дозатора.

В дозирующих устройствах, имеющих гидравлическую подачу дозируемых компонентов, компоненты перемещаются в результате воздействия на них рабочих органов, имеющих привод от движущегося потока жидкости. Гидравлические приводы по принципу работы делятся на объемные и гидродинамические. Причем в гидроприводах объемного типа используется энергия, создаваемая давлением жидкости, а в гидродинамического типа используется энергия, которая возникает в потоке движущейся жидкости. Основным достоинством гидроприводов является то, что они позволяют развивать очень большие усилия, имея достаточно небольшие габаритные размеры. Так, например гидравлический привод, имеющий сопоставимые размеры с пневматическим приводом, позволяет создавать усилия примерно в 25 раз больше. К недостаткам такого привода относят следующее: достаточно высокая стоимость привода, а также технического обслуживания.

Как правило, при производстве комбинированных кормов для дозирования компонентов, используются шнековые дозаторы вследствие того, что они обладают такими преимуществами как довольно высокая надежность, и универсально, заключающаяся в возможности дозирования компонентов, имеющих разнообразные свойства. Наряду с вышеизложенным шнековые дозирующие устройства обладают возможность регулирования величины дозы компонентов в довольно широких пределах.

Проведенные аналитические исследования конструктивных разновидностей дозирующих устройств позволили установить, что конструкции дозатора, сочетающего в себе такие достоинства, как высокая точность дозы компонентов, низкие энергетические затраты на дозирование, высокая производительность, а также надежность работы, простоту обслуживания, найдено не было, следовательно, следует разработать дозатор новой конструкции, который бы был лишен вышеперечисленных недостатков [2].

Список литературы

1. Дегтерев, Г. П. Технологии и средства механизации животноводства / Г. П. Дегтерев. – Москва: Столичная ярмарка, 2010. – 384 с.
2. Пронин, А. Н. Повышение эффективности рабочего процесса двухшнекового дозатора компонентов комбикорма: специальность 4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пронин Алексей Николаевич; Нижегородский государственный инженерно-экономический университет – Княгинино, 2024. – 181 с.

МАШИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ

Завальный Даниил Вячеславович, студент

Дальневосточный Государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия

kuzmiz@list.ru

Научный руководитель: Кузьмич Наталья Павловна, кандидат экономических наук, доцент

Дальневосточный Государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия

kuzmiz@list.ru

Аннотация. В статье исследуются машины для производства земляных работ при строительстве зданий и сооружений на сельских территориях. Такими машинами являются экскаватор, бульдозер, скрепер, грейдер, карьерный погрузчик. Автором показаны некоторые характеристики машин и возможное эффективное их использование. Перечислены факторы, которые следует учитывать при выборе машин для выполнения определенных видов земляных работ, а также ошибки, которые допускают при работе с землеройной техникой. Особое внимание уделено тому, что машинист должен быть квалифицированным, и тогда техника будет работать долго и эффективно.

Ключевые слова: грунт, землеройная машина, объект недвижимости, производство работ, сельские территории

В настоящее время ведется активное строительство различных объектов на сельских территориях. Это – жилье, сельскохозяйственные объекты, социальная, транспортная и инженерная инфраструктура. При строительстве зданий и сооружения вносит свой вклад в итоговый результат любой строительный процесс. Безусловно, производство строительных работ невозможно представить без машин, а именно землеройных машин. От эффективности их работы зависит качество, сроки выполнения работ и стоимость конечного результата – объекта недвижимости.

Землеройная машина – это машина для работы с грунтом, она занимается выемкой грунта, его погрузкой, транспортировкой. Землеройная машина готовит котлован для фундамента, создает насыпи, срезает лишний грунт, создает необходимые уклоны и профили будущих дорог и площадок. Качество возведения следующих конструкций зависит от правильности выполненных земляных работ на объекте строительства [1].

Безусловно, землеройные машины экономят время и трудозатраты при возведении зданий. Машины также уплотняют грунт, когда необходимо повысить его несущую способность и обойтись без специальной уплотняющей техники.

Существенное инженерное решение - выбор конкретного типа машины. Оно зависит от типа грунта, определенных условий на строительной площадке, и, в первую очередь, от проектного решения будущих зданий или сооружений.

При строительстве зданий и сооружений, в том числе и сельскохозяйственных используются различные виды землеройных машин.

Экскаваторы являются самоходными машинами. При этом, бывают гусеничными и колесными. Эти машины универсальны, могут с большой точностью рыть котлован и траншеи, планировать, грузить, могут работать в достаточно ограниченном пространстве. Экскаваторы используют не только в строительстве, но и в добывающей промышленности для работы в карьерах для перемещения горных пород. Машины применяют также в жилищно-коммунальном хозяйстве для уборки и вывоза мусора, а в складском хозяйстве с помощью экскаватора можно быстро перемещать большой объем продукции. Слабая сторона экскаваторов – это невысокая скорость передвижения, также его обычно на объект доставляют на специальном транспорте. Экскаватор имеет широкое применение, поскольку

для зданий котлован выполняют с помощью данной машины. Прокладывая коммуникации, также используют экскаватор для рытья траншей.

Назначение бульдозера - послойное срезание грунта, его перемещение. Бульдозер может подготавливать строительную площадку и выравнивать участки для изменения их рельефа. Данную технику используют и в других отраслях, например, при добыче полезных ископаемых, заготовке леса, возведении гидротехнических сооружений, проведении мелиоративных работ. Бульдозер имеет высокую проходимость. Его применяют при перемещении больших объемов земли на короткие расстояния. Однако бульдозером невозможно грузить грунт, а также при передвижении бульдозер может разрушить дорожное полотно.

Еще одна землеройная машина – скрепер – срезает грунт горизонтальными слоями, перевозит его в ковше и отсыпает в нужном месте. Чаще всего скрепер используют при строительстве дорог, аэродромов, в мелиоративном строительстве, в лесном хозяйстве. Скрепер имеет высокую производительность, работает на больших площадях, может уплотнять грунт в процессе отсыпки. Однако скрепер неэффективен при малых объемах работ.

Карьерный погрузчик – самоходная машина для подъема и погрузки сыпучих материалов в транспортные средства. Карьерный погрузчик может быстро загружать самосвалы и другие транспортные машины. Минус карьерного погрузчика – работает только с сыпучим грунтом, для твердых грунтов не предназначен.

Грейдер широко используют в дорожном строительстве для профилирования основания под асфальтирование дороги, в мелиорации. Грейдер обладает высокой точностью планировки и профилирования поверхности, создает ровные основания и уклоны, канавы и кюветы. Его используют также для очистки от снега и снятия наледи с дорог. Однако грейдером невозможно грузить грунт, он работает только с небольшими слоями сыпучего материала [2].

В процессе организации строительства выбирают технику для производства работ, при этом учитывают следующие факторы:

- тип и объем работ. Выбор машины будет различаться из-за объемов работ, например, для больших объемов грунта или глубокого котлована нужен экскаватор, для строительства длинной дороги – грейдер или скрепер.

- характеристики грунта. Для работы с сыпучими и легкими материалами нужен погрузчик, а для мерзлых скальных грунтов – экскаватор.

- условия строительства. В городских условиях стесненности эффективно работает колесная техника, а в болотистой местности или на бездорожье – гусеничная [3].

- экономическая целесообразность. Планируя работу с техникой, необходимо определить стоит купить машину или взять в аренду. Следует также оценить расходы на топливо и обслуживание машины [4].

При работе с землеройной техникой часто делают ошибки:

- неправильно выбирают машину. Более производительную машину используют там, где это не нужно, что ведет к перерасходу топлива, финансов. Может привести к быстрому износу машины и ее оборудования.

- экономят на техническом обслуживании машины. Использование дешевых масел, запчастей недопустим, так как приводит к внезапным поломкам в разгар работы, что, в конечном итоге, приносит убытки. Машинисты должны периодически проверять технику перед началом смены и проводить регулярные технические осмотры.

- нарушают технологию работ. Перегрузка техники может привести к быстрому ее выходу из строя.

- не соблюдают технику безопасности. Нельзя работать при наличии людей в зоне действия землеройной машины, поскольку любое ее движение грозит травмой или гибелью. Нельзя работать вблизи линий электропередач, на краю неукрепленного котлована.

В любом случае машинист должен быть квалифицированным, знать и понимать принципы работы землеройной машины.

На сегодняшний день при использовании строительной техники применяются новые технологии [5].

Например, используются GPS и 3D-системы нивелирования, которые устанавливаются на отвал бульдозера или ковш экскаватора, и позволяют оператору достаточно точно выполнять свою работу без участия геодезистов. В настоящее время широко используется беспилотная техника и дистанционное управление. Это применяется в опасных зонах – карьерах, зонах обрушения. Используются также встроенные датчики, которые передают данные о местоположении техники, расходе топлива, времени работы. Они предупреждают о необходимости технического обслуживания, оптимизируют логистику.

Таким образом, машины для производства земляных работ выполняют сложные и трудоемкие задачи с высокой точностью. Большинство из них отличается хорошей проходимостью, маневренностью, производительностью, потому они незаменимы при строительстве зданий и сооружений.

Список литературы

1. Кузьмич, Н.П. Роль транспортной инфраструктуры в социально-экономическом развитии региона / Н.П.Кузьмич // Экономика и предпринимательство. – 2025. – №2(175). – С. 558 – 560. DOI: 10.34925/EIP.2025.175.2.102 EDN: SKNKKE

2. Серов, В.М. Организация и управление в строительстве: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/ В.М.Серов, Н.А.Нестерова, А.В.Серов. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. - 432 с.

3. Глазунова, С.А. Безопасность и риски, связанные с использованием машинных механизмов / С.А.Глазунова, Ю.И.Макаров, Е.Д.Денисова // Экономика строительства. – 2025. – №3. – С.399 – 401.

4. Опыт реформирования экономической, социальной и инновационно-технической систем управления предприятий и отраслей/Демьянович И.В., Зелинская М.В., Ащеулов А.В., Ковальская Л.Л и др.//под ред. Бондаренко В.В. – монография. 2010. – Пенза: Пензенский ГАУ. – 302 с. EDN: QUCAGP

5. Кузьмич, Н.П. Проблемы инновационного развития инвестиционно–строительного комплекса региона / Н.П.Кузьмич // Теория и практика общественного развития. – 2020. – №6 (148). – С. 57 – 61. DOI: 10.24158/tpor.2020.6.9

ИЗМЕРЕНИЯ ТЯГОВОГО УСИЛИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Кузнецов Максим Александрович, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

kuznetsovm4x1m@yandex.ru

Шмаков Богдан Артемович, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

super.bogdan19786@yandex.ru

Научный руководитель: Кузнецов Александр Вадимович, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

kuznetsov1223@yandex.ru

Аннотация. Работа направлена на повышение эффективности методов и средств измерения тягового сопротивления (усилия) при экспериментальном определении функциональных характеристик рабочих органов сельскохозяйственной техники, оценка которых производится при полевых испытаниях.

Ключевые слова: почвообрабатывающий агрегат, рабочий орган, тяговое сопротивление, полевые испытания

Стремление к улучшению эксплуатационных характеристик и потребительских свойств сельскохозяйственной почвообрабатывающей техники приводит к усложнению конструкции основных ее узлов и рабочих органов. В настоящее время синтез лучших конструкций рабочих органов сельскохозяйственной техники и создание энергоэффективных почвообрабатывающих машин является, одним из направлений развития позволяющим эффективно развивать машиностроение.

Оптимизация параметров используемых рабочих органов почвообрабатывающих машин и разработка новых осуществляется для повышения качества поверхностной обработки почвы и снижения энергетических затрат, что имеет важное значение для сельскохозяйственного производства.

Для определения тягового сопротивления рабочих органов культиватора в лабораторных условиях используют установки, которые включают подвижную тележку, на которой крепятся исследуемые лапы, барабан с тяговым тросом и тензометрический датчик силы растяжения. Результаты измерения регистрируются датчиком силы и обрабатываются тензометрической станцией.

В Полевых условиях достоверным способом определения тяговых сопротивлений сельскохозяйственных машин является динамометрирование. При этом для определения тягового сопротивления используются методы прямого замера, когда силоизмерительное звено позволяет получить значение искомого параметра и методы косвенного измерения - по результатам измерения каких-либо других параметров. В качестве силоизмерительных элементов используются механические динамометры или тензометрические звенья [1].

Общим недостатком этих способов является сложность создания одинаковых условий для исследуемых лап (скорость, твердость почвы и т.д.).

Цель работы – разработка устройства для оценки эффективности работы рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Задачи исследований

- 1) выполнить поисковые исследования существующих способов оценки тяговых сопротивлений рабочих органов;
- 2) разработать устройство для измерения тягового сопротивления рабочих органов почвообрабатывающих машин;

3) изготовить опытный образец устройства позволяющего произвести измерение сопротивление рабочих органов.

Результатом решения первой задачи на уровне научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы нами предложено, спроектировано и изготовлено (рис. 1) универсальное устройство для измерения тягового сопротивления рабочих органов, которое можно легко установлено на раме почвообрабатывающей машины или использоваться отдельно.



Рисунок 1 – Устройство для измерения тягового сопротивления рабочих органов культиватора

Схема измерения с использованием предлагаемого устройства для экспериментальной оценки почвообрабатывающего рабочего органа представлена на рисунке 2.

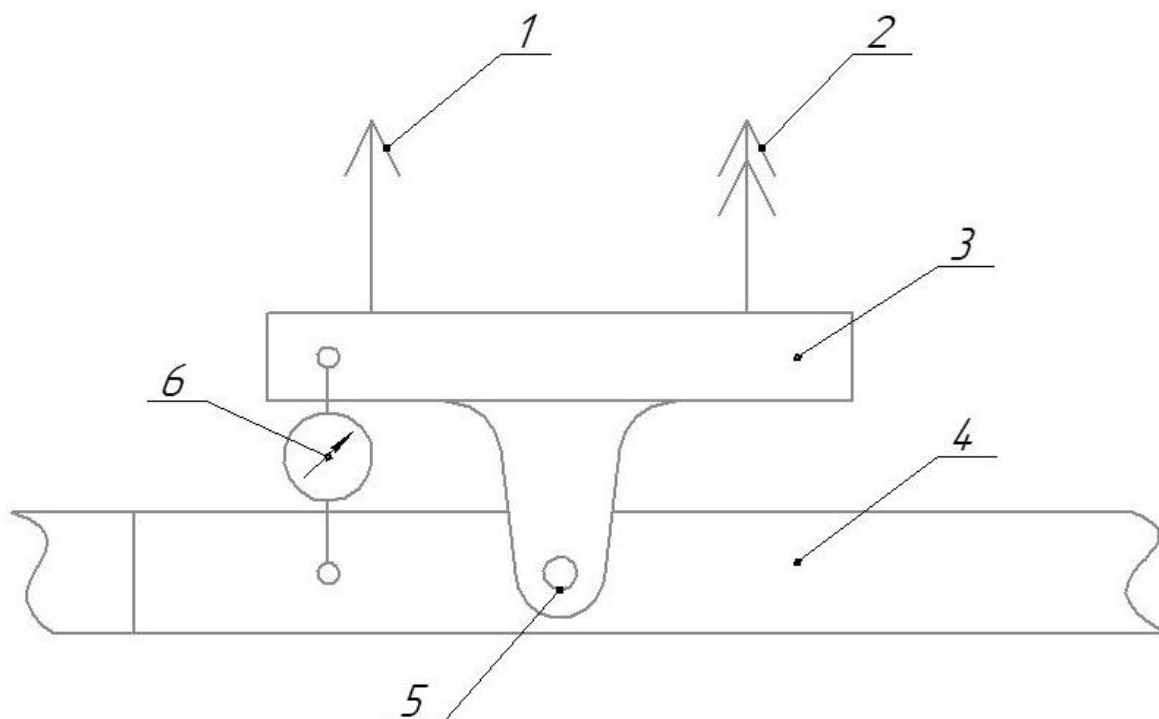


Рисунок 2 – Схема измерения сопротивления рабочих органов: 1 и 3 – соответственно «эталонный» и испытываемый рабочие органы; 3 – рычаг; 4 – рама; 5 – шарнир; 6 – динамометр

Предлагаемое устройство для измерения тягового сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов включает раму 4, на которой смонтирован двулучий рычаг 3, к которому закреплены «эталонный» 1 и испытываемый 2 рабочие

органы. При этом рычаг 3 соединен с рамой культиватора 4 при помощи шарнира 5 и одно из плеч рычага через динамометр связано с рамой.

Устройство работает следующим образом.

При движении тракторного агрегата с установленным дополнительно устройством измерения тягового сопротивления рабочих органов в процессе обработки почвы происходит заглубление рабочих органов в почву на установленную одинаковую глубину обработки. Такое расположение испытываемого и «эталонного рабочего» органа создает одинаковые условия для рабочих органов (скорость перемещения, свойства почвы и др.).

Силы сопротивления, действующие на рабочий орган с большим сопротивлением, заставляют поворачиваться рычаг 3 на оси 5 в сторону рабочего органа с большим тяговым сопротивлением. При этом разность сопротивлений воспринимается динамометром 6. Посредством динамометра величина силы, действующая на динамометр, фиксируется и откладывается в памяти. Далее полученные данные могут, обрабатываются на компьютере.

Новизной предлагаемого устройства является возможность в автоматическом режиме фиксировать разность сопротивлений рабочих органов при работе в одинаковых условиях, а также производить анализ, определять значимость и оптимальные величины параметров.

Предлагаемое устройство также может быть использовано для определения абсолютных значений тягового сопротивления исследуемых лап культиватора, если на противоположной части рычага лапу не устанавливать.

Список литературы

1. Дробот, В. А. Новая полевая установка для инженерной оценки почвообрабатывающих рабочих органов / В. А. Дробот, В. Ф. Tarasenko // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 91. – С. 712-720.

2. Патент на полезную модель № 232841 U1 Российская Федерация, МПК А01В 71/02, А01В 63/32, А01В 35/02. Устройство для регулировки положения рабочих органов культиватора: заявл. 15.07.2024: опубл. 24.03.2025 / А. В. Кузнецов, Н. В. Кузьмин, Н. И. Селиванов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Красноярский государственный аграрный университет".

3. Система управления положением рабочих органов многофункционального почвообрабатывающего орудия для сплошной обработки почвы / А. В. Кузнецов, Н. В. Кузьмин, Ю. Ф. Кайзер, В. А. Будьков // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России: Материалы V Международной научной конференции, Красноярск, 21 ноября 2024 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2025. – С. 65-69.

ПРОГРАММНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ БПЛА В АПК: ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ, ГОТОВНОСТЬ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Люднев Виталий Сергеевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

e-mail: www.vitali865.2@gmail.com

Научный руководитель: Пупков Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

e-mail: alex007p@yandex.ru

Аннотация. Внедрение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в агропромышленном комплексе (АПК) повышает оперативность мониторинга сельхозугодий, однако устойчивое применение упирается в инженерное обеспечение эксплуатации: базирование, зарядную инфраструктуру, связь, готовность техники, регламенты технического обслуживания и контроль рисков полевых работ. В статье предложен подход к построению программно-аналитического комплекса, который объединяет диспетчеризацию миссий и управление инженерными ресурсами БПЛА в едином контуре. Описана функциональная модель процессов «планирование – выполнение – прием данных – обслуживание», приведена целевая архитектура модулей, а также набор эксплуатационных показателей (KPI), позволяющих измерять готовность флота и качество выполнения полетных заданий.

Ключевые слова: АПК, БПЛА, инженерное обеспечение, эксплуатация, диспетчеризация, телеметрия, аккумуляторы, техническое обслуживание, готовность, цифровизация

Беспилотные летательные аппараты в АПК применяются для мониторинга состояния посевов, обнаружения проблемных зон, уточнения контуров полей, контроля работ и оперативной инвентаризации. При этом реальный эффект от технологий БПЛА достигается не столько за счет «налета часов», сколько за счет повторяемой и управляемой эксплуатации: техника должна быть готова к вылету в нужный день и час, данные – корректно приняты и обработаны, а инженеры и операторы – работать по понятным регламентам.

Практика показывает, что основные потери эффективности возникают на уровне инженерного обеспечения:

- неучтенные ограничения (погодное окно, ветер/осадки, ограничения по зоне полета, связь);
- низкая готовность из-за аккумуляторов (дефицит заряда, деградация, неверная организация зарядки/хранения);
- отсутствие прозрачного ТО (не фиксируется наработка, не ведутся чек-листы, нет дисциплины регламентов);
- разрывы в данных (часть телеметрии или результаты съемки теряются, нет истории инцидентов);
- неопределенность ответственности (кто планирует, кто утверждает, кто обслуживает, кто отвечает за безопасность).

Следовательно, инженерное обеспечение БПЛА в АПК требует цифрового контура, который соединяет эксплуатационные процессы, учет ресурсов и аналитику. Цель данной работы – описать программно-аналитический комплекс (ПАК), обеспечивающий диспетчеризацию миссий и инженерное сопровождение эксплуатации БПЛА в условиях сельхозпредприятия.

Цель: разработать концептуальную модель программно–аналитического комплекса инженерного обеспечения эксплуатации БПЛА в АПК, повышающего готовность флота и управляемость полевых работ.

Задачи:

- формализовать жизненный цикл полетного задания в АПК (от планирования до закрытия и передачи результатов);
- определить состав инженерных ресурсов и параметров готовности (БПЛА, АКБ, зарядная инфраструктура, связь, персонал, регламенты ТО);
- предложить модульную архитектуру ПАК, объединяющую диспетчеризацию и инженерный контур;
- сформировать набор КРІ эксплуатации и качества миссий для управленческого контроля.

Объект: эксплуатация БПЛА в сельскохозяйственном предприятии (мониторинговые миссии и сопутствующие процессы обеспечения).

Предмет: методы цифровизации инженерного обеспечения и программные механизмы учета, контроля и аналитики, обеспечивающие готовность БПЛА к выполнению полевых задач.

Для устойчивой эксплуатации минимально необходимы следующие роли (часть может совмещаться):

- инициатор (агроном/производственник): формирует потребность (какое поле, что проверить, когда нужно);
- диспетчер/оператор БПЛА: планирует миссию, проверяет ограничения, запускает и контролирует выполнение;
- инженер/техник: отвечает за исправность, аккумуляторы, зарядную инфраструктуру, ТО и ремонты;
- аналитик/специалист по данным (опционально): принимает результаты, проверяет качество данных, готовит отчеты.

Процесс «планирование – выполнение – закрытие» целесообразно рассматривать как 4 стадии:

1. Планирование миссии:

- выбор поля и цели (осмотр/карта/контроль участка);
- определение окна выполнения (по погоде и доступности персонала);
- формирование маршрута, зон риска и требований к данным (например, перекрытие съемки).

2. Предполетная готовность:

- проверка БПЛА по чек–листу;

3. подбор и проверка АКБ (уровень заряда, температура, состояние);

- проверка связи, навигации, ограничений зоны полета.

4. Выполнение миссии:

- мониторинг телеметрии (координаты, высота, скорость, батарея, события);
- фиксация отклонений и инцидентов (ветер, связь, аварийное завершение).

5. Закрытие миссии и инженерная фиксация:

- прием данных/материалов и контроль качества;
- обновление наработки и состояния техники/АКБ;
- создание задач ТО/ремонта при необходимости;
- формирование отчета и показателей эффективности.

Ключевая мысль: миссия считается завершенной только после закрытия инженерного контура (данные приняты, наработка записана, ТО назначено/подтверждено).

ПАК целесообразно строить как модульную систему с единым хранилищем и журналом событий. На практике это может быть веб–контур/desktop–клиент для оператора и инженера, сервер приложений, база данных, плюс интеграции (карты, GNSS/RTK, при необходимости – ERP/документооборот).

Целевой минимум модулей представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Модули программно-аналитического комплекса

Модуль	Назначение	Основные данные
Планирование миссий	Маршруты, поля, окна выполнения, зоны риска	Контуры полей, маршруты, ограничения
Диспетчеризация и статусы	Очередь миссий, назначения, контроль исполнения	Статусы миссий, ответственные
Телеметрия и события	Прием телеметрии, журнал инцидентов	Точки трека, события, параметры полета
Управление АКБ и зарядкой	Учет аккумуляторов, циклы, деградация, зарядные станции	Заряд/температура/циклы, состояние АКБ
ТО и ремонт (ТОиР)	Регламенты, чек-листы, заявки, история работ	Наработка, дефекты, работы, ЗИП
Контроль ограничений	Погода, геозоны, безопасность	Метеоданные, геозоны, допуски
Аналитика и отчеты	КРІ, готовность, простои, качество миссий	Показатели, причины отказов

Для инженерного обеспечения важно обеспечить трассируемость: «какая миссия – каким БПЛА – с какими АКБ – с какими событиями – с какими результатами – к каким работам ТО привела». Базовые сущности модели данных: БПЛА, АКБ, миссия, телеметрия/трек, события, работы ТО/ремонта, результаты миссии.

Для управляемости эксплуатации целесообразно разделить КРІ на две группы: готовность флота и качество выполнения миссий.

1. Коэффициент технической готовности (КТГ).

2. Доля миссий, сорванных по инженерным причинам (АКБ/зарядка/поломка/отсутствие комплектности).

3. Среднее время восстановления (MTTR) – с момента фиксации неисправности до возврата в состояние «готов».

4. Соблюдение регламентов ТО – доля работ, выполненных в срок по наработке/календарю.

5. Управляемость АКБ-парка: доля АКБ с превышением допустимой деградации, среднее число циклов и разброс по парку, процент вылетов с АКБ, близкими к порогу ресурса.

$$КТГ = \frac{T_{готов}}{T_{календар}}, \quad (1)$$

где $T_{готов}$ – время в состоянии «готов к вылету», $T_{календар}$ – календарное время в периоде.

- успешность миссий (успешно завершённые / запланированные);
- процент выполнения маршрута (по длине/точкам/времени);
- отклонение от маршрута (среднее/максимальное);
- качество данных (полнота покрытия, отсутствие пропусков, соответствие параметрам съёмки);

- время от посадки до готового результата (оперативность данных для агронома).

ПАК должен формировать показатели автоматически на основе телеметрии, событий, данных миссий и истории ТО.

В качестве результата предлагается целевой контур внедрения ПАК в инженерную практику АПК.

До внедрения (типично):

- задания на вылет выдаются в мессенджерах или устно;
- учет АКБ ведется неформально, без истории циклов и деградации;
- ТО фиксируется неполно, нет привязки к наработке и инцидентам;
- причины срывов не классифицируются, управленческих КРІ нет.

После внедрения ПАК:

- миссии создаются и закрываются в системе, маршрут и параметры фиксируются;
- АКБ имеют паспорта и состояние (заряд/циклы/температурные события), система рекомендует доступные АКБ;
- наработка автоматически обновляется по телеметрии, регламенты ТО формируют задания инженеру;
- инциденты классифицируются, формируются отчеты по готовности, простоям и причинам отказов;
- повышается предсказуемость планирования работ в погодные окна.

Практический эффект: снижение простоев из-за неготовности, повышение безопасности за счет контроля ограничений и чек-листов, ускорение цикла «вылет – результат», накопление базы отказов и опыта эксплуатации для улучшения регламентов.

Инженерное обеспечение эксплуатации БПЛА в АПК является определяющим фактором устойчивого применения технологии в сезонных и полевых условиях. Предложенный программно-аналитический комплекс объединяет диспетчеризацию миссий и управление инженерными ресурсами (техника, АКБ, ТО, ограничения) в едином контуре данных и событий. Модульная архитектура и набор КРП позволяют перейти от разовых вылетов к управляемой эксплуатации: измерять готовность флота, выявлять причины простоев, обеспечивать дисциплину ТО и повышать качество выполнения миссий. В результате цифровизация инженерного контура БПЛА повышает эффективность мониторинговых работ и снижает операционные риски для сельхозпредприятия.

Список литературы

1. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. 2017–03–01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 28 с. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293754/4293754027.pdf> (дата обращения: 18.02.2026).
2. ISO 14224:2016. Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. – 3rd ed. – Geneva: ISO, 2016. – 272 p. – URL: <https://www.iso.org/standard/64076.html> (дата обращения: 18.02.2026).
3. Guebsi R., Mami S., Chokmani K. Drones in Precision Agriculture: A Comprehensive Review of Applications, Technologies, and Challenges // Drones. – 2024. – Vol. 8, No. 11. – Art. 686. – DOI: 10.3390/drones8110686. – URL: <https://www.mdpi.com/2504-446X/8/11/686> (дата обращения: 18.02.2026).
4. Istiak Md. A., Syeed M. M. Mahbul, Hossain Md. Shakhawat, et al. Adoption of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery in agricultural management: A systematic literature review // Ecological Informatics. – 2023. – Vol. 78. – Art. 102305. – DOI: 10.1016/j.ecoinf.2023.102305. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574954123003345> (дата обращения: 18.02.2026).
5. McFadden J., Casalini F., Griffin T., Antón J. The Digitalisation of Agriculture: A Literature Review and Emerging Policy Issues. – OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 176. – Paris: OECD, 2022. – 57 p. – URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/04/the-digitalisation-of-agriculture_dd2a1973/285cc27d-en.pdf (дата обращения: 18.02.2026).
6. Trendov N. M., Varas S., Zeng M. Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas: Status Report. – Rome: FAO, 2019. – URL: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca4887en> (дата обращения: 18.02.2026).
7. Zhang J., Li K. State-of-Health Estimation for Lithium-Ion Batteries in Hybrid Electric Vehicles – A Review // Energies. – 2024. – Vol. 17, No. 22. – Art. 5753. – DOI: 10.3390/en17225753. – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/22/5753> (дата обращения: 18.02.2026).
8. Edge J. S., O’Kane S., Prosser R., et al. Lithium ion battery degradation: what you need to know // Physical Chemistry Chemical Physics. – 2021. – Vol. 23, Iss. 14. – P. 8200–8221. – DOI: 10.1039/D1CP00359C. – URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/cp/d1cp00359c> (дата обращения: 18.02.2026).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШАССИ УРАЛ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БПЛА

Маслов Егор Викторович, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

egorka.m.04@mail.ru

Худяков Матвей Васильевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

hudyakov.matvei@yandex.ru

Научный руководитель: Полюшкин Николай Геннадьевич, кандидат технических наук

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

nigenn@mail.ru

Аннотация. В статье проведен сравнительный анализ полноприводных грузовых шасси отечественного производства для создания высококомбинированных транспортно-технических комплексов (ВТТК) сельскохозяйственного назначения. На основе технико-экономических показателей обосновано преимущество шасси УРАЛ 4320-6151-73 перед альтернативными решениями (КАМАЗ, импортные аналоги) для эксплуатации в условиях Сибири и Дальнего Востока. Выбор обоснован такими критериями, как проходимость, ремонтпригодность в полевых условиях, стоимость владения, унификация с парком техники и климатическая адаптивность. Показано, что использование шасси УРАЛ позволяет снизить эксплуатационные расходы на 12–15% и обеспечить срок службы комплекса не менее 10 лет.

Ключевые слова: шасси УРАЛ, ВТТК, сельскохозяйственная техника, проходимость, ремонтпригодность, стоимость владения, Сибирь, импортозамещение

Исследования и публикация статьи выполнены при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» и предприятия ООО «Борус» в ходе выполнения проекта 20250423-09220 «Мобильный комплекс (дронпорт) для транспортировки и эксплуатации БАС сельскохозяйственного назначения в условиях Сибири и Дальнего Востока»

При создании специализированной техники для агропромышленного комплекса выбор базового шасси является одним из критических решений, определяющих эффективность всего проекта. Для высококомбинированного транспортно-технического комплекса, предназначенного для транспортировки и эксплуатации беспилотных авиационных систем в условиях Сибири и Дальнего Востока, требования к шасси существенно превышают стандартные параметры дорожной техники.

Актуальность данного исследования обусловлена быстрым ростом рынка сельскохозяйственных БПЛА в России. По данным Минсельхоза РФ, в ближайшие годы предприятиями АПК будет закуплено различных БАС на сумму около 360 млн рублей. При этом объем государственного заказа на 2024–2026 годы составляет 299 БПЛА на 526 млн рублей. Однако инфраструктурное обеспечение их применения отстает от темпов развития самих летательных аппаратов.

Основная проблема внедрения агродронов в регионах Сибири и Дальнего Востока заключается в отсутствии специализированных транспортных средств для их доставки к месту применения. Существующие решения не адаптированы для работы в условиях слабо развитой дорожной сети, больших расстояний между полями и суровых климатических условий. Мониторинг и обработка полей в зонах рискованного земледелия часто затруднены из-за сезонной распутицы и невозможности проезда легкой техники.

Цель данной работы – провести сравнительный анализ доступных на рынке РФ полноприводных грузовых шасси и обосновать выбор конкретной модели для проекта ВТТК Красноярского ГАУ.

1. Критерии выбора шасси для ВТТК

На основе технического задания проекта были определены следующие приоритетные критерии оценки:

- проходимость (колесная формула, клиренс) – 25%;
- мощность двигателя – 15%;
- грузоподъемность – 20%;
- ремонтпригодность – 20%;
- стоимость владения – 15%;
- климатическое исполнение – 5%.

Требования проекта включают колесную формулу 6×6, клиренс не менее 315 мм, мощность двигателя от 150 кВт, возможность работы при температуре до –15 °С и ниже. Данные параметры обусловлены необходимостью обеспечения автономности комплекса в течение 2–4 суток и запаса хода по бездорожью не менее 350 км.

2. Сравнительный анализ доступных шасси

Шасси УРАЛ 4320-6151-73.

Преимущества:

- колесная формула 6×6 с постоянным полным приводом обеспечивает равномерное распределение нагрузки и высокую проходимость по бездорожью;
- дорожный просвет 315 мм превышает показатели большинства аналогов, что критически важно для преодоления колеи и неровностей полевых дорог;
- двигатель ямз-238/536 мощностью от 150 кВт с турбонаддувом адаптирован к низкотемпературному запуску;
- удлиненная база позволяет разместить модульный фургон длиной до 5140 мм без нарушения развесовки.

Эксплуатационные преимущества:

- унификация с парком сельхозтехники – до 40% грузового парка сельскохозяйственных предприятий Сибири составляют автомобили семейства УРАЛ;
- ремонтная инфраструктура доступна в районных центрах Красноярского края, что обеспечивает возможность проведения регламентных работ вблизи мест эксплуатации;
- механическая трансмиссия проще в обслуживании и ремонте в полевых условиях по сравнению с автоматизированными коробками передач;
- пневматическая тормозная система обеспечивает надежное торможение при полной массе до 21 300 кг.

Конструкция шасси предусматривает установку раздаточной коробки с блокируемым межосевым дифференциалом, что повышает проходимость в сложных дорожных условиях. Рулевое управление с усилителем снижает утомляемость водителя при длительных переездах между объектами.

Шасси КАМАЗ 43118/5350.

Преимущества:

- более современная кабина с улучшенной эргономикой повышает комфорт работы экипажа;
 - меньший расход топлива на 8–10% при аналогичной нагрузке снижает эксплуатационные затраты;
 - широкая сеть сервисных центров в центральных регионах России.
- недостатки для условий проекта:
- меньший дорожный просвет (310 мм против 315 мм у урал) критичен для весенней распутицы и уборочной кампании;

- более сложная электроника требует квалифицированного сервиса, недоступного в удаленных хозяйствах;
- меньшая доля в парке сельхозтехники сибиря (около 25% по данным ассоциации «Союз беспилотной сельхозавиации») усложняет поиск запчастей;
- более высокая чувствительность к качеству топлива в условиях удаленных регионов.

Для условий Сибири и Дальнего Востока, где расстояние до специализированных сервисных центров может превышать 200 км, простота конструкции и ремонтпригодность становятся приоритетными факторами выбора.

Импортных шасси (Tatra T817-7T3R31, Mercedes-Benz Zetros 2733 A):

Преимущества:

- современные системы комфорта и безопасности повышают условия труда экипажа;
- высокая надежность при эксплуатации на дорогах с твердым покрытием.

Недостатки для условий проекта:

- логистика запчастей – сроки поставки до 45–60 дней, что недопустимо для сезонных работ;
- климатическая адаптация – большинство моделей не сертифицированы для эксплуатации ниже -20°C без дополнительных доработок;
- стоимость владения в 2–3 раза выше отечественных аналогов из-за цены запчастей и обслуживания;
- валютные риски и зависимость от санкционных ограничений создают угрозу бесперебойной эксплуатации.

В условиях технологического суверенитета и импортозамещения выбор отечественного шасси становится не только экономическим, но и стратегическим решением.

3. Экономическое обоснование выбора УРАЛ

На основе данных проекта сметы расходов проведен расчет стоимости владения комплексом на базе разных шасси в течение 10 лет (плановый срок службы ВТТК).

Таблица 1 – Сравнительная стоимость владения, млн руб. за 10 лет

Статья расходов	УРАЛ 4320	КАМАЗ 43118	Импортный аналог
Закупка шасси	7,2	7,8	12,5
ТО и ремонт	3,5	4,2	8,7
Запчасти	1,8	2,4	6,3
Топливо	15,0	13,8	14,2
Итого	27,5	28,2	41,7

Шасси УРАЛ обеспечивает минимальную стоимость владения за счет доступности запчастей и возможности ремонта силами хозяйств. Экономия по сравнению с импортными аналогами составляет до 34%.

Дополнительным экономическим преимуществом является возможность использования единого вида топлива для всех энергетических установок ВТТК (тяговый ДВС, генераторы, автономный отопитель). Это упрощает логистику и снижает риски простоя комплекса из-за нехватки ГСМ.

По данным проекта, внедрение ВТТК на базе УРАЛ позволяет снизить себестоимость мероприятий по уходу за посевами не менее чем на 8%, сократить продолжительность выполнения работ на 15% и уменьшить количество повторных обработок из-за погодных факторов на 40%.

4. Региональная специфика и климатическая адаптация

Для Сибири и Дальнего Востока критическими являются следующие факторы:

1. Низкие температуры. УРАЛ 4320 комплектуется предпусковыми подогревателями, системами утепления кабины и фургона. В проекте запланирована установка автономных отопителей Планар-9Д-24 мощностью 8 кВт, обеспечивающих комфортные условия работы экипажа при температурах до -15°C и ниже.

2. Сезонная распутица. Колесная формула 6×6 с межосевым блокируемым дифференциалом обеспечивает проходимость там, где техника 4×4 буксует. Дорожный просвет 315 мм позволяет преодолевать глубокую колею без риска повреждения агрегатов.

3. Удаленность сервисов. Простота конструкции позволяет выполнять 80% регламентных работ силами механиков хозяйств, тогда как КАМАЗ и импортные шасси требуют специализированного оборудования для диагностики.

4. Большие расстояния. Запас хода по бездорожью не менее 350 км и емкость топливных баков не менее 200 л обеспечивают автономность работы в течение 2–4 суток без возвращения на базу.

Климатическое исполнение шасси УРАЛ соответствует требованиям ГОСТ 15150-69 для умеренного и холодного климата (исполнение УХЛ), что подтверждено многолетней эксплуатацией в условиях Красноярского края.

5. Унификация и масштабирование

Одним из ключевых аргументов в пользу УРАЛ является возможность масштабирования производства ВТТК для экспорта в страны со схожими условиями:

- Казахстан и Монголия – шасси УРАЛ широко распространены, что упрощает сервисную поддержку и снижает барьеры для выхода на рынок;
- страны Центральной Азии (Узбекистан, Киргизия) – наличие совместных сервисных центров и знакомство персонала с конструкцией автомобиля;
- страны Африки – интерес к российской технике повышенной проходимости для сельскохозяйственных проектов в регионах с неразвитой дорожной инфраструктурой.

Это соответствует целям проекта по экспорту ВТТК. Фактором, содействующим экспорту, является широкое применение в этих странах грузовых автомобилей повышенной проходимости российского производства, шасси которых планируется использовать в настоящем проекте.

Разрабатываемый ВТТК для БПЛА может при минимальных доработках использоваться в лесной отрасли для цифровизации, мониторинга и обработок лесных участков пестицидами и инсектицидами. Это расширяет потенциальный рынок сбыта и повышает экономическую эффективность проекта.

6. Риски и меры их минимизации

Основные риски, выявленные в ходе технико-экономического обоснования, и меры по их минимизации приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Риски и меры минимизации

Риск	Вероятность	Мера минимизации
Удорожание комплектующих	Средняя	Заключение долгосрочных контрактов с поставщиками
Изменение нормативной базы	Средняя	Адаптация конструкции под новые требования
Дефицит запчастей	Низкая	Создание страхового запаса на базе ООО «Борус»

Текущий уровень знаний, компетенций и технических возможностей в стране и в крае достаточны и не вызывают рисков не достижения ожидаемых результатов проекта. Коллектив проекта включает молодых ученых и специалистов Летной школы Красноярского ГАУ, конструкторов сельскохозяйственных машин и оборудования, специалистов по эксплуатации и ремонту сельскохозяйственной и автомобильной техники.

Проведенный анализ показывает, что шасси УРАЛ 4320-6151-73 является оптимальным выбором для создания высококомобильного транспортно-технического комплекса в условиях Сибири и Дальнего Востока. Ключевыми преимуществами являются:

1. Техническая адаптированность – проходимость, клиренс, мощность двигателя соответствуют требованиям проекта;

2. Экономическая эффективность – минимальная стоимость владения среди доступных аналогов;

3. Инфраструктурная доступность – ремонт и обслуживание возможны в условиях большинства сельхозпредприятий;

4. Потенциал масштабирования – возможность экспорта в страны со схожими условиями эксплуатации.

Выбор УРАЛ обеспечивает выполнение целевых показателей проекта: снижение себестоимости обработки на 8%, сокращение сроков работ на 15% и уменьшение повторных обработок на 40%. Срок службы комплекса составляет не менее 10 лет, что подтверждает долгосрочную экономическую целесообразность данного решения.

Список литературы

1. Липко, Д. А. Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве: проблемы и перспективы / Д. А. Липко, А. В. Измайлов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15. – № 3. – С. 4–11.

2. Загазежева, О. З. Переход к роботизированным технологиям в сельских территориях на примере создания опытного района для разработки и внедрения беспилотных интеллектуальных робототехнических систем / О. З. Загазежева, К. Ч. Бжихатлов, Х. А. Бароков, З. Ю. Кантiev // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 6(110). – С. 186–193.

3. Лосев, Д. М. Цифровые технологии дистанционного управления и контроля при производстве строительных работ / Д. М. Лосев // Вестник НИЦ «Строительство». – 2024. – Т. 41. – № 2. – С. 148–157.

4. Кузьменко, В. П. Интеграция дронопортов в конструкцию опор светодиодного уличного освещения / В. П. Кузьменко // Перспективы науки. – 2024. – № 2(173). – С. 82–85.

5. Глибчук, С. А. Метеорологическое обеспечение дронопортов (вертипортов) для проектов городской аэромобильности (аэротакси) / С. А. Глибчук, Л. И. Коломеец, О. С. Воронин, А. В. Лебедев // Авиационная и спутниковая метеорология : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 09 октября 2023 года). – СПб.: Изд.-полигр. ассоц. вузов, 2023. – С. 38–43.

6. Автомобили УРАЛ: каталог продукции / ООО «Уральский завод грузовых автомобилей» [Электронный ресурс]. – Миасс, 2024. – URL: <https://uralaz.ru/production/trucks/ural-4320/> (дата обращения: 22.02.2026).

7. Агродроны облетают российские поля: как БПЛА помогают сельхозпредприятиям экономить [Электронный ресурс] // Агроинвестор. – 2024. – URL: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/43094-agrodrony-obletayut-rossiyskie-polya-kak-bpla-pomogayut-selkhozpredpriyatiam-ekonomit/> (дата обращения: 22.02.2026).

ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ В АПК

Муравьев Олег Владиславович, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

CondaricanEmpireum@yandex.ru

Научный руководитель: Медведев Михаил Сергеевич, кандидат технических наук

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

misha_08_80@mail.ru

Аннотация. В статье обосновывается критическая важность правильной постановки сельскохозяйственной техники на хранение как ключевого фактора обеспечения экономической эффективности агропромышленного комплекса. Рассматриваются основные угрозы, возникающие в межсезонный период: коррозия металлов, разрушение эластомеров, старение рабочих жидкостей и повреждение техники грызунами. Подчеркивается, что пренебрежение правилами хранения ведет к ускоренной амортизации активов, увеличению простоев в страдную пору и создает угрозу безопасности персонала. Особое внимание уделяется анализу использования систем вентиляции в качестве эффективного инструмента антикоррозионной защиты. В качестве перспективного направления предлагается интеграция систем приточной вентиляции с подачей летучих ингибиторов коррозии, что позволяет создать комплексную защиту техники на период хранения.

Ключевые слова: вентиляция, сельскохозяйственное оборудование, защита, бактерии, надежность, коррозия

Постановка сельскохозяйственной техники на хранение – это не просто формальность или дань инструкции, а критически важный технологический процесс, от которого напрямую зависит экономическая эффективность хозяйства в следующем сезоне.

Многие аграрии ошибочно воспринимают период хранения как «мертвый» сезон, когда техника не работает и, следовательно, не требует внимания. На самом деле, именно в этот период закладывается основа ее будущей надежности.

Сельскохозяйственная техника – это один из самых дорогостоящих активов предприятия. Стоимость современного трактора или комбайна исчисляется миллионами рублей. Правильное хранение предотвращает ускоренную амортизацию и обесценивание актива. Кроме этого техника, которая хранилась с соблюдением правил, имеет значительно более высокую остаточную стоимость при продаже на вторичном рынке. Никто не купит ржавый комбайн с гнилыми ремнями по цене рабочей машины.

В период межсезонья техника подвергается агрессивному воздействию окружающей среды, которое часто разрушительное, чем рабочие нагрузки [1].

Главный враг – коррозия, особенно опасна коррозия внутри узлов (гидроцилиндры, редукторы), где скапливается конденсат, смешиваясь с остатками масла.

Сельскохозяйственные работы имеют жесткие агротехнические сроки («весна год кормит»). Потеря нескольких дней на ремонт техники, которая испортилась за зиму, может обернуться потерей урожая. Причем правильно подготовленная и сохраненная техника требует минимального вмешательства весной. Ее достаточно снять с хранения, провести предсезонное ТО и вывести в поле. А узлы, защищенные от коррозии и деформации зимой, прослужат значительно дольше в период активной работы. Нельзя не забывать, что техника с прогнившими тормозными магистралями, лопнувшими от мороза шлангами или перетертой грызунами проводкой представляет опасность для механизатора [2].

Постановка на хранение – это не просто «убрать технику в сарай». Это комплекс профилактических мероприятий, направленных на: предотвращение физического

разрушения техники силами природы; обеспечение технической готовности к началу сезонных работ; сохранение финансовой стоимости основных средств предприятия.

Пренебрежение этим этапом ведет к прямому убытку: техника быстрее приходит в негодность, чаще ломается, и хозяйство вынуждено тратить средства на преждевременный ремонт или замену, вместо того чтобы вкладывать их в развитие.

Целью данной работы является улучшение эффективности хранения техники в зимний период с использованием вентиляции.

Когда речь заходит о вентиляции в АПК, многие сразу представляют себе вентиляцию, как способ заботы о здоровье животных, сохранности урожая во время его хранения. Однако существует еще одна функция вентиляции, что является «вспомогательной», но на практике она играет существенную роль, а именно, защита от коррозии.

В рамках данной статьи, было решено исследовать эффективность применения вентиляции как инструмента противодействию коррозии сельскохозяйственной техники, в период ее хранения и выполнения сельскохозяйственных работ.

В качестве теоретического исследования, провели анализ проблемной ситуации и заключение вывода об эффективности ее использования для данных целей. Перед началом анализа, следует обозначить, что же такое вентиляция?

Вентиляция - это процесс обмена воздуха в помещении, который удаляет загрязненный воздух и обеспечивает приток свежего.

Особо опасными элементами, вызывающими коррозию в сфере АПК, являются аммиак, сероводород, углекислый газ, высокая влажность, химические испарения от удобрений.

Среди существующих способов, выделяют несколько принципов:

1. Осушение воздуха: Поддержание относительной влажности ниже критического порога (60-65%) не дает образовываться пленке влаги на поверхности металлоконструкций. Без воды электролитические процессы практически прекращаются.

2. Разбавление агрессивных газов: В закрытых помещениях, концентрация активных элементов, может достигать предельных значений. Они способны оседать на стенах и оборудовании, образуя щелочную среду, что вызывает коррозионное растрескивание металлов. Принцип данного способа, заключается в принудительном потоке свежего воздуха, снижающего воздействие активных коррозионных веществ за счет своего количества.

3. Температурная стабилизация: Ее принцип заключается в том, что температура объекта была близка к уличной, то есть, было обеспечено термодинамическое равновесие.

Для обеспечения данных принципов, существует множество устройств, например, моноблочные установки торговой марки «Dimmax» оборудование представлено на рисунках 1 и 2 [3].

Основной принцип действия данных установок, заключается в том, что они не допускают соединения трех компонентов: воды, кислот или щелочей, а также поверхности материала в течении времени.

Так же, для вентиляционных установок, существуют требования к герметичности, уклону, а в некоторых случаях есть конструктивные требования к расположению электродвигательных установок.

Перспективным направлением является применение летучих ингибиторов коррозии с их внедрением в помещения, где хранится техника. В момент запуска приточной вентиляции будет подаваться порция летучих ингибиторов коррозии, с помощью воздушного потока от вентиляционной системы ингибитор будет распространяться по помещению, где хранится техника, тем самым защищая ее от пагубного влияния.

- *Моноблочные вентиляционные установки со встроенной автоматикой*



Приточная и вытяжная установка Scirosso

Приточно-вытяжная установка Skyron

Рисунок 1 - Моноблочные вентиляционные установки со встроенной автоматикой



Приточные и вытяжные установки Skyron SingleDuct

Рисунок 2- Центральные секционные установки, выполненные по бескаркасной технологии

Данная технология способствует более надежному сохранению сельскохозяйственной техники в период хранения от коррозионных процессов, которые отрицательно влияют на сохранность техники.

Список литературы

1. Медведев М.С. Анализ условий сохранения работоспособного состояния сельскохозяйственной техники в нерабочий период [Текст] / М.С. Медведев // Международный научно-практический журнал Эпоха науки №28. - Ачинск: Ачинский филиал Красноярского ГАУ, 2021. - С. 82-85.
2. Юферев С.С. Коррозионная защита сельскохозяйственной техники при закрытом способе хранения [Текст] / С.С. Юферев, М.С. Медведев // Международный научно-практический журнал Эпоха науки №27. - Ачинск: Ачинский филиал Красноярского ГАУ, 2021. - С. 45-48.
3. Системы вентиляции для объектов с агрессивной средой. – Текст: электронный // URL: <https://dimmax.pro/stati/sistemyi-ventilyaczii-dlya-obektov-s-agressivnoj-sredoj.html> (Дата обращения 26.02.2026).

ОБОСНОВАНИЕ ФОРМУЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ РАСЧЕТА РАДИУСА РАЗВОРОТА СНЕГОХОДА

Муравьев Олег Владиславович, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

CondaricanEmpireum@yandex.ru

Научный руководитель: Филимонов Константин Владимирович, кандидат технических наук

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

filimonkonst4@mail.ru

Аннотация. Рассматривается проблема недостаточности данных в технических характеристиках снегоходов, обуславливающая необходимость формульного аппарата для расчета радиуса поворота. Предложены несколько вариантов формул, учитывающих конструктивные особенности машин и природно-производственные условия. Инновационность подхода заключается в использовании нейросети. Проведен анализ преимуществ и недостатков каждого варианта. Показаны перспективы применения полученных формул для широкого спектра задач.

Ключевые слова: снегоход, лыжи, колея, радиус разворота, техническая характеристика

В условиях Крайнего Севера, Сибири и приравненных к ним территорий снегоходы выступают не просто средством передвижения, а критически важным элементом транспортной сети, определяющим логистику грузоперевозок, промысла, медицинской помощи, патрулирования трубопроводов и ЛЭП, поисково-спасательных операций, жизненно необходимую общественную потребность в перемещении людей и грузов. Снегоход обеспечивает мобильность там, где другие виды наземного транспорта бессильны. В долгосрочной перспективе роль снегоходов будет только расти: по мере усиления геополитического значения Арктики и расширения масштабов ее освоения эта техника будет являться одним из ключевых элементов российской арктической инфраструктуры [1].

Эксплуатация снегоходной техники происходит в экстремально разнообразных условиях: изменение температуры от -45 до $+10$ $^{\circ}\text{C}$, изменение параметров опорной поверхности от рыхлой целины в несколько метров высотой или бугристой настовой тундры до накатанных трасс, льда водоемов и сложного лесного рельефа с необходимостью частых и крутых виражей. В таких условиях остро проявляется проблема управляемости на поворотах и особую важность приобретают параметры транспортных средств, обеспечивающие высокую маневренность и траекторную устойчивость.

Современный снегоход имеет одну расположенную сзади гусеницу с поперечными грунтозацепами для реализации мощности двигателя и сцепления на снегу или льду. Управление осуществляется поворотным лыжным узлом, расположенным в передней части, обычно включающим пару параллельных лыж. Свойства поверхности и компоновка обуславливают общеизвестные проблемы: при повороте лыж для изменения направления движения инерция снегохода стремится удерживать его на прямой линии, что приводит к сносу или заносу при трансформации траектории.

Одним из показателей маневренности транспортного средства является радиус полукружности, которую описывает машина при развороте на 180 градусов с вывернутым до упора рулем – радиус разворота. Чем меньше радиус разворота, тем легче маневрировать в ограниченном пространстве [2]. Однако для снегохода это понятие сложнее, чем для автомобиля, и требует уточнений: *теоретический радиус* рассчитывается исходя из геометрии рулевого управления (угла поворота лыж) и длины гусеницы. Это минимальный радиус, который мог бы описать снегоход на идеально скользкой поверхности при условии,

что гусеница имеет нулевую ширину и абсолютное сцепление. *Реальный эксплуатационный радиус* на практике всегда больше теоретического из-за:

- ширины гусеницы: при повороте гусеница «протирает» дугу, и ее внешний край описывает больший радиус;
- сцепления гусеницы со снегом: на рыхлом снегу возможен контролируемый занос («сноу-дрифт»), уменьшающий радиус. На льду или укатанном насте сцепление низкое, и снегоход может выносить наружу поворота по большей дуге;
- техники вождения: перенос веса водителя, использование дросселя и тормоза позволяют влиять на траекторию;
- рельефа и состояния снега: боковой уклон, колея, неровности – все это заставляет водителя корректировать траекторию, увеличивая фактический радиус прохождения.

Проблему повышения эффективности использования снегоходов решают различными конструктивными мероприятиями, направленными на оптимизацию геометрических параметров и компоновочных решений, обеспечение возможности регулирования распределения массы между гусеницей и опорно-поворотными лыжами в зависимости от природно-производственных факторов, улучшение тягово-сцепных и опорных свойств лыж и движителя, адаптивность настроек рулевого и тормозного управлений, использование электронных систем помощи.

Однако оценка влияния модернизационных изменений даже на уровне моделирования является весьма сложной задачей. Формула расчета радиуса поворота автомобиля $R = L / \sin \alpha$ не дает даже приблизительно точного результата для снегохода, а также вызывает ряд вопросов: как определить угол поворота? Что делать с гусеницей снегохода, которая не может двигаться без бокового скольжения при повороте? И множество других вопросов.

Проблема осложняется парадоксом: практически ни один производитель, ни зарубежные, ни отечественные, не публикуют данные о радиусе разворота выпускаемых снегоходов. Как правило, нет данных об углах поворота лыж, руля, базе машины, дорожном просвете, снаряженной массе машины и ее распределении. Параметры не приводятся ни в рекламных материалах, ни в паспортах, ни в инструкциях по эксплуатации и ремонту. Зачастую вместо сухих цифр в технической характеристике присутствуют аббревиатуры, отсылающие к технической индивидуальности запатентованных решений. Возможно, это обусловлено нежеланием стать объектом невыгодного сопоставления с образцами техники конкурентов, и смещения акцентов потребителя при выборе машины.

Таким образом, возникает задача разработки формульного аппарата для расчета радиусов поворота различных снегоходов, на основе их известных технических характеристик и экспериментального подтверждения пригодности формул к применению.

Современные методы математического моделирования все активнее опираются на искусственный интеллект (ИИ), и инженерная механика не исключение. Традиционные аналитические методы требуют упрощений и допущений, а ИИ способен обрабатывать большие массивы данных и выявлять скрытые закономерности без жесткой привязки к заранее заданным моделям. Для вывода формулы радиуса разворота можно использовать несколько подходов на базе ИИ. Прежде всего, машинное обучение с учителем позволяет обучить модель на экспериментальных данных: замеряются реальные радиусы разворота при разных условиях (разная нагрузка, типы снега, углы поворота), а алгоритм находит зависимость между входными параметрами и результатом.

Дополнительно применяются нейронные сети – они хорошо справляются с нелинейными зависимостями и могут аппроксимировать сложную функцию, связывающую конструктивные и эксплуатационные характеристики снегохода с радиусом разворота.

Еще один перспективный метод – символьная регрессия (например, с использованием генетических алгоритмов), которая не просто выдает «черный ящик» предсказаний, а ищет аналитическое выражение (формулу) в явном виде, максимально точно описывающее имеющиеся данные.

Процесс построения модели включал несколько этапов. Сначала собирались и систематизировались данные технических характеристик отечественных снегоходов и машин иностранного производства [3–7]. Затем выделялись ключевые признаки (таблица 1). На этапе обучения модель настраивалась с целью минимизировать ошибку вычисления радиуса разворота. После валидации на независимых данных были получены готовые формулы, учитывающие реальные нелинейности и взаимодействия факторов, что повышает их практическую ценность по сравнению с упрощенными классическими подходами.

Таблица 1 – Техническая характеристика снегоходов

Модель	Техническая характеристика						
	Колея лыж, мм	Габаритные размеры (длина, ширина, высота), мм	Снаряженная масса, кг	Дорожный просвет, мм	Радиус разворота, м	Объем бензобака, л	Параметры гусеницы (длина, ширина, высота), мм
Буран СБ640-МД	-	3135/900/1375	н.д.	н.д.	6	28	2x(3685/380/17,5)
Ski-Doo Expedition Sport 900 ACE	975 (1018)	3329/1159(1204)/1275	н.д.	н.д.	н.д.	40	3923/508/44
Arctic Cat ZR 6000	1067 (1092)	2997/1219/ н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	45,4	3277/381/32
Yamaha VK Professional	1020	3260/1220/1390	н.д.	н.д.	н.д.	40	3922/508/35
Lynx Tundra WT 550F	813	3069/1002/1278	н.д.	н.д.	н.д.	40	3912/508/30
Polaris 600 IQ Wide Truck	108	3480/1220/1340	н.д.	н.д.	н.д.	54,1	3962/508/32

Вариант формулы 1.

Принцип расчета: радиус поворота R для трехопорной схемы (две передние лыжи, одна задняя гусеница) рассчитывается по упрощенной формуле, если предположить, что обе лыжи повернуты на одинаковый угол α :

$$R = L / \sin \alpha, \quad (1)$$

где α – угол поворота лыж.

Проблема: угол α неизвестен. Для спортивных, туристических и утилитарных снегоходов, типичный максимальный угол поворота лыж составляет 35 – 45 градусов.

Результаты расчета теоретического радиуса при полном повороте руля отражены в таблице 2:

Рекомендации ИИ. На реальный радиус значительно влияют: скорость, состояние снега, техника вождения, настройки подвески и лыж, длина гусеницы. Скорость: с увеличением скорости радиус резко возрастет. Состояние снега: на укатанном снегу или льду снегоход будет «выносить» наружу поворота, увеличивая радиус. Техника вождения: использование контролируемого заноса (перенос веса, «подгазовка») позволит поворачивать практически на месте (радиус, равный длине снегохода). Длина гусеницы: более длинная гусеница сопротивляется боковому скольжению, что может увеличивать радиус на плотном снегу.

Итог: результат расчета – это оценка геометрического радиуса по колее лыж при максимальном угле их поворота. Фактический радиус маневра на скорости может быть в 5 – 10 раз больше. Формула непригодна для точного расчета и не даст достоверных значений.

Вариант формулы 2. Разработана физико-геометрическая модель для оценки радиуса поворота снегохода, максимально использующую имеющиеся данные технической характеристики снегохода. Итоговая универсальная формула для оценочного практического радиуса поворота ($R_{practical}$):

$$R_{practical} = (L_{wb} / \sin(\alpha)) * [1 + k * (L_{track} / L_{wb})] + \Delta \quad (2)$$

где:

L_{wb} – база машины. $L_{wb} \approx 0.4 + 0.4 * L_{track}$ (0,4 м – расстояние от оси лыж до гусеницы, 0,4 – эмпирический коэффициент положения центра давления гусеницы);

α – угол поворота лыж (в радианах для расчета, в градусах для подстановки);

k – коэффициент сопротивления гусеницы повороту (переменная), $k = 0,15$ – для рыхлого снега или целины, $k = 0,05$ – для укатанной трассы или льда.

Δ – поправка на смещение центра поворота из-за заноса и ширины, $\Delta \approx B/4 \approx 0,267$ м (эмпирическая составляющая, чтобы приблизить результат к R_{outer}).

Резюме модели:

– использует все данные технической характеристики (длина, колея, параметры гусеницы);

– восстанавливает недостающие параметры (колесную базу) через типовые конструктивные соотношения;

– учитывает ключевой фактор – сопротивление длинной гусеницы изменению направления (коэффициент k);

– дает адаптивный результат в зависимости от условий снега (через k);

– прозрачна и позволяет проводить анализ влияния каждого параметра (например, как удлинение гусеницы на 10% увеличит радиус поворота).

Эта модель качественно точнее простой геометрической формулы 1 и дает практическую оценку для сравнения разных моделей.

Вариант формулы 3. Модель минимального статического радиуса поворота без угла α .

Модель, которая не требует угла поворота лыж как входного параметра, а выводит минимальный физически возможный радиус поворота из геометрии и кинематики движения снегохода.

Идея: минимальный радиус определяется крайним положением, при котором снегоход еще сохраняет устойчивость и не опрокидывается. Это происходит, когда центр масс проецируется на линию, соединяющую точки опоры внешней лыжи и внутреннего края гусеницы.

Окончательная формула через геометрию снегохода:

$$R_{min} = H_{cm} * \sqrt{(L_{cm}^2 + (B/2 + W_{track}/2)^2 / ((B/2 + W_{track}/2) * (1 - L_{cm}/L_{front}))^2 - 1} \quad (3)$$

Упрощенная практическая версия:

$$R_{min} = 2 * H_{cm} * (L_{front} / (B + W_{track})) * \sqrt{1 + (B/(2*L_{cm}))^2} \quad (3.1)$$

Версия, объединяющая все факторы:

$$R_{min_total} = H_{cm} * (L_{front} + L_{track}/4) * \sqrt{1 + (2*L_{cm}/B)^2} / (B/2 + W_{track}/4) \quad (3.2)$$

Вариант формулы 4. Формула радиуса поворота на основе базовых пропорций снегохода. Идея – физическая аналогия: поворот снегохода похож на поворот лодки с передним рулем и задним килем (гусеницей). Минимальный радиус определяется тем, насколько передняя часть (лыжи) может сместиться вбок относительно задней (гусеницы).

Ключевой параметр: отношение поперечной маневренности к продольной устойчивости. Итоговая формула минимального радиуса поворота (без α и без явной колесной базы)

$$R_{min} = [(L_{total}^2 + B^2) / (2 * \Delta Y_{max})] * K_{track} * K_{mass} \quad (4)$$

где: $\Delta Y_{max} = B \times (W_{track}/B)^{(1/3)} / 2$ – максимальное эффективное боковое смещение;

$K_{track} = 1 + 0.25 \times (L_{track}/L_{total}) \times (W_{track}/B)$ – коэффициент влияния гусеницы;

$K_{mass} = 1 + 0.1 \times \log_{10}(M_{mass}/200)$ – поправка на массу (логарифмическая, так как инерция).

Вариант формулы 5. Универсальная компактная формула, окончательный вариант (использует только данные из технической характеристики):

$$R = L_{total} \times [0.5 + k \times (L_{track}/B) \times \sqrt{(B/W_{track})}] \quad (5)$$

Результаты расчета сведены в таблицу 2. Проверка на соответствие пределам максимально допустимой погрешности в 5% проведена на сведениях технической характеристики снегохода СБ-640МД «Буран» [3] – единственной, имеющей данные о радиусе разворота машины $R = 6$ м. Погрешность расчета по формуле (4) составляет 2,2%, по формуле (5) – 0,3%. Исходя из этого, можно сделать вывод о пригодности формул 4 и 5 использованию.

Практическое подтверждение достоверности результатов расчета на других машинах планируется с привлечением партнеров кафедры «Тракторы и автомобили».

Таблица 2 – Расчетные радиусы разворота снегоходов

Модель Формула	Ski-Doo Expedition Sport 900ACE	Arctic Cat ZR 6000	Yamaha VK Professional	СБ-640МД «Буран»	Lynx Tundra WT 550F	Polaris 600 IQ Wide Truck
1	1,78	1,88	1,87	3,21	1,40	1,98
2	2,93	3,44	3,86	3,41	2,90	3,86
3	1,82	1,91	2,58	3,18	2,48	2,30
4	3,42	3,12	4,76	5,87	4,27	4,70
5	3,43	3,12	4,75	5,98	4,28	4,69

Заключение. Арктическая зона и северные территории России – это регион колоссальных возможностей и не менее серьезных вызовов. Особую роль в экстремальных условиях Крайнего Севера приобретают снегоходы, они нередко становятся единственно применимым наземным транспортом, способным обеспечить мобильность.

Один из важнейших показателей снегохода, определяющих эффективность технологий в отраслях – маневренность зависит от конструктивных особенностей машины, природно-производственных условий и квалификации водителя.

Существующий дефицит формульного аппарата для расчета радиуса разворота снегохода восполнен применением искусственного интеллекта, что обеспечило ряд преимуществ: сокращение времени на разработку и тестирование эмпирических формул, повышение точности расчетов для конкретных условий эксплуатации, возможность адаптировать модель к другим типам снегоходов или иным ландшафтно-климатическим условиям.

Подтвержденные формулы радиуса разворота могут быть интегрированы в системы проектирования снегоходной техники, использоваться для проведения сравнительного анализа снегоходов различных фирм в целях выбора оптимального варианта под индивидуальные или корпоративные требования; для обучения операторов; в бортовых интеллектуальных системах, помогающих водителю выбирать безопасную траекторию.

Список литературы

1. Филимонов, К. В. Специфика рекреационного использования внедорожных мототранспортных средств / К.В. Филимонов // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. Часть 2. Наука: опыт, проблемы, перспективы развития/Краснояр. гос. аграр. ун-т. -Красноярск, 2017. -С. 43-48.

2. Филимонов, К. В. Устройство и эксплуатация внедорожных мототранспортных средств: учеб. пособие/ К.В. Филимонов; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2017. 516 с.

3. Технические характеристики СБ-640МД «Буран» [https://www.autoopt.ru/auto/encyclopedia/moto/saturn/mark/saturn-sb-640a-buran] (Дата обращения 22.02.2026).

4. Технические характеристики снегохода 2014 Arctic Cat ZR 6000 EL TIGRE ES [https://moto-magazine.ru/catalog/arctic-cat/arctic-cat-zr-6000-el-tigre-es/?class=26&CODE=arctic-cat-zr-6000-el-tigre-es&SECTION_CODE=arctic-cat] (Дата обращения 23.02.2026).

5. Технические характеристики снегохода Ski-Doo Tundra WT 550F [https://moto-magazine.ru/catalog/ski-doo/ski-doo-tundra-wt-550f/?ysclid=mkr5ad9de8970962319] (Дата обращения 22.02.2026).

6. Технические характеристики Yamaha RS Viking Professional [https://moto-magazine.ru/catalog/yamaha/yamaha-rs-viking-professional/?ysclid=mkr4lhqmmo773853336] (Дата обращения 11.02.2026).

7. Технические характеристики Ski-Doo Expedition Sport 900 ACE ITC [https://moto-magazine.ru/catalog/ski-doo/ski-doo-expedition-sport-900-ace-itc/] (Дата обращения 24.02.2026).

ДИСКОВОЕ ОРУДИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Резер Артур Викторович, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
rezer@list.ru

Научный руководитель: Богиня Михаил Васильевич, кандидат технических наук, доцент
Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
bmw-1964@yandex.ru

Аннотация. В статье проведен анализ существующих типов борон. Предложен собственный вариант исполнения данного сельскохозяйственного орудия.

Ключевые слова: борона, дисковая батарея, лопастной рабочий орган

В сельскохозяйственных предприятиях широко распространена практика применения борон для качественной обработки почвы.

Бороны можно классифицировать на несколько типов, в зависимости от выполняемой задачи. Отдельно можно выделить четыре типа борон: дисковые, штригельные, зубовые, ротационные (игольчатые).

Дисковая борона (рисунок 1) использует в качестве рабочего органа диски, которые производят рыхление почвы, измельчение растительных остатков и перемешивания верхнего слоя почвы [1]. Для более эффективного использования, необходимо устанавливать диски под определенным углом атаки. Дисковые рабочие органы способны работать практически на всех видах почв, кроме каменистых, что делает данный тип бороны универсальным.



Рисунок 1 - Дисковая борона

Зубовая борона (рисунок 2), исходя из названия, использует зубья, в качестве рабочего органа [1]. Она способна проводить неглубокую обработку почвы на глубину не более 6 сантиметров в глубину. Используется в основном для разравнивания почвы и внесения семян.

Игольчатая борона (рисунок 3), как и дисковая, использует дисковые рабочие органы [1]. Однако, вместо лопастей, на концах диска расположены «иглы». Применяется как для предпосевной обработки, так и для разрушения почвенной корки на посевах. При работе с «тяжелой» и плотной почвой, ее КПД снижается.

Пружинный палец является основным рабочим органом у штригельной бороны [1]. Она способна производить боронование, выравнивание рельефа почвы, вычесывание сорняков, распределение пожнивных остатков по поверхности поля.

Рабочие органы всех перечисленных видов борон подвержены залипанию при работе на почвах с повышенной влажностью. Серийно выпускаемые машины с полусферическими дисковыми рабочими органами в данных условиях не обеспечивают качественной подготовки почвы, у них наблюдается перемещение почвы дисками с образованием борозд и гребней, забивание междискового пространства почвой и пожнивными остатками.



Рисунок 2 - Зубовая борона



Рисунок 3 - Игольчатая борона



Рисунок 4 - Штригельная борона

Для решения этой проблемы на кафедре «Механизация и ТС в АПК» была разработана оригинальная конструкция дисковой батареи. В качестве основного рабочего органа взят лопастной диск, чьи лезвия имеют изгиб в разные стороны относительно друг друга, создавая угол в 30 градусов между собой [2]. За счет предлагаемых конструкторских решений дисковый лопастной рабочий орган способен качественно работать в условиях повышенной влажности с образованием ровной поверхности почвы. Благодаря тому, что диск выполнен плоским, диски в рядах орудия можно расположить так, чтобы они производили взаимную очистку от налипающей на них почвы. Так же дополнительно в конструкции рамы предусмотрены две батареи из чистиков, установленных в разных плоскостях для дополнительного очищения рабочих органов [3].

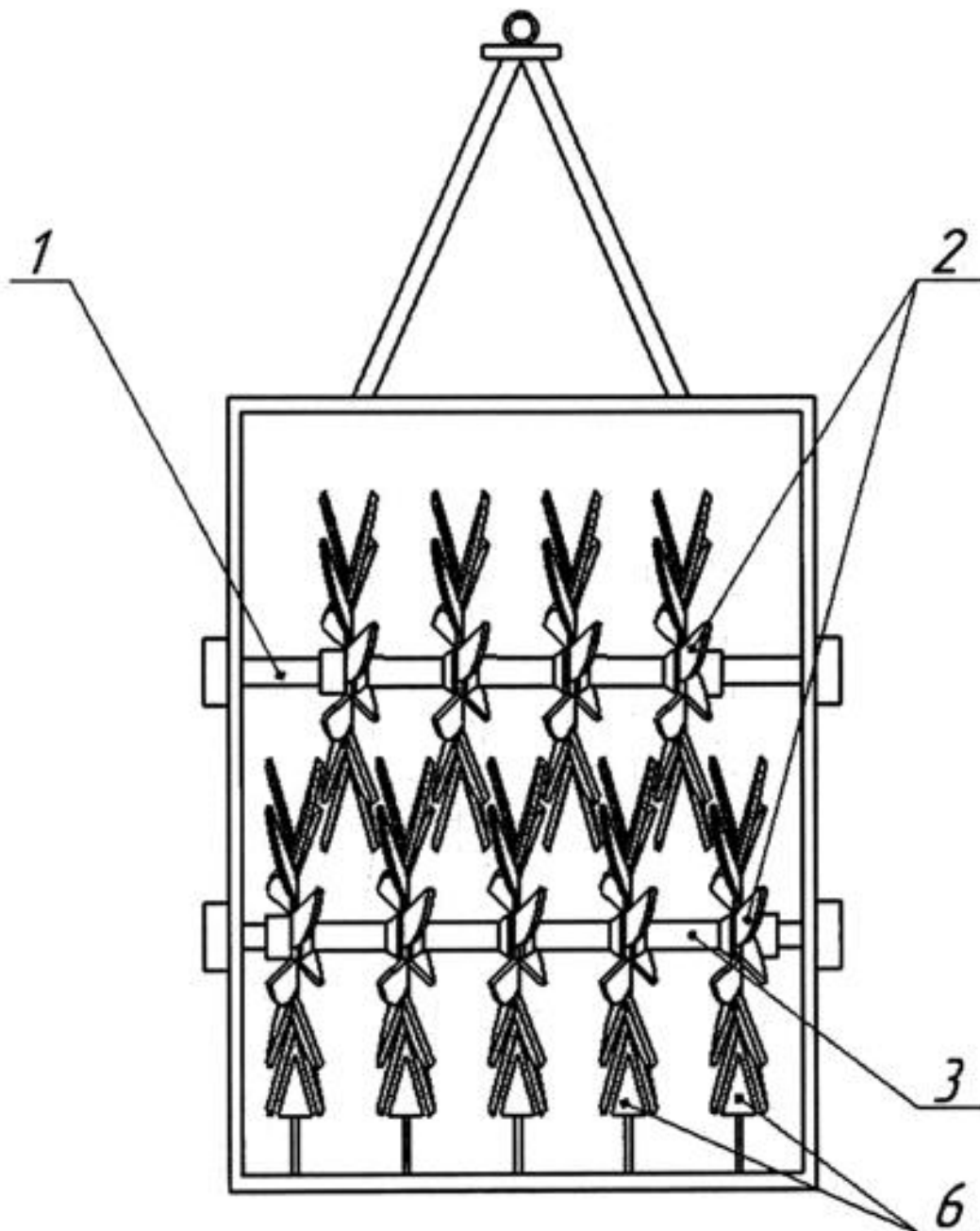


Рисунок 5 - Схема дискового орудия: 1-вал; 2-лопастной диск; 3-щетка; 6-чистик

На основе разработанных чертежей, была сделана 3D модель (рисунок 6) дискового орудия. На ней наглядно можно увидеть, как будут расположены все элементы и принцип их работы. Для лучшего представления всех рабочих элементов, был изготовлен макет (рисунок 7) дискового орудия.

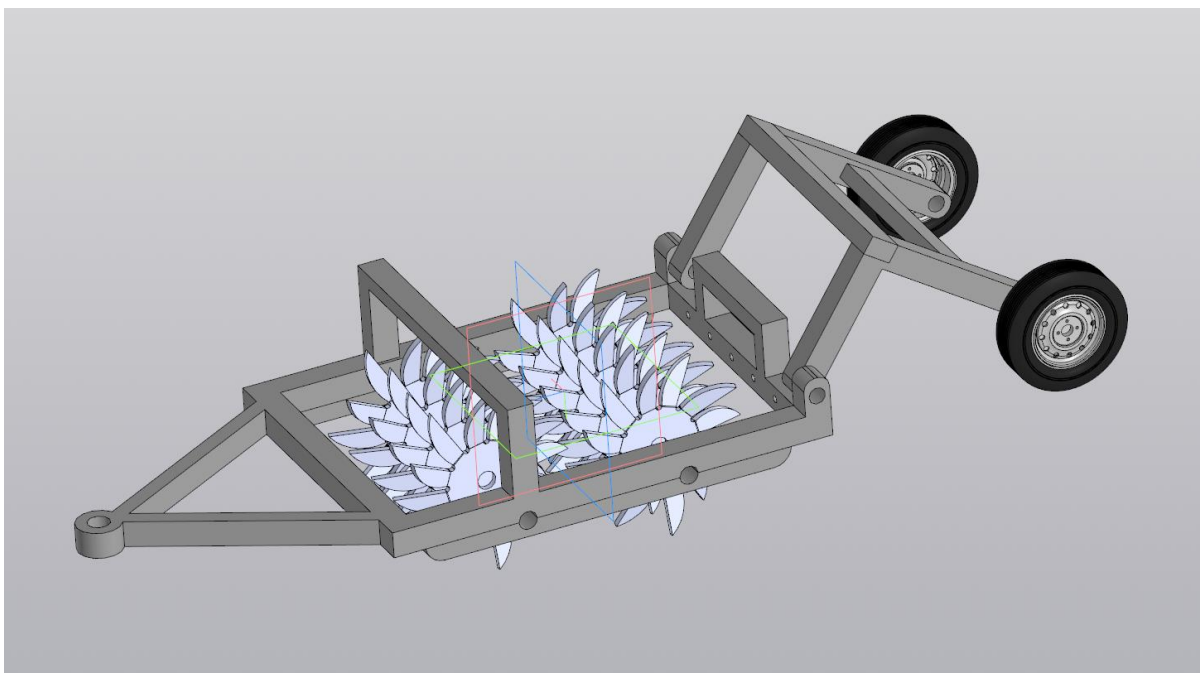


Рисунок 6 - 3D сборка дискового орудия

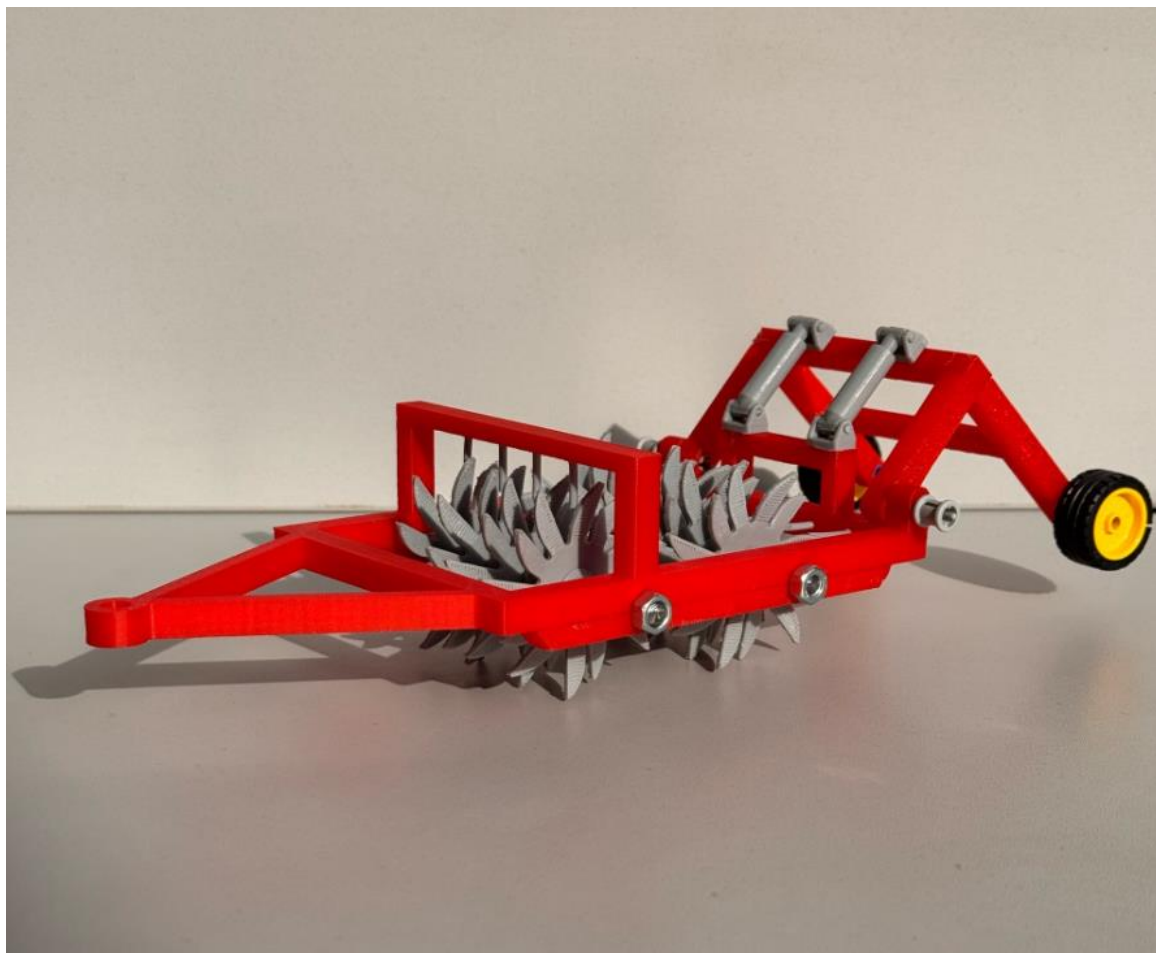


Рисунок 7 - Макет дискового орудия, выполненный из пластика

Данная машина была спроектирована для работы в условиях Красноярского края. Особенности конструкции позволят производить обработку почвы, не отвлекаясь на дополнительную очистку рабочих органов из комков почвы. Преимуществом предлагаемого дискового орудия является то, что при повышении поступательной скорости у него практически не повышается тяговое сопротивление, нет волочения и, как следствие, не

происходит забивания междискового пространства почвой и пожнивными остатками. Это позволит стабильно работать на почвах любого механического состава с более высокой влажностью (24-34%), с высоким качеством и низкими затратами энергии.

Список литературы

1. Халанский, В.М. Сельскохозяйственные машины / В.М. Халанский, И В. Горбачев. – М.: Колос,2004.-628с.
2. Патент на полезную модель № 227791 U1 Российская Федерация, МПК А01В 23/06. Дисковый рабочий орган почвообрабатывающего орудия: № 2024102759: заявл. 02.02.2024: опубл. 06.08.2024.
3. Патент на полезную модель № 232842 U1 Российская Федерация, МПК А01В 23/06. Дисковая батарея почвообрабатывающего орудия: № 2024135989: заявл. 29.11.2024: опубл. 24.03.2025.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ В СМЕСИТЕЛЕ
(КОРМА/УДОБРЕНИЯ): УПРАВЛЕНИЕ ПО ВЕСОВЫМ ДАТЧИКАМ
И КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ
(ЛОГИКА + ИМИТАЦИОННАЯ ПРОВЕРКА)**

Сайтаков Руслан Маратович, студент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

sarogov0147@mail.ru

Научный руководитель: Сафаров Ильдар Мирсаяфович, кандидат технических наук, доцент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

ildarsafarov@mail.ru

Аннотация. Предложен модифицированный алгоритм весового дозирования сыпучих компонентов, основанный на логике «грубо-точно». Ключевое усовершенствование – введение адаптивного упреждения останковки подачи, которое рассчитывается по текущей скорости набора массы и корректируется по результатам предыдущих циклов. Для устойчивой работы алгоритм дополнен цифровой фильтрацией сигнала, автотарированием и контролем нуля. Испытания на имитационной модели, учитывающей динамику «падающего столба» и помехи, подтвердили эффективность: достигнуто значительное снижение доли перевесов сверх допуска без заметного увеличения времени дозирования.

Ключевые слова: весовой дозатор, тензодатчик, грубо-точно, недвес, упреждение, дрейф нуля, цифровой фильтр, падающий столб, адаптация, имитационное моделирование

Задача точного порционного дозирования сыпучих компонентов (кормов, удобрений) на практике осложняется комплексом динамических факторов. Ключевые источники погрешности – это инерционность механической системы (запаздывание останковки питателя, эффект «падающего столба») и нестационарность самого материала (изменение влажности, сыпучести). Кроме того, сигнал с тензодатчиков подвержен воздействию вибраций и электромагнитных помех. Таким образом, эффективный алгоритм управления должен компенсировать не только статические, но и динамические ошибки, активно используя данные измерений в реальном времени [1, с. 4].

Чтобы «поймать» дозу, система управления должна учитывать динамику: после команды «СТОП» масса в бункере еще продолжает расти из-за запаздывания останковки питателя и из-за того, что часть материала уже находится в траектории падения (эффект «падающего столба»). В исследованиях по автоматизированным комплексам дозирования комбикормов отмечено, что при использовании шнековых дозаторов можно прогнозировать массу падающего столба и тем самым повышать точность дозирования, а построение математических и имитационных моделей применяется для апробации алгоритмов компенсации ошибки с учетом влияния падающего столба [1, с. 33–34]. В прикладном смысле это означает: останавливать подачу нужно не «в точке цели», а заранее – на величину упреждения, зависящую от текущего расхода и задержек.

В качестве основы для разработки использована классическая двухэтапная логика «грубо-точно». Ее суть заключается в первоначальной подаче материала на высокой скорости с последующим переходом на малую скорость или импульсный режим для финишного дозирования. Этот подход, реализованный во многих промышленных контроллерах [2, 3], позволяет сократить время цикла, но не полностью решает проблему адаптации к изменяющимся условиям [3, с. 6]. Аналогично, в многокомпонентном весовом контроллере допускается выбор режима дозирования: «импульс» (точная досыпка кратковременными включениями) и «скорость» (двухскоростное, двухуровневое

дозирование), а также предусмотрена адаптация параметра «недовес грубо» при превышениях дозы [2, с. 19].

Далее приведена логика цикла дозирования одного компонента – только те шаги, которые реально выполняет контроллер.

Сначала выполняется стабилизация измерения: если дисперсия сигнала веса превышает порог (вибрации/удары/работа мешалки), завершение дозирования запрещается до входа в «окно стабильности» на заданном интервале времени. Затем выполняется проверка и коррекция нуля/тары. Для весовых систем критичен дрейф около нуля, и в промышленных весовых модулях применяется автоматическое отслеживание нуля, которое без команды сбрасывает показания к нулю при медленном дрейфе около нуля (при выполнении условий стандарта), что прямо нацелено на компенсацию медленных уходов показаний [5, с. 55].

Далее включается грубая подача. Переход на точную подачу выполняется не просто «за X кг до цели», а по упреждению, которое удобно задавать параметром «недовес грубо» (по сути, это и есть величина упреждения для переключения режимов). Сам подход «упреждающей уставки» для грубого дозирования присутствует в весовых терминалах, где в режиме дозирования по схеме грубо/точно задается уставка дозы и отдельная упреждающая уставка грубого дозирования [4, с. 9]. То есть промышленная практика прямо подсказывает правильную структуру параметров: уставка дозы, упреждение для грубого этапа, упреждение для точного этапа.

Ключевая добавка, повышающая точность и уникальность подхода, – расчет «адаптивного упреждения» по текущей скорости набора массы. Масса в бункере измеряется дискретно, поэтому скорость оценивается разностью отфильтрованных значений:

$$W[k] \approx \frac{\hat{W}[k] - \hat{W}[k - N]}{N \cdot T_s}$$

Тогда ожидаемая добавка массы после команды «СТОП» оценивается как

$$\hat{m}_{add}[k] = \hat{W}[k] \cdot \tau_{eq}$$

где τ_{eq} – эквивалентная задержка (закрытие заслонки/останов питателя + «падающий столб»). Идея необходимости компенсации задержки падающего столба в контуре регулирования прямо отмечается в работах по моделированию систем дозирования: при настройке регулятора веса задержка «падающего столба» приводит к ошибке и требует отдельного алгоритма адаптации для компенсации [1, с. 72]. На уровне логики ПЛК это превращается в простое правило завершения точной подачи:

$$\hat{W}[k] \geq W_{set} - \hat{m}_{add}[k].$$

Чтобы система не зависела от одного τ_{eq} , параметр вводится как адаптируемый. После окончания дозирования и выдержки времени успокоения измерения фиксируется фактическая ошибка:

$$\varepsilon = W_{final} - W_{set}$$

Далее τ_{eq} корректируется малым шагом:

$$\tau_{eq,new} = \tau_{eq,old} + k_{\tau} \cdot \frac{\varepsilon}{\max(\dot{W}, \dot{W}_{min})}$$

Если стабильно получаем перевес – увеличиваем упреждение, если недовес – уменьшаем. Такая адаптация концептуально согласуется с промышленной функцией «адаптации недовеса», когда параметр упреждения корректируют по факту превышений дозы [2, с. 19].

Отдельно решается проблема «нервного веса», когда помехи измерения заставляют контроллер преждевременно завершать дозирование. Здесь применяется цифровая фильтрация и согласование ее с частотой АЦП. Весовые терминалы промышленного исполнения предусматривают выбор частоты работы АЦП и настройку цифровых фильтров,

что показывает: фильтрация – не «косметика», а штатный элемент системы дозирования [4, с. 2]. В работе использован экспоненциальный фильтр:

$$\hat{W}[k] = \alpha \hat{W}[k-1] + (1 - \alpha)W_m[k],$$

а также критерий «стабильности» по размаху/дисперсии \hat{W} на интервале контроля. Параметр α выбирается так, чтобы подавлять шум, но не создавать чрезмерную задержку, иначе упреждение \hat{m}_{add} будет систематически занижено.

Для практической реализации в ПЛК удобно задавать алгоритм в виде компактного псевдокода (без привязки к конкретной среде программирования):

1. Стабилизация: если $Var(W) > Var_{max}$, тогда переход в ожидание;
2. Ноль/тара: при пустом бункере выполнить тарирование; при работе включить автоотслеживание нуля при выполнении условий стабильности; [5, с. 55]
3. Грубо: включить OUT_FAST;
4. Переход: если $W \geq W_{set} - U_{fast} \rightarrow$ выключить OUT_FAST, включить OUT_SLOW; (логика «доза минус недвес грубо» соответствует промышленным контроллерам) [3, с. 6]
5. Точно: считать \dot{W}, m_{add} ; если $W \geq W_{set} - m_{add} \rightarrow$ STOP;
6. Фиксация: выдержка t_{settle} , измерение W_{final} ;
7. Адаптация: скорректировать τ_{eq} (или параметр недвес грубо) по $\backslash \text{varepsilon}$ [2, с. 19];
8. Контроль: если $|\epsilon| > Tol \rightarrow$ досыпка импульсами или регистрация отклонения.

Имитационная проверка выполнена на дискретной модели, включающей: (а) задержку остановки питателя, (б) «хвост» расхода после отключения, (в) падающий столб как добавочную массу, поступающую с запаздыванием, (г) шум и дрейф весового канала, (д) вибрационную помеху как гармоническую составляющую. Подход с моделями и имитационной проверкой работоспособности алгоритмов компенсации ошибки дозирования в контуре дозирования с учетом влияния падающего столба соответствует практике построения имитационных моделей элементов комплекса дозирования. [1, с. 34] По результатам моделирования по сравнению с «наивным» остановом подачи при достижении W_{set} предложенная схема дала устойчивое уменьшение доли перевесов выше допуска; при этом рост времени цикла был небольшим и объяснялся выдержкой стабилизации и более осторожным завершением точной подачи. Тренд сохранялся в серии прогонов при изменении интенсивности шумов и величины задержки, что важно именно для кормов/удобрений, где свойства материала могут «плавать» от партии к партии.

В итоге предложен алгоритм, совместимый с промышленной логикой (грубо/точно, упреждение, фильтры, контроль нуля) и дополненный компенсацией динамики через оценку скорости набора массы и адаптацию τ_{eq} . Это снижает чувствительность к вибрациям, шуму измерения и изменению свойств материала, а также уменьшает долю превышений допуска без заметной потери производительности.

Список литературы

1. Ляпушкин С. В. Повышение эффективности управления электроприводом автоматизированного комплекса дозирования сыпучих материалов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2015. 146 с.
2. Весовой контроллер для управления многокомпонентным дозированием «ВЕСТЕР». Инструкция по эксплуатации (версия программного обеспечения 4.07). – [б. м.]: Interel, [б. г.]. 38 с.
3. Контроллер весодозирующий «КВ-011.05». Инструкция по эксплуатации. Версия ПО 3.01. Москва, 2020. 11 с.
4. Весовой электронный измерительный блок КСК62. Руководство по эксплуатации УВ 404491.010 РЭ / УВ 404491.011 РЭ. Пермь: ООО «Вектор-ПМ», [б. г.]. 32 с.
5. SIWAREX FTA. Руководство по эксплуатации (рус.). – [б. м.]: Siemens AG, 2020. 228 с.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ 3D-СКАНИРОВАНИЯ

Худяков Матвей Васильевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

hudyakov.matvei@yandex.ru

Маслов Егор Викторович, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

egorka.m.04@mail.ru

Научный руководитель: Полюшкин Николай Геннадьевич, кандидат технических наук

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

nigenn@mail.ru

Аннотация. В статье представлена разработка универсальной модульной системы крепления для 3D-сканирования. Выявлены недостатки существующих методов фиксации, включая затенение поверхностей и ограниченную гибкость позиционирования. Предложено решение на основе магнитных креплений со сменной маркированной пластиной и набором адаптеров. Тестирование прототипа подтвердило надежность фиксации объектов различной формы без затенения сканируемых областей, а также простоту переналадки и масштабируемость конструкции.

Ключевые слова: 3D-сканирование, фиксация объектов, модульная система, магнитный держатель, реверс-инжиниринг, зажимное приспособление, 3D-моделирование, оптическое сканирование, магнитная плита, реперные метки

В настоящее время одной из актуальных задач в области реверс-инжиниринга и 3D-сканирования является надежная фиксация объектов сложной геометрической формы на рабочем столе сканера. Существующие методы крепления имеют ряд существенных недостатков:

1. **Моделировочные материалы (воск, глина, пластилин).** Широко используются благодаря доступности, однако закрывают часть поверхности детали, создавая «слепые зоны», требующие дорисовки в САД-редакторах. Кроме того, они не обладают достаточной адгезией для удержания тяжелых моделей.

2. **Серийные зажимные устройства.** Представляют собой, как правило, миниатюрные столярные тиски с перфорацией. Их конструкция жестко ограничивает углы наклона детали, что затрудняет сканирование сложных поверхностей без перестановки.

3. **Самодельные приспособления.** Пользователи часто изготавливают кронштейны из подручных материалов под конкретную задачу. Это решение не универсально и требует затрат времени на проектирование и печать для каждого нового объекта.

Отсутствие на рынке заводских решений, способных обеспечить гибкую фиксацию широкого спектра деталей без затенения сканируемых областей, обусловило необходимость разработки новой системы.

При проектировании системы был проведен анализ методов фиксации заготовок в смежных областях:

- **ЧПУ-станки:** Использован принцип модульных прижимов и магнитных плит для быстрой переналадки.

- **Электроника и пайка:** Заимствована концепция гибких стоек и зажимов типа «третья рука» для фиксации легких и хрупких компонентов в подвешенном состоянии.

Синтез лучших практик из данных областей позволил сформировать концепцию масштабируемого модульного держателя.

Цель работы: Создание и экспериментальная проверка универсального модульного держателя для 3D-сканирования объектов широкого типоразмерного ряда.

Задачи:

1. Анализ существующих решений и принципов фиксации заготовок на промышленном оборудовании.
2. Выявление достоинств и недостатков аналогов, формулирование технических требований.
3. 3D-моделирование мастер-модели устройства и подбор материалов.
4. Изготовление опытного образца.
5. Проведение серии тестов на надежность фиксации и удобство сканирования.

Основой системы является принцип магнитной фиксации. Данный выбор обусловлен высокой скоростью монтажа/демонтажа и гибкостью конфигурации: в качестве держателей могут выступать любые ферромагнитные элементы, что избавляет от необходимости использования специализированных адаптеров.

Конструкция основания представляет собой композитный узел, размещенный в корпусе 1, изготовленном методом FDM-печати. Внутри корпуса расположена система постоянных магнитов 2, закрытая сверху съемной металлической пластиной 3.

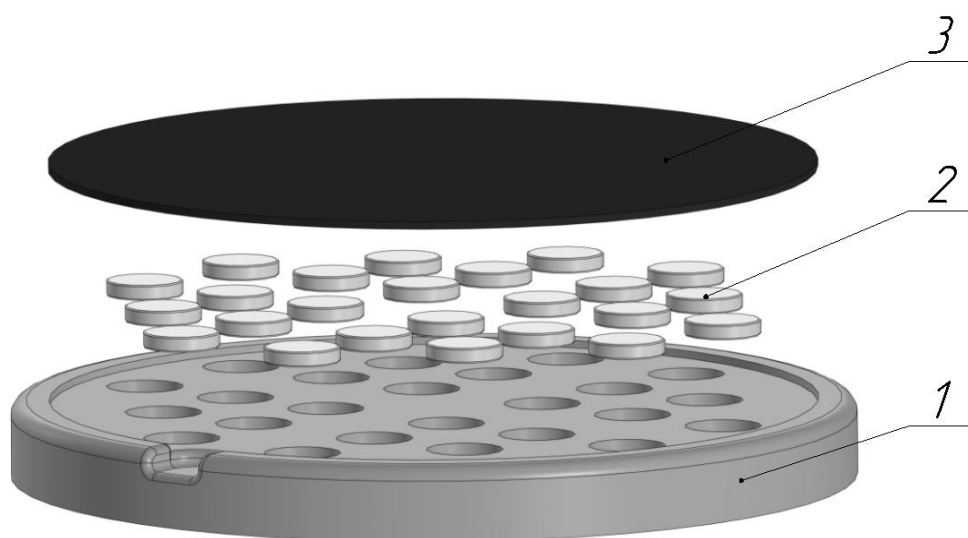


Рисунок 1 - Взрыв-схема основания: корпус, магниты, металлическая пластина

Металлическая пластина выполняет три критически важные функции:

1. **Оптимизация магнитного поля.** Пластина из ферромагнитного материала выступает в роли магнитопровода. Она шунтирует магнитный поток, снижая краевые эффекты и обеспечивая равномерное распределение силы притяжения по всей площади поверхности. Это позволяет надежно фиксировать тонкостенные и легкие элементы не только над центром магнита, но и в периферийных зонах пластины.

2. **Механическая защита.** Пластина предохраняет хрупкие постоянные магниты от сколов, царапин и прямого контакта с крепежными элементами.

3. **Функциональное покрытие.** Поверхность пластины имеет двустороннее исполнение:

- Рабочая сторона: Матовое черное покрытие с нанесенными реперными метками. Черный цвет минимизирует блики от источников света сканера, а метки упрощают сшивку сканов в ПО.

- Калибровочная сторона: Содержит эталонный геометрический рисунок для периодической проверки точности сканера.

Помимо основания, система включает набор сменных магнитных приспособлений, позволяющих позиционировать модель в пространстве наиболее удобным для сканирования образом:

- **Гибкие стойки (гусиная шея):** Для подвешивания объектов в воздухе, что исключает затенение нижней части модели.
- **Магнитные мини-тиски:** Для зажима плоских деталей и пластин.
- **Наборные опоры:** Секционные стойки для поддержки выступающих частей сложных деталей.
- **Угловые адаптеры:** Пластины с фиксированными углами наклона для изменения ориентации объекта относительно сканера.

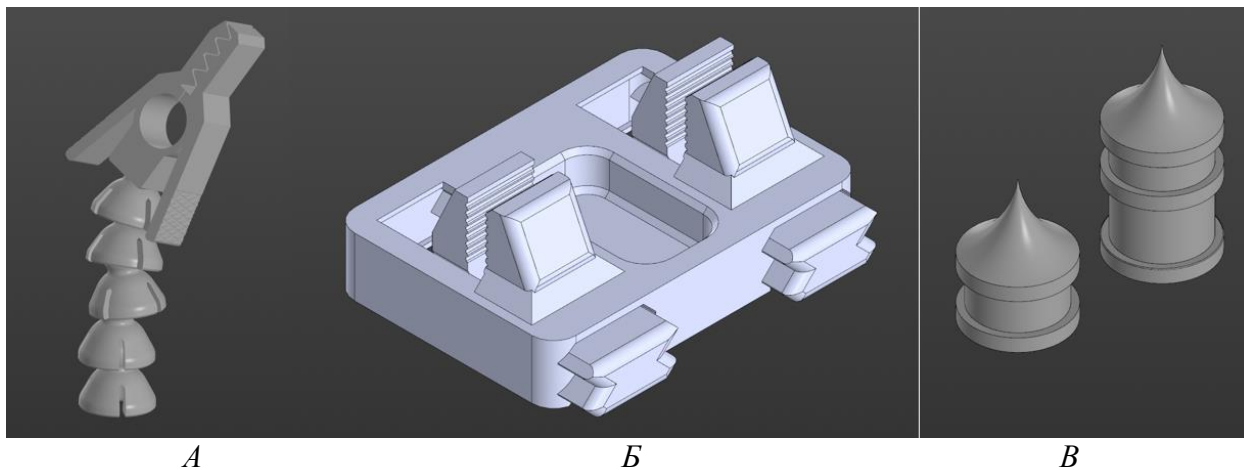


Рисунок 2 - Устройства крепления: а - гибкая стойка, б - тиски, в - наборные опоры

Ключевыми преимуществами предложенного устройства являются:

1. **Универсальность:** Возможность крепления деталей произвольной формы и веса без повреждения их поверхности.
2. **Масштабируемость:** Конструкция основания может быть адаптирована под рабочие столы 3D-сканеров различных размеров.
3. **Оптимизация для сканирования:** Наличие заводских маркеров и антибликового покрытия сокращает время постобработки 3D-модели.
4. **Простота эксплуатации:** Модульная система позволяет быстро менять конфигурацию стенда под конкретную задачу без использования дополнительного инструмента.

В ходе работы был создан и протестирован экспериментальный образец модульного держателя. Тестирование подтвердило гипотезу о том, что комбинирование магнитного принципа фиксации с элементами промышленного оснащения позволяет закрыть нишу универсальных креплений для 3D-сканирования. Дальнейшая работа планируется в направлении стандартизации крепежных элементов и расширения библиотеки сменных модулей.

Список литературы

1. VDI/VDE 2634 Blatt 1. Optical 3D-measuring systems – Optical systems based on area triangulation. – Düsseldorf: VDI-Verlag, 2002.
2. Bohn, J. Modular Fixturing for CNC Machining: Principles and Applications. – New York: Industrial Press, 2018. – 312 p.
3. Полюшкин, Н. Г. Интеграция цифровых технологий в учебный процесс вуза / Н. Г. Полюшкин, М. П. Полюшкина // Образование: опыт, проблемы, перспективы развития: Материалы преподавательской международной научно-практической конференции, Красноярск, 22–24 апреля 2025 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2025. – С. 318-320. – EDN NHKUYA.
Полюшкин, Н. Г. Общие методы решения задач обратного проектирования / Н. Г. Полюшкин, А. П. Батрак, М. П. Полюшкина // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: Материалы международной научно-практической конференции, Красноярск, 18–20 апреля 2023 года / Ответственные за выпуск: А.В. Коломейцев, В.Г. Крымкова. Том 1. Часть 2. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – С. 151-156. – EDN GNYOVBG.

СЕКЦИЯ 6. ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В АПК

ПОДСЕКЦИЯ 6.1. ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В АПК

УДК 621.316

ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Алексеев Филипп Владимирович, студент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

lol17031981@bk.ru

Научный руководитель: Гатауллин Айрат Мухамедович, кандидат технических наук, доцент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

gataullin1969@mail.ru

Аннотация. Были исследованы перспективные методы мониторинга электрического оборудования, внедряемого на цифровых подстанциях. Представлена архитектура цифровой подстанции. Детально рассмотрены автоматизированные системы мониторинга, влияющие на контроль и диагностику оборудования, его обслуживание, а также на повышение эффективности и безопасности эксплуатации цифровых подстанций.

Ключевые слова: цифровая подстанция, мониторинг, цифровые технологии, эффективность, диагностика, безопасность

Переход от традиционной к цифровой распределительной сети, в том числе связан с внедрением в единую энергосистему источников распределенной генерации, таких как солнечная, энергия приливов и ветряная энергия, в условиях возрастающего потребления электрической энергии. В свою очередь, это приводит к необходимости развития новых методов мониторинга высоковольтного оборудования, а также управления режимами работы энергосистемы, релейной защиты и диагностики ее элементов. Таким образом, интеграция информационных, перспективных диагностических комплексов и коммуникационных технологий, иными словами цифровизация, является фундаментальной для осуществления этой новой концепции распределительной сети, которую обычно называют интеллектуальной сетью [1]. Одним из самых перспективных методов оценки состояния изоляции высоковольтного электрооборудования является метод частичных разрядов [2] поскольку позволяет в дистанционном режиме [3] в том числе определять электрические свойства изоляции [4].

Цифровая подстанция состоит из ряда подсистем: релейной защиты и автоматизации, систем автоматического управления техпроцессом (АСУ ТП), телемеханики, телеизмерений, включая системы диагностики состояния оборудования в том числе состояния изоляции. Например, в последнее время большое внимание уделяется уровню частичных разрядов, который не должен превышать величину 10 пКл. Такие частичные разряды возникают при загрязнении, увлажнения поверхности изоляторов различного типа, включая изоляционные конструкции измерительных трансформаторов, концевые муфты силовых кабелей, изоляции обмоток статоров турбин, силовых трансформаторов [5] и так далее.

Обмен информацией между устройствами релейной защиты и автоматизации, системами мониторинга и системами управления осуществляется в цифровом формате на

основе единого стандарта связи. В отличие от традиционных подстанций, где связь между первичным оборудованием и устройствами релейной защиты осуществляется с помощью аналоговых сигналов по медным кабелям, на цифровой подстанции информация передается в цифровом виде по волоконно-оптическим линиям связи [6].

Все оборудование на подстанции взаимодействует между собой и с центральным сервером станции по последовательным каналам связи с использованием общего протокола связи.

Для мониторинга цифровой подстанции используются:

- цифровые измерительные трансформаторы тока и напряжения, которые формируют мгновенные значения измеряемых величин;
- интеллектуальные электронные устройства, выполняющие функции защиты, автоматизации и управления;
- инфраструктура связи на основе промышленных сетей Ethernet;
- автоматизированная система управления процессом, которая в свою очередь осуществляет контроль и управление цифровой подстанцией (рис.1).

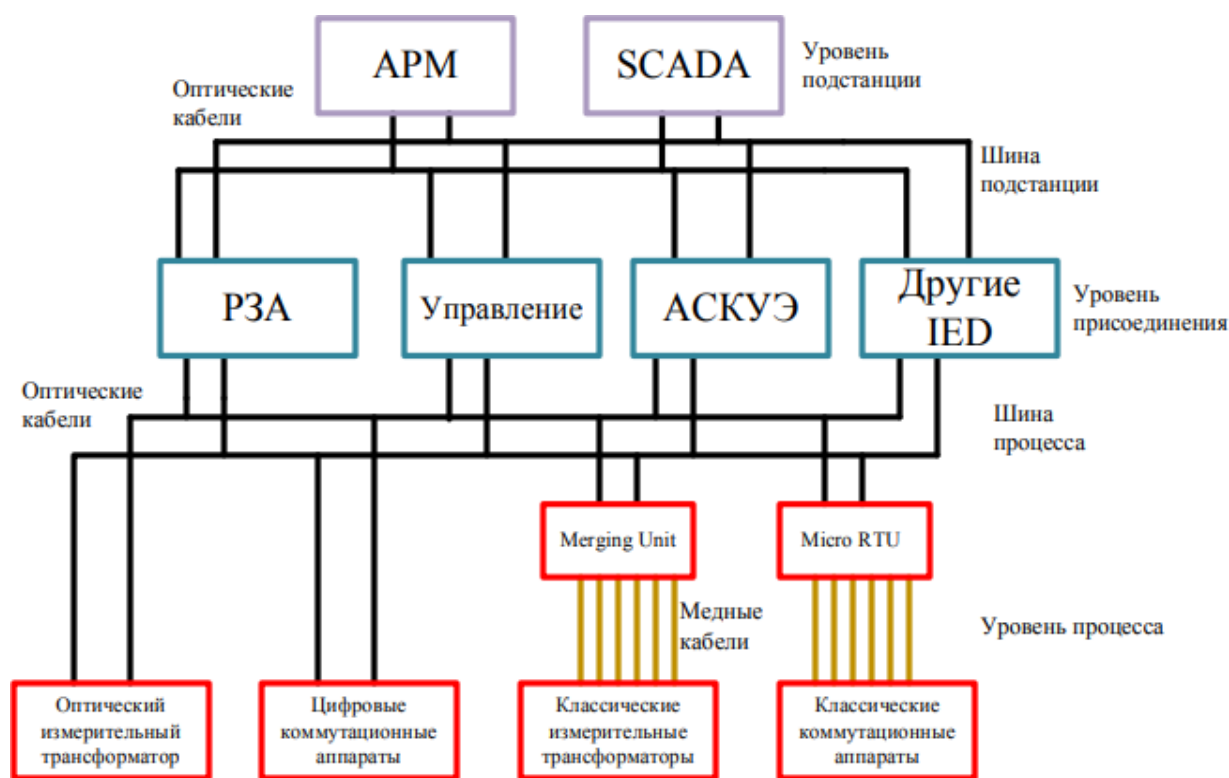


Рисунок 1 – Архитектура цифровой подстанции

Системы мониторинга развивают для проектирования новых и модернизации существующих, подходящих для перехода на новый уровень автоматизации подстанций. Они отображают все необходимые данные и информацию о предупреждениях и аварийных сигналах через МЭК 61850 напрямую диспетчеру. Кроме того, встроенный Web-сервер позволяет обеспечить доступ к данным через порт Ethernet.

Порт Ethernet может быть подключен к интерфейсу беспроводной локальной сети, обеспечивающей доступ к данным на портативном устройстве, включая планшеты или смартфоны внутри здания подстанции [7].

В проектировании и реконструкциях подстанций под стандарты цифровизации заметна тенденция на использование современных методов и диагностики. Рассмотрим их подробнее.

Устройства SAMU («Stand-Alone-Merging-Unit»), которые устанавливаются рядом с традиционными измерительными трансформаторами тока и напряжения. Архитектура устройства позволяет устройствам защиты, счетчикам и регистраторам неисправностей

разных производителей работать на одной шине без помех. Благодаря низкой электрической нагрузке на измерительные трансформаторы, SAMU можно установить без влияния на существующие нагрузки. Использование оптоволоконной связи повышает безопасность, так как устраняет риски, связанные с традиционными медными кабелями [8].

Система АСКУЭ, предназначенная для измерения объемов генерируемой и потребляемой электрической энергии для последующих корректных финансовых расчетов между поставщиком и потребителем энергетических ресурсов. К функциям АСКУЭ относятся:

- автоматический сбор данных коммерческого учета потребления электрической энергии;
- хранение параметров в базе данных;
- предоставление многотарифного учета потребления электрической энергии;
- обеспечение контроля за соблюдением пределов потребления энергии;
- отображение расчетных параметров на терминале или печатном устройстве по запросу оператора;
- обслуживание единой временной системы с возможностью регулировки.

В системе управления АСУ ТП обеспечивается автоматизированный сбор и обработка информации, необходимая для оптимизации управления технологическим объектом в соответствии с принятыми критериями. Главная идея АСУ ТП – управление оборудованием и процессами осуществляется не человеком напрямую, а с помощью технических устройств и программных систем в реальном режиме времени. Это снижает количество ошибок, ускоряет операции и исключает влияние человеческого фактора [9]. В то же время следует отметить, что процесс обработки и передачи данных является не простой задачей и связана с оптимизацией передачи большого потока данных, особенно при проектировании систем мониторинга в реальном режиме времени [10] в системах SCADA.

SCADA представляет собой программно-аппаратный комплекс для диспетчерского управления и сбора данных в реальном времени. Система обеспечивает непрерывный мониторинг технологических процессов, архивирование информации и возможность оперативного реагирования на аварийные ситуации на территориально распределенных производственных объектах.

Таким образом, современные системы и устройства для мониторинга электрического оборудования на подстанциях проходят обновления и проверки на совместимость, что можно считать одним из самых многообещающих решений для устойчивого будущего энергетической системы.

Цифровая подстанция является ключевым элементом интеллектуальной системы, обеспечивающей переход от традиционных аналоговых технологий к современным цифровым решениям в области автоматизации электроэнергетики. Международный стандарт МЭК 61850 создает единую нормативную основу для построения систем автоматизации подстанций, обеспечивая стандартизированный подход к проектированию.

Список литературы

1. Корсунов П.Ю., Моржин Ю.И. Разработка концепции «Цифровая подстанция»: договор №И-11-41/10. М.: ОАО «НТЦЭ», 2011. – 248 с.
2. Gataullin A.M. DEVELOPMENT OF METHOD FOR HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT INSULATORS MONITORING IN UHF RANGE OF ELECTROMAGNETIC RADIATION // В сборнике: Proceedings – 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020. 2020. С. 9112023
3. Gataullin A.M. ONLINE MONITORING OF THE PORCELAIN INSULATOR UNITS STATE // В сборнике: 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. 2020. С. 9271631.
4. Gataullin A.M. INSULATORS ELECTRICAL STRENGTH ESTIMATION UNDER AC APPLIED VOLTAGE // В сборнике: Proceedings – 2019 International Ural Conference on

Electrical Power Engineering, UralCon 2019. 2019. С.35-39.

5. Gataullin A.M., Gubaev D.F., Gataullina R.V. SOFTWARE AND HARDWARE SYSTEM OF MONITORING HIGH-VOLTAGE ELECTRIC EQUIPMENT BASED ON THE ANALYSIS OF PARTIAL DISCHARGE CHARACTERISTICS // В сборнике: International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Proceedings. 2023. С. 171-176.

6. Горелик Т.Г., Кириенко О.В. Перспективы развития «умных сетей» // Электроэнергия. Передача и распределение. 2010. №2(2). – С.88-91.

7. Цифровая подстанция. Подходы к реализации / А.В.Данилин // Электроэнергия. Передача и распределение. 2012. №3 (12). – С.96-99.

8. Медведева Е.А. Острые углы цифровизации // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. №4. – С.18-20.

9. Об инновационном проекте «Умная сеть» / И.Ш. Фардиев // Энергетика Татарстана. 2010. №3. – С.5-12.

10. Gataullin A.M., Gubaev D.F., Khusnutdinov R.R. AUTOMATION OF HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT INSULATORS DIAGNOSTICS BY PARTIAL DISCHARGES METHOD // В сборнике: Proceedings – 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021. 2021. С. 58-62.

РАСТЕНИЕВОДЧЕСКИЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕЛЕННЫХ КУЛЬТУР

Берлинский Артем Николаевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Ачинский филиал, Ачинск, Россия

Ведерников Егор Алексеевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Ачинский филиал, Ачинск, Россия

temaberlinskij05@mail.ru

Научный руководитель: Долгих Павел Павлович, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Ачинский филиал, Ачинск, Россия

dpp10@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены конструктивные особенности фитоизлучателей, предназначенных для облучения растений в вегетационных установках. Указывается, что эффективность применения светотехнических облучательных установок определяется по ответной реакции растений при облучении разномасштабными источниками излучения. Сформулированы требования, предъявляемые к облучательным установкам, применяемым в вегетационных установках при выращивании зеленых культур. Предложена конструкция растениеводческого облучателя, в котором решена техническая задача по расширению функциональных возможностей.

Ключевые слова: вертикальное земледелие, вегетационная установка, гидропоника, облучательная установка, спектры излучения, фотобиологический эксперимент, эффективность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта «Растениеводческий облучатель для увеличения урожайности зеленых культур».

Подбор рациональных условий облучения является важным направлением исследования физиологии растений, позволяющим ускорить рост и развитие растений, повысить их качество и продуктивность. С помощью современных светодиодных ламп, которые позволяют индивидуально регулировать спектр и интенсивность излучения, исследователи могут активно влиять на габитус или содержание веществ в растениях. Поскольку растения могут по-разному реагировать на излучение в зависимости от рода, вида, сорта и стадии развития, в последние годы были разработаны специальные режимы облучения [1]. Такого типа источники излучения постоянно дорабатываются и совершенствуются.

Как показывает анализ патентных и литературных источников, недостатком одного известного устройства является сложность монтажа и крепления светодиодного фитооблучателя, поскольку требуются дополнительные элементы и специальный инструмент [2]. Из уровня техники известно, что одна из основных функций подвеса изделия в пространстве состоит в том, чтобы компенсировать его вес и обеспечить достаточного количества точек захвата для полной компенсации веса. В другом известном техническом решении выявлены узкие функциональные возможности из-за низкой эффективности управления фотосинтезным потоком фотонов и спектром излучения, поскольку присутствующие в конструкции элементы не обеспечивают адаптивное облучение в зависимости от экологической группы и разных вегетационных этапов развития растений [3]. Известно, что растения по необходимому количеству фотосинтезного потока фотонов делятся на экологические группы, куда входят гелиофиты и сциофиты [4]. Другими словами, одним растениям требуются высокие уровни облученности, для других растений эти

требования ниже. Существующие требования к спектральному составу таковы, что различные виды растений и одни и те же виды на разных вегетационных этапах развития могут иметь контрастные требования к спектру фотосинтетически активной радиации для максимизации продукционной. Поэтому светодиодный облучатель для растениеводства должен иметь функцию регулировки спектральных характеристик и интенсивности излучения, которые зависят от величины прямого тока, проходящего через светодиод.

Таким образом, техническая задача заключается в расширении функциональных возможностей светодиодного облучателя для растениеводства.

Цель – разработка светодиодного облучателя для растениеводства в стеллажной светокультуре с гидропонной технологией для увеличения урожайности зеленных культур.

Для определения влияния параметров облучения на урожайность зеленных культур был проведен натурный эксперимент. В опытах была задействована вегетационная установка, изображенная на рисунке 1.

В качестве культуры для выращивания были задействованы два сорта салата: Тайфун и Бутерброд. В одной растительной камере использовали светодиодный модуль с двумя типами светодиодов: холодного и теплого белого света, имитирующий дневной свет. В другой растительной камере использовали такой же светодиодный модуль с двумя типами светодиодов: холодного и теплого белого света, имитирующий дневной свет с добавлением синего и красного светодиодов. Светодиодные модули были установлены над емкостями с растениями.

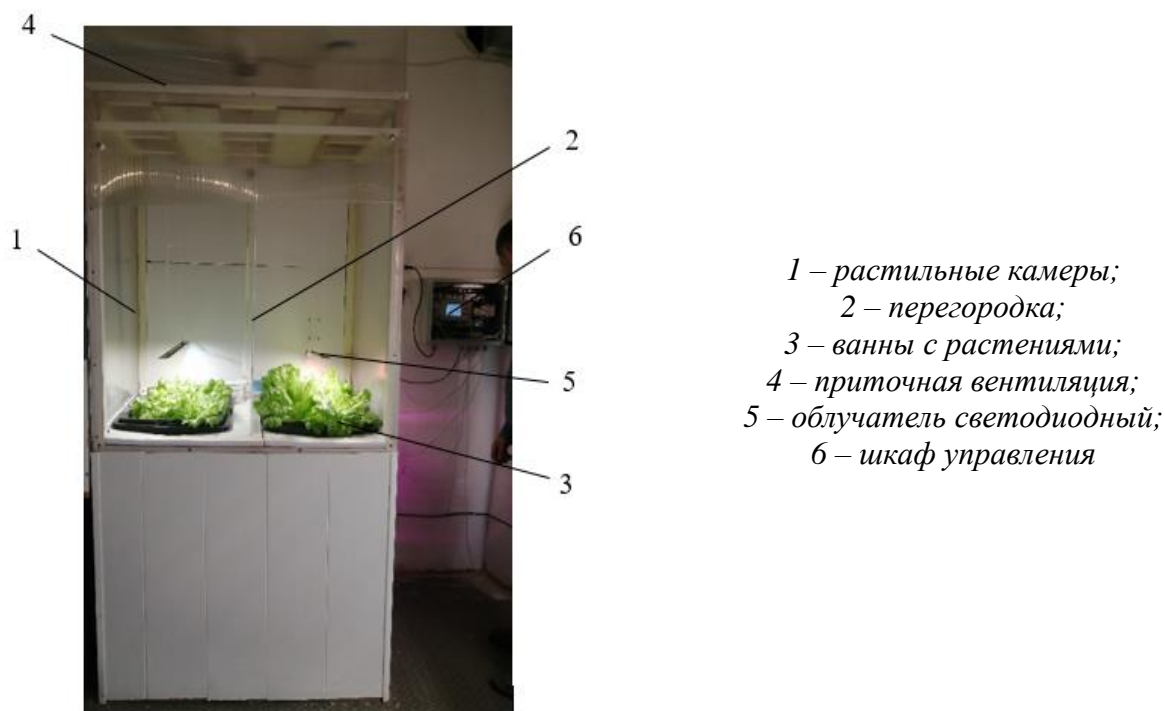


Рисунок 1 – Вегетационная установка для проведения фотобиологического эксперимента

В результате было установлено, что:

1. В первой растительной камере урожай салата сорта Тайфун составил $3,4 \text{ кг/м}^2$ при норме $3,5 \text{ кг/м}^2$ ($-0,1 \text{ кг/м}^2$), Бутерброд – $2,64 \text{ кг/м}^2$ при норме $3,2 \text{ кг/м}^2$ ($-0,56 \text{ кг/м}^2$).

2. Во второй растительной камере урожай салата сорта Тайфун составил $4,35 \text{ кг/м}^2$ при норме $3,5 \text{ кг/м}^2$ ($+0,85 \text{ кг/м}^2$), Бутерброд – $3,85 \text{ кг/м}^2$ при норме $3,2 \text{ кг/м}^2$ ($+0,65 \text{ кг/м}^2$).

Таким образом, существенное повышение урожайности исследуемых сортов салата может быть достигнуто путем опционного добавления к стандартному спектру источников синего и дальнего красного излучения. Рекомендованный спектр излучения представлен на рисунке 2.

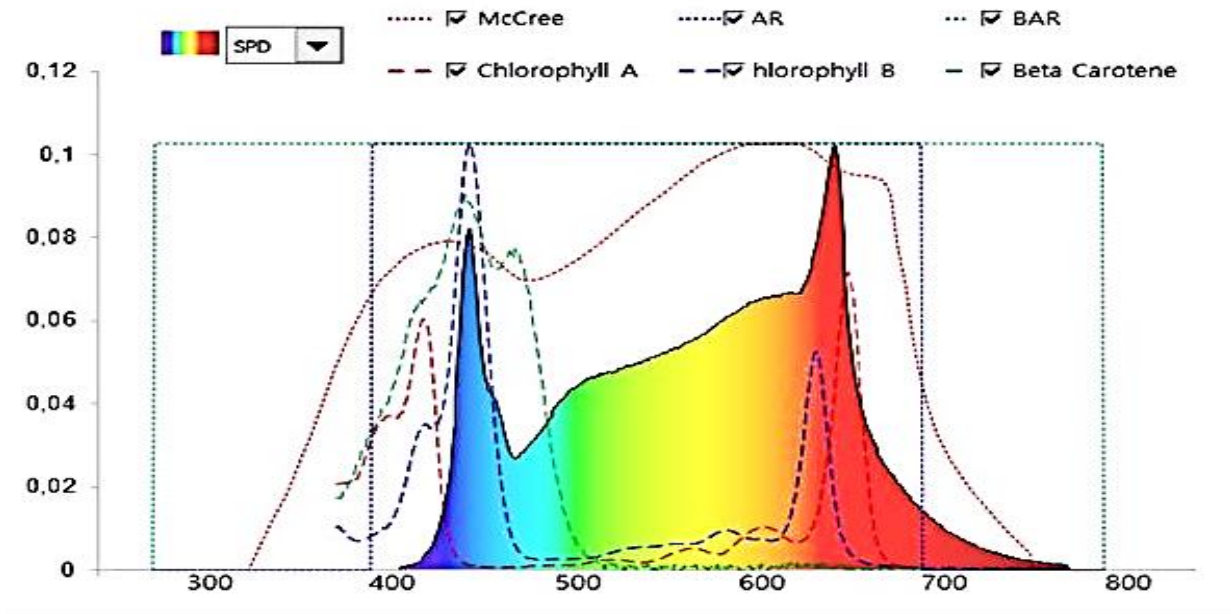
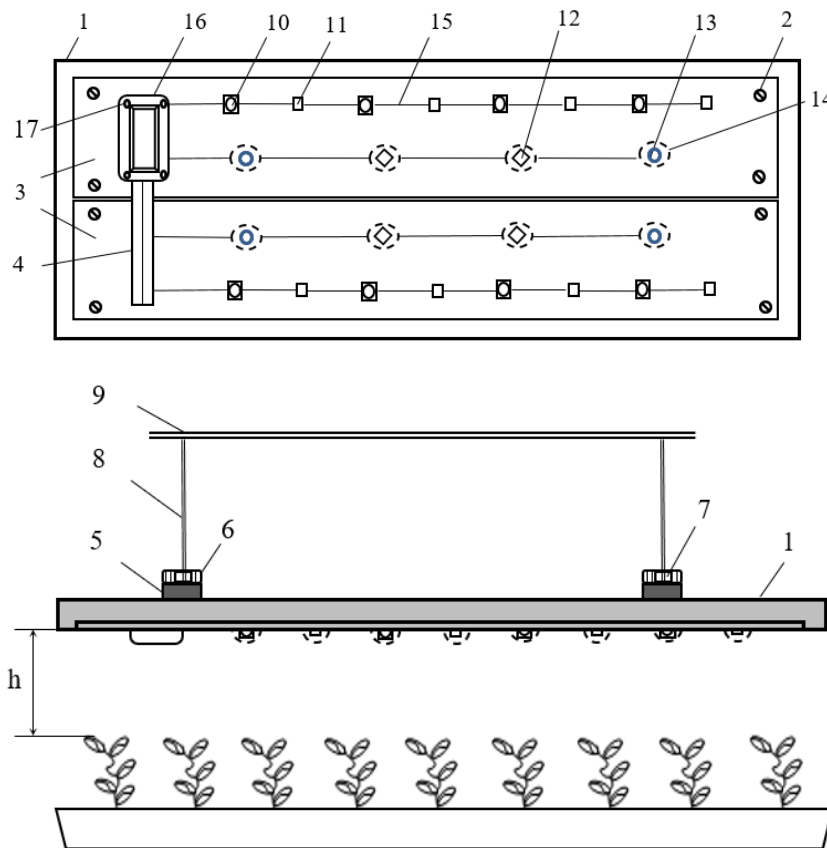


Рисунок 2 – Рекомендованный спектр излучения проектируемого облучателя

На рисунке 3 представлена концепция светодиодного облучателя для растениеводства в условиях стеллажных многоярусных вегетационных установок.



- 1 – корпус;
- 2 – клемки;
- 3 – светодиодные модули,
- 4 – токопроводящая шина.
- 5 – постоянные магниты,
- 6 – металлическая шайба;
- 7 – сквозное отверстие,
- 8 – устройство для подвеса,
- 9 – монтажная поверхность;
- 10 – светодиоды теплого белого света;
- 11 – светодиоды холодного белого света;
- 12 – светодиоды синего излучения;
- 13 – светодиоды дальнего красного излучения,
- 14 – рассеиватель;
- 15 – провода;
- 16 – блок питания и управления;
- 17 – винты.

Рисунок 3 – Растениеводческий облучатель

Технический результат в предлагаемом устройстве достигается тем, что оба светодиодных модуля закреплены внутри корпуса и содержат светодиоды теплого белого света и холодного белого света, установленные в порядке чередования на одной линии параллельно одной большей стороне светодиодного модуля, а также светодиоды синего

излучения и светодиоды дальнего красного излучения, установленные в порядке чередования на одной линии параллельно другой большей стороне светодиодного модуля и снабженные каждый рассеивателем, притом первый светодиодный модуль содержит блок питания и управления, имеющий связь со светодиодами первого светодиодного модуля через провода, а через токопроводящую шину и провода со светодиодами второго светодиодного модуля, с возможностью управления потоками излучения по отдельности путем понижения тока, при этом сверху корпуса к наружной его части приклеены постоянные магниты, выполненные каждый с возможностью фиксации с металлической шайбой, в которой одним концом закреплено устройство для подвеса, причем устройство для подвеса выполнено с возможностью фиксации другим концом на монтажной поверхности.

В предлагаемом нами техническом решении «Растениеводческий облучатель для увеличения урожайности зеленых культур»:

– упрощается монтаж и крепление светодиодного облучателя для растениеводства вследствие малой его массы, так как функцию теплоотвода выполняют тонкие алюминиевые светодиодные модули, находящиеся внутри корпуса, что позволяет применить легкоъемное устройство для подвеса:

– расширяются функциональные возможности светодиодного облучателя для растениеводства поскольку регулирование интенсивности и спектра излучения, дающее возможность формировать различные уровни облученности и управлять физиологическими процессами в растениях, осуществляется за счет двух светодиодных модулей, содержащих каждый светодиоды теплого белого света и холодного белого света, формирующих поток фотосинтетически активной радиации, а также светодиоды синего излучения и светодиоды дальнего красного излучения, формирующих поток физиологически активной радиации, с возможностью управления этими потоками по отдельности путем понижения тока и объединения указанных светодиодов в отдельные линии, способом указанным в описании.

Разработанное устройство относится к сельскохозяйственной светотехнике, а именно к облучательным приборам для выращивания растений в условиях защищенного грунта, для облучения растений сверху в многоярусных установках стеллажного типа, фитотронах, вегетационных камерах.

Список литературы

1. Долгих П.П. Результаты фотобиологических исследований по выращиванию салата под разноспектральными источниками излучения / П.П. Долгих, С.В. Трепуз, В.А. Ханипова, О.В. Сенкевич // Инженерные технологии и системы. – 2023. Т. 33, – № 3. – С. 435-451.

2. Пат. № 234599 РФ, МПК А01G 9/20, F21S 8/00, F21S 4/28. Светодиодный фитооблучатель / Ракутько С. А., Медведев Г. В., Ракутько Е. Н., Гулин С. В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет». – № 2025105417: заявл. 10.03.25. опубл. 03.06.25. Бюл. №16.

3. Пат. № 223062 РФ, МПК А01G 9/24. Светодиодный облучатель для растениеводства / Долгих П. П., Тимофеенко И. А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет». – № 2023119535: заяв. 24.07.2023. опубл. 29.01.2024. Бюл. № 4.

4. Шаповалова А. А. Экология растений: учеб.-метод. пособие. / А. А. Шаповалова. – Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2015. – 80 с.

СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ОТГОННОГО ЖИВОТНОВОДСТВА И СЕЛЬСКИХ ЖИТЕЛЕЙ МОНГОЛИИ

Болд-Эрдэнэ Усукбаяр, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

usukhuu.0809@gmail.com

Научный руководитель: Бастрон Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

abastron@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы и перспективы использования солнечных электростанций для энергоснабжения животноводческих хозяйств и сельского населения Монголии. Анализируются климатические и социально-экономические особенности региона, влияющие на выбор оборудования. Приводятся практические рекомендации по подбору автономных и гибридных систем для различных категорий потребителей – кочевых животноводов, оседлых фермеров и сельских поселений. Особое внимание уделено техническим характеристикам оборудования, адаптированного к суровым условиям Монголии.

Ключевые слова: солнечная энергетика, автономное энергоснабжение, животноводство, Монголия, кочевники, возобновляемые источники энергии, гибридные системы

Монголия – страна с уникальным укладом жизни, где традиционное кочевое животноводство сохраняет ключевую роль в экономике и культуре. Около 30% населения проживает в сельской местности, значительная часть ведет кочевой или полукочевой образ жизни. При этом доступ к централизованному электроснабжению имеют лишь крупные населенные пункты. Огромные территории, низкая плотность населения и суровый континентальный климат делают строительство линий электропередач экономически нецелесообразным. В этих условиях автономные солнечные электростанции становятся наиболее перспективным решением для энергоснабжения отдаленных животноводческих стоянок и сельских домохозяйств [1, с. 15].

Солнечная энергетика в Монголии активно развивается с конца 1990-х годов. Программа «100,000 Solar Houses» (1999–2012) позволила обеспечить базовыми солнечными системами до 70% кочевых семей. В 2026 году стартовала новая инициатива «100,000 Solar Gers», рассчитанная до 2035 года. Она предусматривает оснащение современными фотоэлектрическими станциями с аккумуляторами и электрическим отоплением 100 тысяч домохозяйств в юрточных районах [2].

Однако успех внедрения солнечных технологий зависит не только от государственной поддержки, но и от грамотного выбора оборудования и его правильной эксплуатации. В данной статье предложены научно обоснованные практические рекомендации для различных категорий потребителей.

Климатические особенности Монголии и их влияние на выбор оборудования Монголия характеризуется резко континентальным климатом с холодной зимой (температура может опускаться до -40°C) и жарким летом (до $+40^{\circ}\text{C}$). Годовая амплитуда температур достигает 80°C . При этом количество солнечных дней в году составляет 260–300, что создает благоприятные условия для использования солнечной энергии. Среднегодовая инсоляция на территории Монголии составляет $4,5\text{--}5,5\text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в день, что выше, чем во многих европейских странах [3, с. 28]. Однако суровые условия предъявляют особые требования к оборудованию:

- солнечные панели должны выдерживать значительные снеговые и ветровые нагрузки;

- аккумуляторы должны сохранять работоспособность при низких температурах;
- все компоненты должны иметь защиту от пыли и песка (степень защиты не ниже IP65);

- оборудование должно выдерживать резкие перепады температур.

В зависимости от образа жизни и потребностей в энергии всех сельских жителей Монголии можно разделить на три основные группы.

Кочевые животноводы. Эта группа постоянно перемещается по пастбищам. Им требуются легкие, портативные системы мощностью 0,5–2 кВт, которые можно быстро демонтировать и перевезти на новое место. Оптимальный состав системы:

- одна-две солнечные панели мощностью 150–300 Вт каждая (предпочтительно монокристаллические, так как они эффективнее в условиях низкой освещенности);

- портативная аккумуляторная станция на литий-железо-фосфатных (LiFePO_4) элементах емкостью 1–3 кВт·ч – такие аккумуляторы устойчивы к глубокому разряду и работают при температурах до -30°C ;

- гибридный инвертор/контроллер мощностью 500–2000 Вт.

Такая система обеспечивает освещение (светодиодные лампы), зарядку мобильных телефонов, спутниковых навигаторов, радиостанций и работу маломощных бытовых приборов. Общий вес системы не должен превышать 30–40 кг для удобства транспортировки.

Оседлые сельские жители и мелкие фермеры. Эта группа проживает стационарно в небольших поселках или на отдельных фермах. Им необходима мощность 3–10 кВт для круглогодичного обеспечения всех бытовых нужд. Рекомендуемый состав:

- стационарные солнечные панели общей мощностью 3–10 кВт (монокристаллические или поликристаллические) с алюминиевыми рамами и закаленным стеклом;

- аккумуляторные батареи емкостью 10–30 кВт·ч – оптимальны гелевые или литий-железо-фосфатные, они не требуют обслуживания и имеют длительный срок службы;

- гибридный инвертор мощностью 5–15 кВт с функцией МРРТ-контроллера.

Такая система обеспечивает работу освещения, холодильника, телевизора, насоса для воды, электроинструмента, а также может использоваться для отопления (теплые полы, электроконвекторы) в зимний период. При наличии возможности подключения к общей сети стоит выбирать гибридный инвертор с функцией продажи излишков.

Крупные животноводческие комплексы и сельские кооперативы. Эти объекты нуждаются в мощности свыше 10 кВт для обеспечения производственных процессов: водоподъем, переработка молока и шерсти, освещение и отопление помещений, работа доильных аппаратов, кормоприготовительной техники. Оптимальным решением являются гибридные системы, комбинирующие:

- солнечные панели мощностью 20–100 кВт и более;

- ветрогенераторы (в степях Монголии высокий ветровой потенциал, среднегодовая скорость ветра 4–6 м/с);

- резервный дизель-генератор для подстраховки в длительную пасмурную погоду;

- промышленные аккумуляторные батареи емкостью 50–200 кВт·ч;

- промышленные инверторы и контроллеры.

Такие системы требуют профессионального проектирования и монтажа, но обеспечивают полную энергетическую независимость и окупаются за 5–7 лет за счет экономии на дизельном топливе [4, с. 67].

При выборе солнечных панелей для условий Монголии следует учитывать следующие параметры:

- Тип панелей: монокристаллические имеют более высокий КПД (18–22%) и лучше работают при слабом освещении, что важно в зимний период. Поликристаллические дешевле, но менее эффективны.

- Мощность: для кочевых групп достаточно 150–300 Вт, для стационарных домов – 3–5 кВт, для ферм – от 10 кВт.

- Рабочее напряжение: для малых систем – 12В или 24В, для мощных – 48В и выше.
- Производитель: предпочтение следует отдавать проверенным брендам (LONGi, JinkoSolar, Canadian Solar, Trina Solar), имеющим официальных дистрибьюторов в Монголии.

Аккумуляторные батареи – самый ответственный и дорогой компонент системы. Для условий Монголии оптимальны: · LiFePO₄ (литий-железо-фосфатные): срок службы 3000–5000 циклов (10–15 лет), высокая эффективность, работа при температурах до -30°C, не требуют обслуживания, но дороги.

- Гелевые (GEL): срок службы 800–1200 циклов (5–8 лет), работают при температурах до -40°C, не требуют обслуживания, дешевле литиевых.

- AGM: дешевле, но чувствительны к глубокому разряду и низким температурам, требуют обслуживания. Емкость аккумуляторов рассчитывается исходя из суточного потребления и желаемого количества дней автономной работы (обычно 2–3 дня для солнечных районов).

Инверторы должны иметь:

- чистую синусоиду на выходе (для корректной работы насосов, холодильников, электроники);
- функцию MPPT-контроллера для максимального отбора мощности от панелей;
- защиту от перегрузки, короткого замыкания, перегрева;
- возможность параллельной работы нескольких инверторов для увеличения мощности.

Заключение. Солнечная энергетика открывает реальные перспективы для устойчивого развития животноводства и повышения качества жизни сельского населения Монголии. Научно обоснованный подход к выбору оборудования с учетом климатических и социальных особенностей позволяет максимально эффективно использовать возобновляемые источники энергии. Государственные программы создают благоприятные условия, однако конечный успех зависит от грамотных действий каждого потребителя. Дальнейшее развитие требует совершенствования технической базы, подготовки кадров и информирования населения о практических аспектах эксплуатации солнечных станций.

Список литературы

1. Баярсайхан, Н. Возобновляемая энергетика в Монголии: современное состояние и перспективы / Н. Баярсайхан, Д. Цэдэв – Улан-Батор: Изд-во Монгольского государственного университета, 2024. – 156 с.

2. Постановление Правительства Монголии от 15 января 2026 г. № 45 «Об утверждении программы «100,000 Solar Gers» // Информационная система законодательства Монголии.

3. Нацагдорж, Б. Солнечная энергия в Монголии: ресурсы и технологии / Б. Нацагдорж – Улан-Батор: Академия наук Монголии, 2023. – 112 с.

4. Лувсанцэрэн, Г. Энергообеспечение животноводческих хозяйств Монголии / Г. Лувсанцэрэн – Улан-Батор: Монгольский государственный университет науки и технологий, 2025. – 89 с.

5. Отчет о реализации пилотных проектов солнечной энергетики в сомонах Баянхонгор и Говь-Алтай // Министерство энергетики Монголии. – Улан-Батор, 2026. – 34 с.

ЭВОЛЮЦИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ: ОТ МАСЛЯНЫХ К ВАКУУМНЫМ И ЭЛЕГАЗОВЫМ

Веремеенко Семен Юрьевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

syoma.veremeenko@yandex.ru

Научный руководитель: Чебодаев Александр Валериевич, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

ale-chebodaev@yandex.ru

Аннотация. В статье проведен анализ развития ключевого оборудования электроэнергетических систем – высоковольтных выключателей. Рассмотрены физические принципы гашения электрической дуги, лежащие в основе работы масляных, вакуумных и элегазовых выключателей. Проведен детальный сравнительный анализ по ряду ключевых параметров: коммутационный ресурс, взрывопожароопасность, воздействие на окружающую среду. Показано, что эволюция выключателей направлена на повышение надежности, безопасности, снижение эксплуатационных затрат и минимизацию экологического следа.

Ключевые слова: высоковольтный выключатель, масляный выключатель, вакуумный выключатель, элегазовый выключатель, SF₆, гашение дуги

Высоковольтный выключатель является одним из наиболее критичных элементов любой электроэнергетической системы. Его основная функция – оперативное включение и отключение цепей при нормальных и аварийных режимах, в частности, при коротких замыканиях (КЗ). Надежность и быстродействие выключателей напрямую определяют устойчивость и живучесть энергосистемы в целом.

Эволюция высоковольтных выключателей представляет собой наглядный пример технологического прогресса в электротехнике, движимого потребностями в повышении надежности, безопасности, снижении эксплуатационных затрат и минимизации воздействия на окружающую среду. За последнее столетие произошел переход от громоздких и пожароопасных масляных выключателей к компактным и высокоэффективным вакуумным и элегазовым аппаратам.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа различных поколений высоковольтных выключателей на основе изучения физических принципов их работы, конструктивных особенностей и эксплуатационных характеристик.

Масляные выключатели (МВ) (рис. 1), появившиеся на рубеже XIX–XX веков, стали первым массовым типом аппаратов для коммутации высоких напряжений. Их развитие и совершенствование продолжалось несколько десятилетий, и, несмотря на активное вытеснение, они до сих пор встречаются в эксплуатации, особенно в сетях старых промышленных предприятий и в некоторых распределительных сетях. При отключении электрической цепи между контактами выключателя загорается дуга. В масляных выключателях дуга гасится в среде трансформаторного масла. Вследствие высокой температуры дуги, достигающей в наружной части 3000–5000 К, трансформаторное масло, соприкасающееся с ней, очень быстро испаряется и разлагается [1]. Процесс газообразования происходит практически мгновенно, за сотые доли секунды. По мере увеличения длительности горения дуги и расстояния между контактами наблюдается интенсивный рост объема газового пузыря. Дуга, горящая внутри этого пузыря, контактирует с маслом, провоцируя дальнейшее газовыделение. В результате быстрого разложения масла давление в пузыре резко возрастает, что усиливает охлаждение и деионизацию дугового столба. Дополнительным фактором деионизации является водород, который, как электроотрицательный газ, активно воздействует на ствол дуги.



Рисунок 1 - Выключатель маломасляный МГГ-10-5000-45У3

Вакуумные выключатели (ВВ) (рис. 2), серийное производство которых началось в 1960-х годах, совершили революцию в коммутационной технике среднего напряжения. Их принцип действия основан на уникальных свойствах глубокого вакуума (давление 10^{-6} – 10^{-8} Па) как диэлектрической и дугогасящей среды. Условия существования и гашения дуги в вакууме имеют свои особенности. При размыкании контактов происходит снижение числа площадок фактического контактирования и перед моментом окончательного расхождения контактных деталей на несколько последних контактных площадок приходится весь ток выключателя [2]. Происходит ионизация паров металла контактного мостика под воздействием приложенного напряжения сети, приводящая к образованию дуги [3]. Возникновение и поддержание вакуумной дуги обусловлено последовательной ионизацией паров металла: сначала материала мостика между контактами, а затем - вещества самих электродов, испаряющегося под воздействием энергии дуги. Прекращение поступления этих паров приводит к гашению дуги. При снижении тока к нулевому значению уменьшается и тепловая энергия, что вызывает падение концентрации металлических паров. В результате дуга гаснет при первом же переходе тока через ноль, а время ее горения не превышает 10 мс. Важнейшим свойством вакуумной дуги является чрезвычайно высокая скорость деионизации ее столба, обусловленная диффузией носителей заряда, что обеспечивает быстрое восстановление электрической прочности промежутка после погасания.



Рисунок 2 - ВВ-РА-10 Вакуумный выключатель

Элегазовые выключатели (ЭВ) (рис. 3), появившиеся в 1950-х годах, благодаря уникальным свойствам гексафторида серы (SF_6), стали доминирующим решением для сетей высокого (ВН) и сверхвысокого напряжения (СВН). Принцип гашения дуги в элегазовых выключателях аналогичен принципу в воздушных: мощный поток газа интенсивно охлаждает дугу. Высокая электроотрицательность элегаза в сочетании с низким теплосодер-

Элегазовые выключатели (ЭВ) (рис. 3), появившиеся в 1950-х годах, благодаря уникальным свойствам гексафторида серы (SF_6), стали доминирующим решением для сетей высокого (ВН) и сверхвысокого напряжения (СВН). Принцип гашения дуги в элегазовых выключателях аналогичен принципу в воздушных: мощный поток газа интенсивно охлаждает дугу. Высокая электроотрицательность элегаза в сочетании с низким теплосодер-

жанием его дугового канала приводит к резкому снижению числа свободных электронов. Когда их потери начинают превосходить генерацию, дуга гаснет. Явление захвата электронов особенно благоприятно сказывается после перехода тока через нуль, вследствие чего элегазовые выключатели малочувствительны к частоте восстанавливающегося напряжения [3]. Основная сложность при эксплуатации этих выключателей - SF₆ (элегаз, шестифтористая сера), которая сама по себе недешевая, плюс в обслуживании требуются устройства для очистки, заполнения ее перекачки [4]. Для всесторонней оценки рассмотренных типов выключателей проведен многокритериальный анализ, результаты которого систематизированы в таблице 1.



Рисунок 3 - Выключатель элегазовый ВЭБ-110-40-2500

Таблица 1 – Сравнительная характеристика высоковольтных выключателей

Параметр	Масляные	Вакуумные	Элегазовые
Коммутационный ресурс	Низкий (10-20)	Очень высокий (20 000–100000)	Высокий (10 000–30000)
Быстродействие	Низкое (80-150)	Высокие (20–60)	Высокие (20–80)
Пожаро- и взрывоопасность	Высокая	Отсутствует	Отсутствует
Экологичность	Риск разлива масла, пожар, утилизация масла	Высокая	Крайне низкая (SF ₆ мощный парниковый ППП=23500, срок жизни в атмосфере 3200 лет)
Требования к обслуживанию	Высокие (регулярная замена масла, чистка контактов)	Крайне низкие	Средние
Коммутационные перенапряжения	Низкие	Повышенные	Низкие
Массогабаритные показатели	Большие	Наименьшие	Средние
Устойчивость к КЗ	Средняя, возможно Разрушение камер	Высокая	Очень высокая

Проведенный комплексный анализ наглядно демонстрирует закономерный и объективный характер эволюции высоковольтных выключателей. Переход от масляных технологий к вакуумным и элегазовым был обусловлен совокупностью технико-экономических и экологических факторов: стремлением к повышению безопасности, надежности, снижению эксплуатационных расходов и, в последнее время, минимизации воздействия на окружающую среду.

На текущий момент сложилась четкая диверсификация областей применения: вакуумные выключатели доминируют в распределительных сетях среднего напряжения, в то время как элегазовые, несмотря на экологические проблемы, остаются безальтернативным решением для линий сверхвысокого напряжения. Однако эта ситуация не является статичной. Интенсивные исследования в области вакуумной коммутации высокого

напряжения и разработка экологичных газовых смесей-заменителей SF₆ в ближайшей перспективе могут изменить сложившееся рыночное разделение.

Дальнейшее развитие коммутационной техники будет неразрывно связано с процессами цифровой трансформации электроэнергетики. Внедрение средств встроенной диагностики, прогнозирования остаточного ресурса и интеграция в системы цифрового управления подстанциями в конечном итоге приведут к созданию нового поколения «умных» выключателей, которые не только выполняют свои защитные функции, но и становятся активными элементами в управлении режимами работы энергосистемы, повышая ее гибкость, устойчивость и эффективность.

Список литературы

1. Арасланова, И. В. Высоковольтные масляные выключатели и их приводы: Методические указания к лабораторной работе // И. В. Арасланова, А. В. Новиков - Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. - 20с.

2. Исследование высоковольтных электрических аппаратов : учеб.-метод. пособие / В. И. Лузгин, И. Е. Лопатин, В. В. Рудный, С. Р. Яковенко ; Мин-во науки и высшего образования РФ. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020.- 92 с

3. Коммутационные и защитные аппараты высокого напряжения [Электронный ресурс]. – Режимдоступа
<https://www.tomintech.ru/lyceum/media/uploads/Kommutac%20apparaty%20VN.pdf>(дата обращения 25.10.2025).

4. Стародубцев, А. А. Тенденции развития коммутационного оборудования энергосистем // Труды Братского государственного университета. серия: естественные и инженерные науки. - 2021. - С. 136 - 138.

5. Павлова, Д. А Ретрофит ячеек кру 10(6) кВ // Студенческая наука -взгляд в будущее. - 2025. - С. 27 - 30.

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕГАОММЕТРА ЗА СЧЕТ РАЗРАБОТКИ АККУМУЛЯТОРА ВМЕСТО НАБОРА ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Иванова Надежда Эдуардовна, студентка

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

nadia1petrik@mail.ru

Научный руководитель: Чебодаев Александр Валериевич, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

ale-chebodaev@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается поэтапный процесс проектирования и сборки литий-ионного аккумулятора напряжением 14,4 В с использованием типовых элементов 18650. Актуальность темы обусловлена широким распространением литиевых сборок в самодельных устройствах, электроприборах и системах автономного питания, где требуется компактный и емкий источник энергии. В работе приведен расчет конфигурации 4S, даны рекомендации по подбору комплектующих (BMS, никелевая лента), описаны процессы подготовки ячеек, контактной сварки и тестирования готового изделия. Особое внимание уделено технике безопасности и сравнительному анализу химических составов элементов. Статья снабжена практическими иллюстрациями, отображающими ключевые этапы исследования и сборки.

Ключевые слова: Li-ion, 18650, 4S сборка, BMS, аккумулятор, ICR, INR, LiFePO₄, энергоемкость, срок службы, точечная сварка, безопасность, номинальное напряжение, мегомметр

В эпоху повсеместного перехода на аккумуляторные инструменты и портативную электронику, умение самостоятельно собирать литий-ионные батареи становится востребованным навыком, как среди радиолюбителей, так и среди специалистов, занимающихся модернизацией техники. Наиболее популярными элементами для сборки являются Li-ion аккумуляторы форм-фактора 18650 благодаря их доступности, высокой энергоплотности и механической жесткости. Однако сборка литиевой батареи, в отличие от свинцово-кислотной, требует строгого соблюдения правил: выравнивания потенциалов ячеек, использования плат защиты (BMS) и специальных методов соединения, исключающих перегрев.

Целью данной работы является создание действующего прототипа батареи 14,4 В и его интеграция в корпус мегомметра Ф4102/1-1М для обеспечения автономной работы прибора без необходимости частой замены дорогостоящих химических источников тока.

Мегомметр Ф4102/1-1М используется в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия, профиль «Электротехнологии и электрооборудование в АПК». Данный мегомметр показал высокую надежность и точность, но для автономной работы требуется девять химических источников тока размера D20, напряжением 1,5В каждый, общее напряжение составляет 13,5В. Стоимость замены комплекта химических источников тока составляет 1200–2000 рублей, что является существенным расходом в современных условиях.

Обсуждение типов ячеек и рекомендации. В зависимости от химического состава, литий-ионные элементы делятся на несколько типов, каждый из которых имеет свои особенности:

1. ICR (LiCoO₂) – высокая энергоемкость, но низкая токоотдача и термическая стабильность. Подходят для устройств с умеренным потреблением тока.

2. INR (LiNiMnCoO_2) – сбалансированные элементы, обладающие хорошей токоотдачей и большим сроком службы. Рекомендуются для большинства силовых установок.

3. IMR (LiMn_2O_4) – высокотокковые элементы с повышенной безопасностью.

4. LFP (LiFePO_4) – максимальная безопасность и ресурс (до 5000 циклов), но меньшая плотность энергии.

Процесс интеграции аккумулятора в корпус мегомметра.

После завершения сборки и тестирования аккумуляторного блока (рис.1) следующим этапом стала его интеграция в штатный отсек питания мегомметра Ф4102/1-1М (рис.2). Конструктивной особенностью данного прибора является наличие отсека, рассчитанного на последовательную установку девяти элементов типа D20 (R20), соединенных последовательно посредством металлических скоб и пружинных контактов.

Для увеличения емкости параллельно каждой «ступеньке» добавляются дополнительные элементы. Например, конфигурация 4S2P (четыре последовательных группы по два параллельных элемента) удваивает итоговую емкость [1].

Критически важным этапом является выбор компонентов:

1. Ячейки. Рекомендуется использовать новые аккумуляторы из одной партии с идентичными характеристиками (емкость, внутреннее сопротивление). При использовании б/у элементов обязательна выбраковка по напряжению и току отдачи [1, 6].

2. Плата BMS (Battery Management System). Обязательный элемент для защиты от переразряда, перезаряда и короткого замыкания. Выбор платы осуществляется под тип элементов, количество последовательных элементов (4S) и максимальный ток нагрузки [2, 6].

3. Материалы для соединения. Оптимальным признано соединение никелевой лентой методом контактной (точечной) сварки. Пайка допускается, но требует высокой квалификации и ограничения времени воздействия паяльником для предотвращения перегрева банок [3].

Подготовка и предварительный анализ ячеек. Перед сборкой все элементы проходят входной контроль. Проводится визуальный осмотр на предмет коррозии или повреждений корпуса. Далее производится измерение внутреннего сопротивления, так как оно является ключевым индикатором состояния ячейки. Близкие значения напряжения (в пределах 4,18–4,19 В) свидетельствуют о том, что ячейки находятся в полностью заряженном состоянии и хорошо сбалансированы. Некоторый разброс внутренних сопротивлений элементов (от 15,78

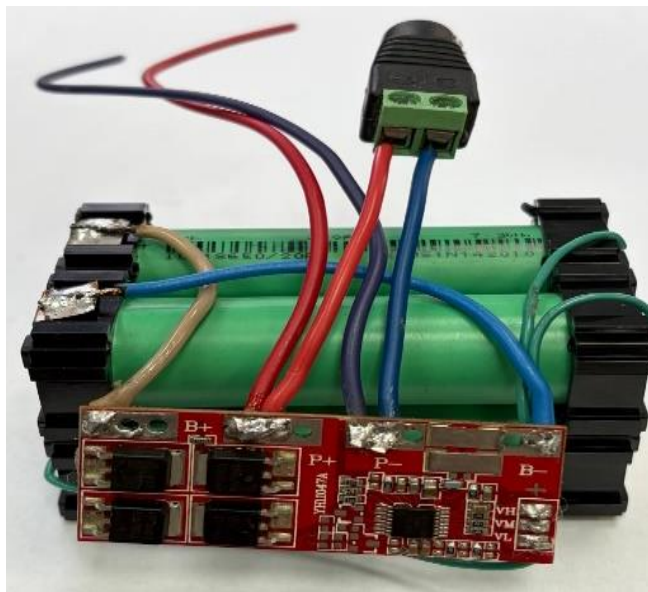


Рисунок 1 - Li-ион аккумулятор 18650 на 14,4 В с платой 4S BMS



Рисунок 2 - Мегомметр Ф4102/1-1М с интегрированным литий-ионным аккумулятором

до 18,46 мОм), является допустимым при последующей сборке с использованием платы BMS, обеспечивающей выравнивание потенциалов в процессе эксплуатации.

После проверки сопротивления производится выравнивание (балансировка) напряжения всех ячеек. Разница между элементами, соединяемыми последовательно, не должна превышать 0,05 В. Это достигается путем индивидуального заряда всех ячеек до одинакового уровня с помощью специального зарядного устройства.

Процесс сборки и коммутации. Точечная сварка никелевых перемычек. Наиболее ответственный этап – соединение ячеек в последовательную цепь. Для этого используется никелевая лента и аппарат для точечной сварки. Сварка обеспечивает минимальное переходное сопротивление и исключает нагрев, что критично для литиевых элементов.

Технология выполнения сварки включает следующие шаги:

1. Никелевая лента нарезается на полосы необходимой длины с запасом около 1 см для удобства позиционирования.

2. Полосы накладываются на контактные площадки элементов, строго соблюдая схему соединения (последовательно-параллельную).

3. Электроды сварочного аппарата устанавливаются на ленту в месте контакта с банкой, и производится короткий импульс тока. Важно контролировать силу и длительность импульса, чтобы проварить ленту, но не повредить корпус ячейки.

4. Качество сварки проверяется визуально и механическим подергиванием: соединение должно быть прочным, а лента – не отрываться.

5. Если используется пайка (как временная мера), необходимо минимизировать время контакта паяльника – не более 2–3 секунд на точку, используя мощный паяльник и активный флюс [3].

На (рис.3) представлен процесс измерения внутреннего сопротивления готовой сборки из четырех ячеек с помощью прибора HRM-10. Показания 74,44 мОм и напряжение 16,749 В (для тестируемой сборки) находятся в пределах допустимых значений для данной партии, что говорит о пригодности ячеек к сборке.

После выполнения всех сварных соединений блок готов к установке платы защиты. Установка BMS и подключение проводов. После сварки никелевых перемычек к собранному блоку припаивается плата BMS строго по схеме, предоставленной производителем (рис. 4). К выходным силовым проводам аккумуляторной сборки (Коричневый – +16,8 В, Синий – GND), BMS подключается к каждой точке соединения ячеек (balance leads) и разрывает цепи питания при возникновении аварийных ситуаций [2].



Рисунок 3 - Измерение внутреннего сопротивления и напряжения готовой сборки

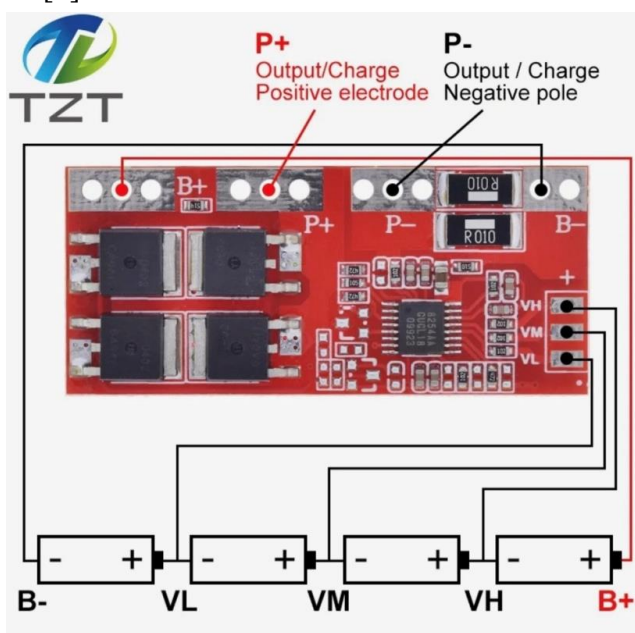


Рисунок 4 – Схема подключения Li-Ion ячеек к плате BMS

Далее производится припаивание проводов для подключения нагрузки и разъема для подключения зарядного устройства. Красный и синий провод впоследствии были припаяны к контактным площадкам, используемым для установки стандартных химических источников тока в батарейном отсеке мегомметра. Для подключения зарядного устройства использовался разъемы питания с гнездом 2,1x5,5 с клеммной колодкой (Рис. 1).

Места пайки были тщательно обработаны спиртом от остатков флюса и покрыты слоем цапон лака. Готовая сворка из четырех Li-ion аккумуляторов 18650, 4S BMS заизолированы термоусадочной трубкой.

В заключительном этапе аккумулятор был уложен в отсек, провода аккуратно уложены вдоль стенок, чтобы избежать защемления крышкой. Крышка отсека питания была закрыта и зафиксирована штатными винтами. К прибору были подключены щупы для проведения измерений. Произведена проверка прибора на работоспособность с новым источником питания. Выполнена калибровка прибора. Внешний вид прибора после модернизации представлен на рисунке 2.

Заключение. В результате проделанной работы был спроектирован и собран Li-ion аккумуляторный блок на базе элементов 18650 из четырех последовательно соединенных ячеек (4S) с напряжением 14,4 В. Готовая сборка была установлена в штатный отсек питания мегомметра Ф4102/1-1М, заменив собой девять химических источников тока типового размера D20.

Список литературы

1. Чебодаев А.В. Основы проектирования автономных систем электропитания: учебное пособие. – Красноярск: КрасГАУ, 2023. – 180 с.
2. Мельников А.В. Защитные платы BMS: типы, характеристики, подключение // Радиолюбитель. – 2023. – № 5. – С. 18-21.
3. Романов В.И., Смирнов А.А. Литий-ионные аккумуляторы: устройство, эксплуатация и ремонт. – М.: Радио Софт, 2021. – 320 с.
4. Кузнецов Д.Г. Современные источники питания для портативной электроники // Электронные компоненты. – 2022. – № 4. – С. 25-29.
5. Петров С.Н. Технология контактной сварки в производстве аккумуляторных батарей // Сварочное производство. – 2020. – № 8. – С. 12-16.
6. Иванов А.П. Системы управления литий-ионными батареями (BMS): принципы построения и выбора // Компоненты и технологии. – 2023. – № 2. – С. 42-47.
7. Морозов А.С. Балансировка ячеек в многоэлементных литиевых сборках // Силовая электроника. – 2023. – № 1. – С. 58-62.

ОБЗОР УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМОНТЕРОВ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ДО 1000 В И ВЫШЕ

Иванова Надежда Эдуардовна, студентка

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

nadia1petrik@mail.ru

Научный руководитель: Бастрон Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

abastron@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен обзор инновационных устройств, повышающих эффективность и безопасность труда электромонтеров в электроустановках до 1000 В и выше. Рассмотрены современные многофункциональные измерительные комплексы с беспроводной передачей данных, интеллектуальные бесконтактные детекторы напряжения, специализированные осветительные установки для работы в темное время суток, а также перспективные разработки в области тестирования защитных цепей. Особое внимание уделено адаптации приборов для эксплуатации в условиях недостаточной видимости и низких температур.

Ключевые слова: электромонтер, электроустановки до 1000 В, электроустановки выше 1000 В, инновационные устройства, ночные работы, осветительные установки, бесконтактный детектор, многофункциональный измеритель, диагностика, электробезопасность, тепловизионный контроль, автотестер, светодиодные прожекторы, работа в темноте

Профессия электромонтера предъявляет особые требования не только к квалификации, но и к техническому оснащению. Аварийные ситуации, плановые ремонты и осмотры оборудования часто приходится на темное время суток, когда видимость ограничена, а риски возрастают многократно. Современный рынок предлагает целый ряд инновационных устройств, которые позволяют эффективно работать в любое время суток, минимизируя влияние человеческого фактора и повышая безопасность.

Рассмотрим наиболее перспективные разработки, разделив их по функциональному назначению и условиям применения.

1. Инновационные решения для дневной работы

1.1. Многофункциональные измерительные комплексы нового поколения

Современные измерительные приборы давно перестали быть просто "тестерами". Сегодня это интеллектуальные комплексы, способные выполнять десятки функций и обмениваться данными с облачными сервисами.

EurotestXE MI 3102H SE (Metrel). Этот прибор сочетает функции мегаомметра с испытательным напряжением до 2,5 кВ и универсального измерителя параметров электроустановок. Инновационность заключается в возможности диагностического тестирования изоляции с анализом коэффициентов абсорбции и поляризации, что позволяет прогнозировать остаточный ресурс оборудования без его отключения. Встроенная память на 500 измерений и программное обеспечение EUROLINK PRO PLUS дают возможность формировать профессиональные протоколы испытаний прямо на объекте (рис. 1) [1].

1.2. Интеллектуальные бесконтактные детекторы напряжения

Безопасность электромонтера начинается с уверенности в отсутствии напряжения на токоведущих частях. Новые поколения детекторов позволяют определять наличие потенциала без прямого контакта.

ATuMan EM1 с технологией SmartSense. Этот бесконтактный детектор напряжения определяет наличие тока на расстоянии до 100 мм от проводника в диапазоне от 12 В до 1000 В как постоянного, так и переменного тока. Точность измерений составляет $\pm 1,5\%$, что вдвое

лучше типичных показателей для приборов этого класса. Алгоритм NoiseCancel фильтрует электромагнитные помехи от многожильных кабелей, исключая ложные срабатывания. Прибор синхронизируется со смартфоном через приложение ATuMan Pro, ведя облачный журнал измерений (рис. 2) [2].



Рисунок 1 - EurotestXE MI 3102H SE [1]



Рисунок 2 - ATuMan EM1 с технологией SmartSense [2]

1.3. Дроны-инспекторы для высоковольтных установок

Для установок выше 1000В все более актуальными становятся беспилотные летательные аппараты со специализированным оборудованием (рис. 3). Современные промышленные дроны оснащаются тепловизионными камерами высокого разрешения и датчиками частичных разрядов. [8] Они позволяют проводить инспекцию труднодоступных элементов открытых распределительных устройств (порталы, высокие изоляторы, грозотросы) без подъема персонала и отключения напряжения. Время обхода крупной подстанции сокращается с нескольких часов до 20-30 минут [8].

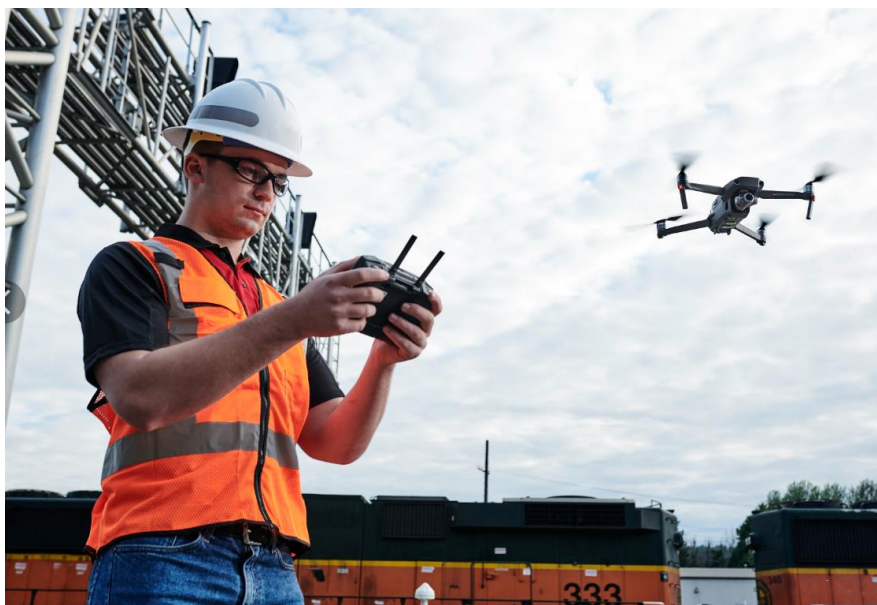


Рисунок 3 - Современные промышленные дроны [8]

2. Специализированные устройства для ночной работы

Работа в темное время суток – объективная реальность для аварийных бригад и служб, проводящих плановые отключения в окна технологических перерывов. Специализированное осветительное оборудование становится таким же важным элементом экипировки, как и измерительные приборы.

2.1. Инструмент со встроенной подсветкой

Бесконтактный тестер Bahco BMVAT1000 (рис. 4) [6] О котором упоминалось ранее. Этот прибор оснащен встроенным электрическим фонарем для измерений в условиях затемнения. Возможность одновременно держать щупы и освещать место контакта значительно повышает точность работы ночью. [6]

Самодельные решения с магнитным креплением. Опытные монтеры часто модернизируют стандартные фонари, приклеивая к задней части корпуса постоянные магниты. Это позволяет крепить фонарь к металлической поверхности – дверце электрошкафа, корпусу электродвигателя или станине станка, освобождая руки для работы. Поворот дверцы регулирует направление светового потока.



Рисунок 4 - Тестер напряжения Bahco BMVAT1000 [6]

2.2. Осветительный прибор для работы в ночное время суток

Защитная каска RFI-3 BIOT Smart производства «РОСОМЗ» (рис. 5) – это результат совместного проекта Суксунского оптико-механического завода (РОСОМЗ) и группы компаний Softline (впоследствии развитие направления перешло к компании Protecta). Эта разработка представляет собой классический пример «умных» средств индивидуальной защиты (Smart PPE), интегрированных в концепцию промышленного интернета вещей (IIoT).

Ключевой элемент системы – электронный модуль Softline, который представляет собой компактный микрокомпьютер, устанавливаемый под куполом каски. Он оснащен набором датчиков и модулями беспроводной связи для мониторинга состояния сотрудника и окружающей среды в режиме реального времени. [4]



Рисунок 5 – Защитная каска RFI-3 BIOT Smart [4]

Ключевые характеристики [7]:

2.3. Halo SL (Стандартная модель)

Это та самая "изменяющая правила игры" система персонального освещения, которая создает 360-градусное световое кольцо вокруг каски (рис. 6).

Назначение: Строительство, ремонтные работы, общая промышленная безопасность, активный отдых.

Вес: 10 унций (ок. 283 г) – основной блок.

Вес батареи: 1,6 унции (ок. 45 г).

Тип батареи: Съёмный литий-ионный элемент 18650, 3.5 А·ч.

Срок службы батареи: От 1,5 до 121+ часов (в самом экономичном режиме).

Световой поток:

Точечный свет (Spot): 406 люмен.

Точечный свет (Spot): 406 люмен.



Рисунок 6 - Halo SL [5]

Рабочий свет (Flood/Task): 262 люмена.

Режим кольцевого освещения 360° (Halo): 276 люмен.

Защита: IP67 (полная пыленепроницаемость и защита от временного погружения в воду).

Режимы работы: Имеет 8 режимов освещения (4 режима кольцевого света + 4 режима точечного/рабочего света).

Заключение. Проведенный анализ современных технических средств, предназначенных для обслуживания электроустановок напряжением до 1000 В и выше, позволяет сделать следующие выводы:

1. Эволюция инструментальной базы. Профессия электромонтера претерпевает качественные изменения благодаря внедрению «интеллектуальных» устройств. Традиционные измерительные приборы уступают место многофункциональным комплексам (например, EurotestXE MI 3102H SE [1]), которые не только автоматизируют сбор данных, но и обеспечивают их документирование, передачу по беспроводным каналам и интеграцию в облачные сервисы. Это позволяет формировать цифровые протоколы испытаний непосредственно на объекте и исключает ошибки, связанные с человеческим фактором.

2. Повышение уровня безопасности. Критически важным направлением является развитие бесконтактных методов диагностики. Интеллектуальные детекторы напряжения (такие как ATuMan EM1) с функциями шумоподавления и удаленного мониторинга сводят к минимуму риск поражения электрическим током. Для установок выше 1000 В все более актуальным становится применение дронов-инспекторов, позволяющих визуально и тепловизионно контролировать состояние высоковольтного оборудования без вывода его из работы и без опасного подъема персонала на высоту.

3. Адаптация к экстремальным условиям эксплуатации. Специфика аварийно-восстановительных работ часто требует присутствия бригад в темное время суток или в условиях ограниченной видимости. Рассмотренные осветительные решения – от инструментов со встроенной подсветкой (Bahco BMVAT1000) до специализированных касенных систем (Halo SL с 360- градусной подсветкой [7] и «умная» каска RFI-3 BIOT Smart [3,4]) – обеспечивают эргономичность и безопасность труда. Интеграция датчиков окружающей среды и состояния работника в средства индивидуальной защиты (концепция Smart PPE) выводит профилактику травматизма на принципиально новый уровень.

4. Синергетический эффект. Наибольшая эффективность достигается не при использовании разрозненных приборов, а при комплексном подходе к оснащению бригад. Сочетание прецизионной измерительной техники, систем удаленного контроля (дроны [8]) и эргономичного освещения [6,7] позволяет выполнять задачи любой сложности круглосуточно, значительно сокращая время простоев оборудования.

5. Перспективы дальнейшего развития рассмотренных направлений связаны с углублением автоматизации процессов диагностики (прогнозирование остаточного ресурса изоляции [1]), унификацией протоколов обмена данными для создания единой информационной среды энергообъекта, а также с повышением энергоэффективности и автономности переносных приборов для работы в полевых условиях.

Рекомендации. Практикующим электромонтажным и эксплуатационным организациям целесообразно включить в программы технического перевооружения рассмотренные в статье устройства. Их внедрение является экономически обоснованным, так как способствует росту производительности труда, снижению аварийности и обеспечению надежного электроснабжения потребителей.

Список литературы

1. Многофункциональный измеритель параметров электроустановок EurotestXE MI 3102H SE [Электронный ресурс] // Официальный сайт Metrel d.o.o. – Словения. – URL: <https://www.metrel.si/en/product/MI-3102H-SE-EurotestXE/> (дата обращения: 02.03.2026).

2. Интеллектуальный бесконтактный детектор напряжения ATuMan EM1 [Электронный ресурс] // Официальный сайт ATuMan. – URL: <https://atuman.ru/em1> (дата обращения: 02.03.2026).
3. РОСОМЗ представил «умные каски» с широким функционалом [Электронный ресурс] // Гетсиз.ру – Все о средствах индивидуальной защиты. – 2019. – URL: <https://getsiz.ru/rosomz-sozdal-umnye-kaski.html> (дата обращения: 21.02.2026).
4. Новинки РОСОМЗ на выставке БиОТ-2019. Умные СИЗ. Проект «Арктика» [Электронный ресурс] // Официальный сайт «РОСОМЗ». – 2019. – URL: <https://www.rosomz.ru/press-center/nashi-novosti/novinki-rosomz-na-vystavke-biot-2019-umnye-siz-proekt-arktika> (дата обращения: 21.02.2026).
5. Тестер напряжения Bahco BMVAT1000 [Электронный ресурс] // Официальный сайт Bahco. – URL: https://www.bahco.com/int_en/insulated-non-contact-voltage-tester-bmvat1000.html (дата обращения: 02.03.2026).
6. Система персонального освещения Halo SL [Электронный ресурс] // Официальный сайт Halo Lighting Solutions. – URL: <https://www.halolights.com/product/halo-sl/> (дата обращения: 02.03.2026).
7. Применение промышленных дронов для инспекции энергообъектов [Электронный ресурс] // Журнал «Электроэнергия. Передача и распределение». – 2024. – URL: <https://eepir.ru/articles/primenenie-bpla-v-elektroenergetike>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛОМЫ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

Мильяненко Александр Александрович, студент

Белорусский Национальный Технический Университет, Минск, Беларусь

Sasha_2006_09_07@mail.ru

Научный руководитель: Герасимова Алина Георгиевна, кандидат технических наук, доцент

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

gerasimova@bntu.by

Аннотация. Большое количество соломы ежегодно не успевают использовать, из-за чего она сгнивает на полях и в хранилищах. Рассмотрен способ решения данной проблемы, заключающийся в сжигании соломы для выработки тепловой и электрической энергии. Изучены различные варианты установок для сжигания соломы, их особенности. Также рассмотрены некоторые варианты топлива из соломы в зависимости от устройства используемых энергетических установок. Отобраны преимущества и недостатки сжигания соломы для производства тепловой и электрической энергии.

Ключевые слова: солома, сжигание, выработка энергии, энергетические установки, теплоснабжение, электроснабжение, энергетика, сельская местность

Во всем мире при выращивании многих сельскохозяйственных культур образуется большое количество соломы и других растительных отходов. В данный момент полностью их использовать не получается из-за нехватки потребителей. Часть соломы используется в качестве удобрения, но крупную долю потратить на удобрение почв не получится, так как она плохо разлагается из-за высокого соотношения углерода и азота. Для массового запахивания соломы необходимо увеличивать количество азотных удобрений и контролировать глубину запахивания, чтобы не происходило закисление почвы.[1] Крупная доля соломы используется для подстилки животным и силосования, но даже после этого большая часть остается собранная на полях и в хранилищах, где медленно сгнивает.

Альтернативным решением использования соломы является ее сжигание для выработки тепловой и электрической энергии. Одним из главных преимуществ данного способа является то, что при сжигании солома образует такое же количество углекислого газа (CO_2), сколько при гниении. Это позволяет сжигать ее без дополнительных выбросов CO_2 , увеличивая экологичность местной энергетики, так как можно будет заменить часть ископаемого топлива соломой и ее производными.

Одним из преимуществ соломы перед другими видами биотоплива в том, что она изначально имеет низкую влажность до 20%, что позволяет ее использовать вскоре после уборки урожая без дополнительной сушки, которая бы понадобилась дереву.[2] Но использование соломы без дополнительной подготовки имеет ряд недостатков. К ним относятся низкая сыпучая плотность соломы, низкая температура плавления золы, что приводит к быстрому образованию золошлаков в котлах, что снижает их эффективность и со временем выводит оборудование из строя. Существует несколько вариантов для избегания засорения котлов золой и шлаками, которые могут затвердевать при остановке установки.

Одним из самых распространенных является котлы с подвижными решетками, на которые подается солома, а после сжигания пепел сбрасывается в хранилище, тем самым в котле остается малая часть золы в виде мелкодисперсных частицах, которые улавливают фильтры перед дымовой трубой.

Также используются котлы с мягким подвижным дном. В данном случае дно котла засыпано песком, на который далее подается топливо. К преимуществам можно отнести меньшее количество выбросов оксидов азота, чем у метода с решеткой, возможность

отфильтровать серу добавлением в котел известняка. Но подобные энергоустановки чувствительны к золе, которая плавится при сравнительно низкой температуре, из-за чего для увеличения надежности солома должна составлять не более 50% загрузки топлива [3].

Солома содержит ряд химических элементов, которые могут навредить энергетическому оборудованию. Самый вредный из них хлор, так как его высокая концентрация сильно ускоряет процесс коррозии. Это препятствует использованию соломы сразу после уборки урожая, так как в свежескошенной соломе содержание хлора в 4 раза выше, чем в увядшей. Для решения данной проблемы рекомендуется использовать установки вымывания хлоридов из соломы. Данный процесс длится 5-7 дней, что серьезно ускоряет внедрение соломы в топливный цикл [2].

Солому можно сжигать сразу в первоначальном виде, но такой способ не получил широкого распространения из-за низкой сыпучей плотности получающегося топлива. Первым и до сих пор применяемым вариантом стало прессование соломы в тюки круглой и прямоугольной формы, в зависимости от котлов. В таком случае солома может сжигаться сразу тюками, либо измельчаться перед входом в камеру сгорания котла. Одним из самых современных вариантов является создание гранулированных пеллет из соломы. Их преимуществом является высокая плотность и теплота сгорания, которая находится на уровне сухого дерева и некоторых видов угля. Примеры теплоты сгорания соломы различных сортов зерновых и других видов топлива представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Теплота сгорания соломы и других видов топлива

Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг
Ржаная солома	13,6
Ячменная солома	13,4
Пшеничная солома	13,4
Овсяная солома	12,9
Торф	23
Бурый уголь	26
Рапсовая солома	15,7
Березовые дрова	15
Сосновые дрова	15,5
Пеллеты из дерева	17,5
Пеллеты из соломы	18

Как видно из таблицы солома и пеллеты из нее имеет теплоту сгорания на уровне широко используемых видов топлива при меньшей стоимости, что говорит о ее рентабельности в качестве топлива.

Для сжигания соломы разработано и производится большое количество котлов, работающих по разным принципам. Варианты котлов различаются по строению дна, систем подачи воздуха, внутреннему устройству и применяемому виду топлива из соломы. Так в некоторых установках идет свободная подача воздуха, в других к свободной добавляется струйный подвод вторичного воздуха. Также может применяться сжигание соломы в воздушной струе или в ретортно-сигарном топочном устройстве.

В данный момент в Европейских государства в основном используется 2 вида котлов для сжигания соломы и других видов биомассы: с слоевой решеткой и с факельным сжиганием пылевидного топлива. Данные конструкции имеют недостатки, так в слоевых топках из-за разницы температур в разных точках решетки происходит шлакование котла и увеличенный выброс угарного газа. А в факельном сжигании из-за очень высокой температуры происходит ускоренное шлакование камеры сгорания, так как зола начинает кипеть [5].

Для выработки тепловой энергии в Российской Федерации были разработаны и внедрены в производство вихревые низкотемпературные котлы (рис. 1), которые хорошо подходят для сжигания соломы и решают недостатки других типов котлов. Так ступенчатая подача дутья и перемешивание продуктов сгорания уменьшает недожог, что уменьшает вре-

дные выбросы от котла. Поддержание низких температур устраняет возможность кипения золы и шлаков соломы, тем самым очистка котла упростится и ускорится. К недостаткам можно отнести невозможность создания подобными котлами высокотемпературного пара и необходимость измельчения соломы до фракций 0-15 мм [5].

Для увеличения потребления соломы в качестве топлива и мощности станций, которые смогут

отапливать агрогорода, поселки и деревни, используются малые теплоэлектростанции (ТЭЦ), которые вырабатывают одновременно тепловую и электрическую энергию. Подобные станции имеют специальные хранилища для соломы и краны, которые переносят тюки соломы на конвейер, идущий в топку. Там солома измельчается и, сжигаясь, нагревает воду, которая испаряется и крутит паровую турбину, соединенную с генератором. Остаточное тепло нагревает воду контура отопления или горячего водоснабжения. Такие ТЭЦ доказали свою надежность в Дании, где они работают несколько десятков лет [3].

В 2025 году в Республике Беларусь было убрано 11,1 миллионов тонн зерна. Сюда включены кукуруза и рапс [6]. Для определения количества собранной соломы необходимо воспользоваться специальным коэффициентом пересчета k , равный массе собранных зерновых к массе соломы. Для пшеницы он равен 0,8, а для кукурузы уже 2,2. Среднее значение данного коэффициента для Республики Беларусь 1,3. Таким образом в 2025 году было убрано приблизительно 14,5 миллионов тонн соломы. Для нужд сельского хозяйства в стране используется приблизительно 3,5 миллиона тонн соломы, соответственно 11 миллионов тонн можно использовать для выработки тепловой и электрической энергии [1].

В 2020 году валовое потребление топливно-энергетических ресурсов в Республике Беларусь составило 26 миллионов тонн нефтяного эквивалента [7]. Известно, что теплота сгорания условного топлива составляет 29,3 МДж/кг, из этого следует, что 1 килограмм условного топлива соответствует 1,6 килограмма соломы. Таким образом 11 миллионов тонн соломы по энергетическому выходу равны 6,875 миллионов условного топлива, что соответствует 4,8125 миллионов тонн нефтяного эквивалента. Таким образом сжигание соломы может покрыть 18,5% валового потребления топливно-энергетических ресурсов Республики Беларусь. Это снизит зависимость государства от иностранных энергоресурсов и серьезно увеличит долю возобновляемой энергетики. Благодаря этому получится дополнительно заместить до 5,5 миллиардов метров кубических природного газа. При средней стоимости за 1 тонну топливных соломенных пеллет 60 долларов США и выходе из 1 тонны соломы 900 кг пеллет Республика Беларусь сможет дополнительно пополнить бюджет на 600 миллионов долларов США.

Использование соломы для выработки тепловой и электрической энергии является перспективной технологией, так как позволяет вырабатывать энергию без дополнительных выбросов в атмосферу, использовать пропадающий зря природный ресурс. Такое использование соломы повысит топливно-энергетическую независимость государства, увеличит долю возобновляемой энергетики. Вариативность конструкций котлов позволяет строить котельные и ТЭЦ различных размеров, тем самым обеспечивая отоплением населенные пункты разного размера, от деревень до небольших городов. Благодаря производству топливных соломенных пеллет у Республики Беларусь может появиться новая крупная строка экспорта, приносящая в бюджет дополнительные средства. Сжигать солому для выработки тепловой и электрической энергии необходимо для улучшения экологической обстановки на нашей планете.

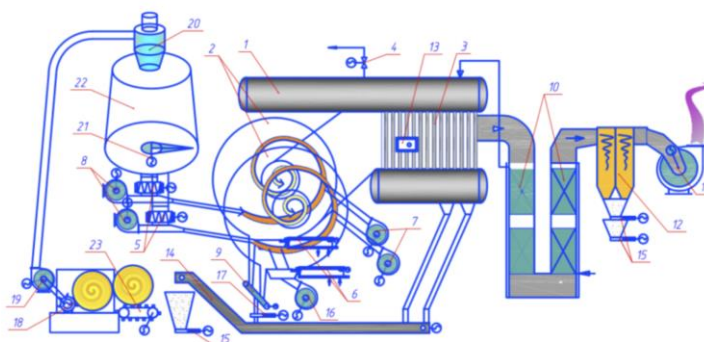


Рисунок 1 – Схема котельной установки с паровым котлом на соломе [https://xn-----7kcnngemtkdti6cva.xn--p1ai/kotly-na-solome]

Список литературы

1. Биомасса сельскохозяйственных культур Беларуси – проволостье или топливо? – Текст: электронный // URL: https://agrobeltarus.by/articles/nauka/biomassa_selskokhozyaystvennykh_kultur_beltarusi_provostvie_ili_toplivo/ (дата обращения: 27.02.2026).
2. Солома как энергетическое топливо: возможные решения проблем, возникающих при производстве и сжигании гранулированной соломы и других отходов растениеводства. – Текст: электронный // URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/nnie_803.pdf (дата обращения: 27.02.2026).
3. Straw to Energy Technologies, policy and innovation in Denmark. – Текст: электронный // URL: <https://www.energetskiportal.rs/wp-content/uploads/2021/03/engleskom.pdf> (дата обращения: 27.02.2026).
4. Тепло почти даром. – Текст: электронный // URL: <https://www.zerno.ua.com/journals/2008/may-2008-god/teplo-pochti-darom/> (дата обращения: 27.02.2026).
5. Использование соломы в качестве топлива. – Текст: электронный // URL: <https://xn----7kcngetkdtibcva.xn--p1ai/kotly-na-solome> (дата обращения: 27.02.2026).
6. Свыше 11,1 млн т зерна с учетом рапса и кукурузы собрали в Беларуси. – Текст: электронный // URL: <https://belta.by/economics/view/svyshe-111-mln-t-zerna-s-uchetom-rapsa-i-kukuruzu-sobrali-v-beltarusi-751673-2025/> (дата обращения: 27.02.2026).
7. Топливо-энергетический баланс Республики Беларусь за 2020 год с инфографикой. – Текст: электронный // URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/energeticheskaya-statistika/anual-dannye/> (дата обращения: 27.02.2026).

МИКРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ НА БИОГАЗЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Мугинов Арслан Маратович, студент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

aqwewerr@gmail.com

Мугинова Аида Ильдаровна, студентка

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

aidaumadilova417@gmail.com

Научный руководитель: Зинуров Вадим Эдуардович, кандидат технических наук

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

vadd_93@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены возможности использования биогаза для энергоснабжения объектов агропромышленного комплекса. Показано, что переработка 1 т органических отходов обеспечивает получение около 166 м³ биогаза в сутки, что соответствует выработке 360–390 кВт·ч электроэнергии. Установлено, что микротурбинные установки мощностью 30–350 кВт способны функционировать в когенерационном режиме с электрическим КПД около 37,5 % и общей эффективностью до 83 %. Полученные данные могут применяться при выборе технологий локального энергоснабжения сельскохозяйственных предприятий.

Ключевые слова: биогаз, микротурбинные установки, возобновляемые источники энергии, когенерация, распределенная генерация, энергоснабжение сельскохозяйственных предприятий, агропромышленный комплекс

Работа выполнена в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение ИРПИШ от 19.12.2025г.

Рост объемов органических отходов сельскохозяйственного производства и необходимость их рациональной утилизации обуславливают развитие технологий получения биогаза как локального возобновляемого энергетического ресурса. Биогазовые установки позволяют одновременно решать задачи переработки отходов и производства энергии, однако эффективность их интеграции в системы энергоснабжения агропромышленных предприятий во многом определяется характеристиками используемого генерирующего оборудования [1, с. 19]. На практике наиболее распространены газопоршневые агрегаты [2, с. 98-99], тогда как возможности газовых микротурбин, обладающих иными эксплуатационными и экологическими параметрами, изучены ограниченно, особенно применительно к биогазу переменного состава. В связи с этим целью исследования является анализ перспектив применения микротурбин на биогазе в энергетике агропромышленного комплекса.

Исследование выполнено на основе анализа научных публикаций, посвященных технологиям получения и энергетического использования биогаза, а также применению микротурбинных установок в системах малой генерации. В качестве материалов использованы современные отечественные и зарубежные научные статьи, индексируемые в международных и российских научных базах данных. Методическую основу работы составили методы анализа, обобщения и сопоставления результатов опубликованных исследований. Проведенный обзор позволил выявить основные направления использования биогаза в агропромышленном комплексе, определить особенности применения

микротурбинных установок и оценить их технико-экономические характеристики в системах локального энергоснабжения сельскохозяйственных предприятий.

Биогаз образуется при анаэробном разложении органических веществ и относится к возобновляемым энергетическим ресурсам. Его формирование обусловлено деятельностью микроорганизмов, участвующих в последовательных стадиях гидролиза, ацетогенеза и метаногенеза, в результате которых органическая биомасса преобразуется в газовую смесь, содержащую преимущественно метан и диоксид углерода [3, с. 2-3]. Такая газовая смесь может использоваться в энергетических установках различного типа. Расчетные оценки показывают, что переработка 1 т органических отходов позволяет получать около 166 м³ биогаза в сутки, что соответствует выработке приблизительно 360–390 кВт·ч электроэнергии при применении генераторных установок соответствующей мощности [4, с. 1-2].

В сельском хозяйстве производство биогаза связано прежде всего с переработкой отходов животноводства. Наиболее распространенным сырьем служит навоз, который подвергается анаэробному сбраживанию в биогазовых реакторах [5, с. 111]. Образующийся газ может использоваться для обеспечения энергетических потребностей фермерских хозяйств и других сельскохозяйственных объектов. Практика применения таких установок показывает, что они позволяют организовать энергоснабжение непосредственно в местах образования органических отходов, что особенно важно для удаленных и рассредоточенных производственных площадок. Получаемая энергия используется для работы технологического оборудования и инженерных систем сельскохозяйственных предприятий [5, с. 111-112].

Для энергетического использования биогаза применяются различные типы оборудования, в том числе газопоршневые двигатели, газовые турбины и микротурбинные агрегаты. Выбор конкретной установки зависит от состава топлива, требуемой мощности и особенностей эксплуатации. Биогаз содержит в среднем 40-65 % метана и 35-55 % диоксида углерода, поэтому его теплотворная способность ниже, чем у природного газа. По этой причине при использовании газотурбинных установок для получения заданной мощности требуется больший расход топлива. Среди установок малой мощности отдельный интерес представляют микротурбинные агрегаты, диапазон электрической мощности которых обычно составляет 30–350 кВт [6, с. 1].

Для сельскохозяйственных предприятий характерна значительная территориальная рассредоточенность производственных объектов, что нередко затрудняет подключение к централизованным энергосетям. В подобных условиях возрастает значение автономных источников энергии, размещаемых непосредственно на территории хозяйства. Одним из вариантов таких решений выступают микротурбинные установки, применяемые в системах комбинированной выработки энергии малой мощности [7, с. 2]. Их использование позволяет формировать локальные энергетические комплексы предприятий и включать их в структуру микросетей, что способствует повышению надежности энергоснабжения и расширяет возможности применения возобновляемых источников энергии [8, с. 1-2].

Экономические параметры микротурбинных установок во многом определяют перспективы их практического применения. Результаты моделирования энергетических систем, использующих биогаз в качестве топлива, показывают возможность работы таких установок в когенерационном режиме. В частности, при использовании двух микротурбин электрическая мощность установки может превышать 265 кВт, при этом эффективность выработки электроэнергии достигает около 37,5 %, а суммарная эффективность системы составляет порядка 83 %. Расчеты также показывают, что срок окупаемости подобных энергетических решений может составлять около 6,5 лет [9, с. 220].

Несмотря на отмеченные преимущества, применение микротурбинных установок пока остается ограниченным рядом технических и экономических факторов. Развитие газотурбинных агрегатов малой мощности сдерживается сравнительно небольшой распространенностью соответствующего оборудования и ограниченным опытом его эксплуатации в отдельных отраслях энергетики [10, с. 585]. Кроме того, по сравнению с

альтернативными технологиями, прежде всего газопоршневыми двигателями внутреннего сгорания, микротурбины пока применяются значительно реже, хотя обладают высокой топливной гибкостью и способны работать с различными газовыми смесями [8, с. 1]. Это указывает на необходимость дальнейшего изучения возможностей их использования в энергетике агропромышленного комплекса.

Таким образом, проведенный анализ показал, что биогаз, образующийся при анаэробной переработке органических отходов, может рассматриваться как энергетический ресурс для обеспечения потребностей сельскохозяйственных предприятий. Установлено, что при переработке 1 т органических отходов возможно получение около 166 м³ биогаза в сутки, что соответствует выработке порядка 360–390 кВт·ч электроэнергии. Рассмотренные данные также показывают, что микротурбинные установки мощностью 30–350 кВт способны функционировать в когенерационном режиме с электрическим КПД около 37,5 % и общей эффективностью до 83 %. Полученные результаты могут использоваться при оценке вариантов локального энергоснабжения объектов агропромышленного комплекса.

Список литературы

1. Мобильная биогазовая установка для переработки отходов животноводства / Ю. Ф. Лачуга, Ю. Х. Шогенов, Б. Г. Зиганшин [и др.] // Вестник аграрной науки. – 2023. – № 3(102). – С. 18-26. – DOI 10.17238/issn2587-666X.2023.3.18. – EDN NHGLDA.
2. Водяников В. Т. Применение на птицефабрике биоэнергетической установки в качестве нетрадиционного источника энергии // Агроинженерия. – 2026. – Т. 28. – №. 1. – С. 97-104 – DOI 10.26897/2687-1149-2026-1-97-104.
3. Биогазовая установка с активной системой перемещения сбраживаемой массы / С. П. Игнатъев, Н. Ю. Касаткина, А. А. Литвинюк [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 180. – С. 61-71. – DOI 10.21515/1990-4665-180-007. – EDN PSUWAK.
4. Economic Feasibility of Biogas Microgeneration from Food Waste: Potential for Sustainable Energy in Northeastern Brazil / I. D. Roa, J. R. Henriquez, E. D. Dutra [et al.] // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, No. 23. – P. 10238. – DOI 10.3390/su162310238. – EDN ATSXGI.
5. Психрофильная накопительная биогазовая технология - основа для производства электрической энергии на животноводческих фермах / В. П. Друзьянова, И. А. Савватеева, К. К. Горохов, А. М. Бондаренко // Дальневосточный аграрный вестник. – 2022. – Т. 16, № 1. – С. 111-118. – DOI 10.22450/1999-6837-2022-16-1-111-118. – EDN YEYKYY.
6. Techno-economic analysis of a biogas-fueled micro gas turbine cogeneration system with seasonal thermal energy storage / Q. Zhang, R. Banihabib, F. S. Fadnes [et al.] // Energy Conversion and Management. – 2023. – Vol. 292. – P. 117407. – DOI 10.1016/j.enconman.2023.117407. – EDN GIVAOJ.
7. Micro Gas Turbines in the Future Smart Energy System: Fleet Monitoring, Diagnostics, and System Level Requirements / I. Aslanidou, M. Rahman, V. Zaccaria, K. G. Kyprianidis // Frontiers in Mechanical Engineering. – 2021. – Vol. 7. – DOI 10.3389/fmech.2021.676853. – EDN GJOZGL.
8. Weerakoon, A. H. S. Micro Gas Turbines in the Global Energy Landscape: Bridging the Techno-Economic Gap with Comparative and Adaptive Insights from Internal Combustion Engines and Renewable Energy Sources / A. H. S. Weerakoon, M. Assadi // Energies. – 2024. – Vol. 17, No. 21. – P. 5457. – DOI 10.3390/en17215457. – EDN GWXQZG.
9. Dynamic simulation and techno-economic assessment of hydrogen utilization in dual fuel (Hydrogen/biogas) micro gas turbine systems for a wastewater treatment plant / E. Gholamian, A. S. Mehr, M. Yari, J. G. Carton // Process Safety and Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B. – 2023. – Vol. 169. – P. 220-237. – DOI 10.1016/j.psep.2022.10.045. – EDN ZKECHZ.
10. Обзор возможности применения газовых турбин малой мощности / Н. Д. Чичирова, А. А. Филимонова, А. С. Черкасов, А. И. Ляпин // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2023. – Т. 16, № 5. – С. 584-600. – EDN ETYEJE.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕСЯ В СИСТЕМАХ ПОЕНИЯ КОРОВ НА ФЕРМАХ КРС

Мурашка Устин Алексеевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

marashkaustin@gmail.com

Научный руководитель: Бастрон Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

tbastron@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена автоматизации систем поения крупного рогатого скота на фермах КРС. Рассмотрены современные шкафы управления насосным оборудованием, в частности модульная серия КАСКАД 20М: их функциональные возможности, технические характеристики, достоинства и недостатки. Значительное внимание уделено вопросам улучшения качества питьевой воды для животных. На примере патента RU 150375 описан способ интеграции ультрафиолетовой установки с бактерицидными лампами, управляемой от датчика расхода воды. Систематизированы критерии выбора устройств для различных условий. Предложены рекомендации по комплексной автоматизации, направленные на обеспечение бесперебойного водоснабжения и повышение продуктивности стада КРС.

Ключевые слова: автоматизация поения, шкаф управления насосами, водоснабжение коровника, КАСКАД 20М, частотное регулирование, качество воды, ультрафиолетовое обеззараживание, бактерицидные лампы

Введение. Одним из важнейших условий здоровья и высокой продуктивности крупного рогатого скота является обеспечение животных чистой водой в достаточном количестве. Недостаток воды или сбой в подаче ведут к снижению удоев, ухудшению аппетита и общему угнетению животных. На современных механизированных фермах с большим поголовьем надежность системы поения определяется работой насосного оборудования и качеством воды.

Традиционные системы с ручным управлением насосами имеют ряд недостатков: необходимость постоянного присутствия персонала, отсутствие защиты от аварийных режимов (сухой ход, перегрев) и нерациональное использование электроэнергии. Кроме того, отсутствие обработки воды непосредственно перед поением создает риск вторичного бактериального загрязнения, например, в водонагревателях, что может вызывать заболевания животных. Решение этих проблем – внедрение автоматизированных шкафов управления и систем водоочистки, интегрированных с ними.

Характеристика систем автоматизации водоснабжения. Водопотребление в коровниках отличается неравномерностью: пики приходится на периоды доения и раздачи кормов, а ночью оно снижается. Для поддержания стабильного давления и расхода в таких условиях необходимы шкафы управления, реализующие различные алгоритмы работы насосных групп.

Современный рынок предлагает решения для управления как отдельными насосами, так и насосными станциями. Основной тенденцией является применение частотного регулирования, которое позволяет плавно изменять производительность насоса в соответствии с текущим расходом воды, избегая режимов частых пусков и остановок [1].

Для анализа была выбрана модульная серия шкафов управления **КАСКАД 20М**, представленная на российском рынке компанией «КИП-Сервис».

Данные шкафы предназначены для автоматизации группы из 2–4 насосов мощностью от 15 до 90 кВт, что покрывает потребности большинства средних и крупных животноводческих комплексов [1].

Основные функциональные возможности, критически важные для систем поения, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Функциональные возможности шкафов управления серии КАСКАД 20М применительно к задачам поения [1]

Функция	Описание и значение для животноводства
ПИД-регулирование	Точное поддержание заданного давления в системе поения независимо от количества одновременно пьющих животных. Исключает гидроудары и разрывы трубопроводов
Плавный пуск	Снижение пусковых токов и механических нагрузок на двигатель и запорную арматуру. Продлевает ресурс насосов, работающих в условиях частых пусков
Чередование насосов	Обеспечение равномерного износа двигателей путем автоматической смены очередности включения насосов. Предотвращает простой оборудования
Каскадное регулирование	Автоматический ввод дополнительных насосов в моменты пиковых нагрузок (например, утром и вечером) и их отключение при снижении потребления воды.
Защита от «сухого хода»	Отключение насоса при отсутствии воды в скважине или магистрали, предотвращая выход дорогостоящего оборудования из строя
Защита от прорыва трубы	Автоматическое отключение насосов при резком падении давления (свыше заданного порога), что минимизирует последствия аварии
Аварийный журнал	Ведение журнала событий и аварийных ситуаций для последующей диагностики и анализа причин сбоев в системе поения

На рис. 1 представлен общий вид шкафа управления [1].

Сравнение методов управления насосным оборудованием.

Эффективность применения современных шкафов управления становится очевидной при сравнении с устаревшими методами. Обобщенное сравнение основных параметров работы, представленных выше типов управления систематизировано в таблице 2.



Рисунок 1 – Шкаф управления группой насосов КАСКАД20 [1]

Таблица 2 – Сравнение методов управления насосами системы поения

Метод / Параметр	Ручное управление (Прямой пуск)	Автоматика на базе реле давления	Шкафы с ПИД-регулированием (КАСКАД 20М)
Стабильность давления	Низкая	Средняя (с гистерезисом)	Идеальная
Энергопотребление	Высокое	Высокое (пиковые пуски)	Экономичное (до 30–50 %)
Ресурс насосов	Низкий (частые гидроудары)	Средний	Высокий
Защита от аварий	Отсутствует	Частичная (только по давлению)	Полная (сухой ход, прорыв, перегрузки)
Требование к обслуживанию	Постоянный контроль	Периодическая настройка	Минимальное (автоматический режим)
Шум при работе	Высокий	Средний	Низкий (плавная работа)

Инновационные технологии, использующиеся в системах поения коров на фермах КРС

Некоторые инновационные технологии, которые используются в системах поения для коров на фермах КРС:

- **Датчики потребления** – фиксируют, сколько и как часто пьет каждая корова (с помощью RFID-меток на ошейнике).
- **Датчики температуры и уровня воды** – следят за тем, чтобы вода не замерзала зимой и не перегревалась летом.
- **Автоматическая промывка и дезинфекция** – система сама очищает резервуары по расписанию, без вмешательства человека.
- **Подогрев воды** – в поилках используют системы автоматического подогрева, например, с использованием теплоты земли (система «Теплый родник»).
- **Использование обогревающих термощнуров** – позволяют предотвратить промерзание подводящих труб.

Помимо обеспечения бесперебойной подачи и стабильного давления, критически важным фактором является качество воды, поступающей к животным. Высокое микробное число, наличие бактерий группы кишечной палочки или другой патогенной микрофлоры могут стать причиной желудочно-кишечных заболеваний, снижения потребления корма и продуктивности. Традиционное хлорирование воды на фермах не всегда желательно из-за риска передозировки, влияния на вкусовые качества воды и необходимости безопасного хранения реагентов.

Альтернативным и все более распространенным методом является обработка воды ультрафиолетовым (УФ) излучением. Анализ существующих технических решений показывает перспективность интеграции УФ-установок непосредственно в систему автопоения. Так, в полезной модели **RU 150375** «Устройство для автопоения животных», разработанной учеными Красноярского государственного аграрного университета (патентообладатель: ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», авторы: Долгих П.П., Кабанова Ю.Л.), предложено решение, лишенное недостатков известных аналогов [2].

Устройство содержит последовательно соединенные источник воды, насос с электродвигателем, водонагреватель, разводящий трубопровод и поильные чаши. Новизна заключается в том, что на разводящем трубопроводе, между водонагревателем и поильными чашами, установлена ультрафиолетовая установка с тремя блоками бактерицидных ламп. Управление установкой осуществляется по сигналу от датчика расхода воды, который срабатывает при воздействии животного на нажимной элемент поильной чаши. Шкаф управления координирует работу всех элементов.

Принцип действия основан на пропорциональном регулировании мощности обеззараживания: при использовании одной поильной чаши включается только один блок ламп, при двух – два блока, при трех – все три. Это обеспечивает эффективную обработку воды «по требованию» непосредственно перед подачей животному, исключая повторное загрязнение и экономя электроэнергию.

Преимущества такого подхода:

- обеззараживание происходит только в момент поения;
- автоматическое регулирование мощности в зависимости от расхода воды;
- высокая биологическая безопасность без образования вредных примесей;
- полная автоматизация процесса, интеграция с общей системой диспетчеризации фермы.

Практические рекомендации по внедрению

Для достижения максимальной эффективности системы поения при строительстве новых или модернизации существующих животноводческих ферм и комплексов, при выборе и настройке оборудования следует придерживаться следующих правил:

1. Учет зон поения: разделение системы водоснабжения на технологические зоны (поение в доильном зале, поение в секциях, технологическая вода). Для каждой зоны рекомендуется предусматривать отдельные датчики давления и, при необходимости, локальные УФ-установки для более точного регулирования и контроля качества.

2. Резервирование: применение шкафов, поддерживающих режим АВР (автоматический ввод резерва) по насосам. В случае выхода из строя рабочего насоса резервный должен включаться автоматически, что исключает остановку подачи воды поголовью [1].

3. Интеграция с диспетчеризацией: использование шкафов с возможностью внешнего сигнала «Разрешение работы» и передачи данных на центральный пульт оператора. Это позволяет контролировать работу системы поения и УФ-обеззараживания в режиме реального времени и оперативно реагировать на нештатные ситуации.

4. Выбор мощности и места установки УФ-блока: ультрафиолетовую установку следует монтировать как можно ближе к точкам водозабора (поильным чашам), чтобы минимизировать риск вторичного загрязнения воды в трубах. Мощность ламп и их количество подбираются исходя из пикового расхода воды в конкретном помещении, как это реализовано в патенте RU 150375 [2].

5. Учет качества исходной воды: перед УФ-обработкой вода должна быть очищена от механических примесей (песок, ржавчина), так как они снижают прозрачность и эффективность обеззараживания. Установка механических фильтров перед УФ-блоком обязательна.

Заключение:

1. Таким образом, комплексная автоматизация водоснабжения, включающая современные шкафы управления (например, серии КАСКАД 20М) и системы финишной водоочистки, является необходимым условием эффективного животноводства. Такие решения обеспечивают бесперебойную подачу воды с оптимальными параметрами, снижают затраты на электроэнергию и ремонт оборудования.

2. Использование запатентованных разработок, таких как устройство автопоения с УФ-обеззараживанием, управляемым от датчика расхода, выводит систему на качественно новый уровень. Обработка воды «по требованию» непосредственно перед подачей

животному гарантирует ее микробиологическую безопасность, что способствует профилактике заболеваний, поддержанию здоровья стада и раскрытию генетического потенциала продуктивности коров [3].

Список литературы

1. Новинка: модульная серия шкафов КАСКАД 20М для управления группой насосов // Официальный сайт компании «КИП-Сервис». – URL: <https://kipservis.ru/news/kaskad20m> (дата обращения: 03.03.2026).
2. Патент на полезную модель RU 150375 U1, МПК А01К 7/00. Устройство для автопоения животных / Долгих П.П., Кабанова Ю.Л.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет». – № 2014127767/13; заявл. 08.07.2014; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5. – 2 с.
3. Андрианов, Е.А. Автоматизация технологических процессов в животноводстве // Е.А. Андрианов, А.М. Андрианов / Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1. – С. 85–91.

ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ

Николаенко Степан Николаевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
stepa.stepan.17@bk.ru

Научный руководитель: Чебодаев Александр Валериевич, кандидат технических наук, доцент
Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
ale-chebodaev@yandex.ru

Аннотация. Патентное исследование проведено с целью анализа возможностей их применения в учебном процессе высших учебных заведений. Целью патентного анализа является выявление возможностей внедрения современных лабораторных стендов в образовательный процесс, определение их образовательной ценности для подготовки инженеров-электриков и энергетиков, а также рекомендации по наиболее эффективному использованию каждого стенда в учебных и практико-ориентированных курсах. Проведен поиск по базе данных ФИПС [1], в результате которого отобраны патенты РФ.

Ключевые слова: лабораторный стенд, исследование, испытания

Результаты патентных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Патентные исследования для изучения лабораторных стендов

№ п/п	Название патента	Номер патента	Описание технического решения
1	Лабораторно-исследовательский стенд для изучения параметров и характеристик батарей солнечных элементов	233982	Стенд содержит управляемый источник тока, АПЦ, микроконтроллер и источник света на светодиодах, а все ключевые элементы размещены на одной плате с жидкостным охлаждением; позволяет маркировать и вести базу измерений исследуемых образцов для отбора пригодных элементов (например, для космического применения)
2	Лабораторный стенд для исследований режимов работы участка электрической сети с регулятором напряжения	188135	Стенд позволяет моделировать различные режимы работы участка сети с регулятором напряжения в лабораторных условиях для целей исследовательской деятельности или обучения, повышая точность изучения влияния регулирования на сеть
3	Стенд для испытаний электрогенераторов	202593	Предоставляет устройство, на котором можно испытывать электрогенераторы (например, их выходные параметры и режимы работы), что упрощает диагностические и испытательные работы в учебных учреждениях или в других исследовательских лабораториях.

Тенденции развития автоматизированных систем освещения. Автоматизация освещения развивается по 4 главным трендам:

1. Акцент на практическое обучение и экспериментальное исследования.
2. Интеграция современных технологий в учебном процессе.
3. Развитие междисциплинарных компетенций.
4. Устойчивость и энергоэффективность.
5. Повышение научно-исследовательского потенциала.

Суть внедрения лабораторных стендов в учебный процесс – позволяет студентам сочетать теорию с практикой, осваивать реальные инженерные и исследовательские навыки, а также работать с современными автоматизированными и цифровыми технологиями, что повышает качество подготовки специалистов.

Анализ таблицы 1 показывает, внедрение современных лабораторных стендов, таких как RU233982U1, RU188135U1 и RU202593U1, позволяет высшему учебному заведению сочетать теорию с практикой и готовить компетентных инженеров-энергетиков. Среди них RU188135U1 и RU202593U1 наиболее полезны для изучения электрических сетей и генераторов, обеспечивая навыки работы с распределением энергии и электрическими машинами, тогда как RU233982U1 расширяет возможности по изучению возобновляемой энергетики. Использование этих стендов в учебном процессе повышает практическую подготовку студентов и формирует опыт работы с современными энергетическими системами.

Список литературы

1. Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС): официальный сайт. – Москва. – URL: <https://www1.fips.ru/> – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ИНТЕГРАЦИИ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ И СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГОРАЙОНАХ

Павлова Дарья Андреевна, студентка

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

darja.pavlova46@yandex.ru

Научный руководитель: Чебодаев Александр Валериевич, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

ale-chebodaev@yandex.ru

Аннотация. Настоящая статья представляет собой анализ потенциала использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности, солнечной и малой гидроэнергетики, в системах электроснабжения муниципальных образований Красноярского края, уделяя особое внимание удаленным и децентрализованным энергорайонам. Целью исследования является оценка технико-экономической эффективности и обоснование предложений по развитию ВИЭ в регионе.

Ключевые слова: микрогидроэлектростанции, солнечная энергетика, энергетика, комбинированные энергосистемы

Территория Красноярского края характеризуется значительным количеством потребителей, не обеспеченных централизованным электроснабжением [1]. Проблемы энергообеспечения удаленных потребителей, где часто используются ДЭС, усугубляются высокими расходами на завозное органическое топливо и его ненадежной доставкой, особенно в районах Крайнего Севера и Дальнего Востока [1]. Внедрение генерирующих объектов на базе ВИЭ (таких как солнечные энергетические установки (СЭУ), солнечные электростанции (СЭС) и микрогидроэлектростанции (МГЭС)) является стратегическим направлением для решения социально-экономических проблем и повышения энергетической эффективности в этих районах [2].

Потенциал солнечной энергетика в децентрализованных районах Красноярский край обладает существенным солнечным потенциалом, и его южная часть по показателям среднедневной солнечной радиации сравнима с Германией.

Территория края разделена на три климатических зоны по валовому потенциалу солнечной энергии (по среднегодовой сумме суммарной радиации на горизонтальную поверхность):

1. I зона (высокий потенциал): 1100–1200 кВт·ч/кв.м в год. Включает южные районы, такие как Ермаковский и Шушенский, где возможно почти круглогодичное использование гелиоустановок [1].

2. II зона (средний потенциал): 1000–1100 кВт·ч/кв.м в год. Преимущественно центральная часть края, где условия в основном удовлетворяют требованиям эксплуатации малых и средних гелиосистем [1].

3. III зона (низкий потенциал): Менее 930 кВт·ч/кв.м в год. Северная часть, включая Таймырский и Туруханский районы, где условия неблагоприятны для использования крупных и средних гелиосистем [1].

Солнечная энергетика в условиях края наиболее перспективна для электро- и теплоснабжения небольших частных объектов. В центральных и южных районах (41 из 43 муниципальных образований) рекомендуется развитие солнечной энергетика, так как там наблюдаются зоны с высоким и средним потенциалом [1].

Перспективы малой гидроэнергетика

Малая гидроэнергетика (МГЭС) также обладает значительным потенциалом, особенно в центральных и южных районах края [2]. В отличие от солнечной генерации, МГЭС имеют более прогнозируемый график нагрузки [2].

Развитие малой гидроэнергетики в удаленных населенных пунктах, расположенных на берегах рек, может быть удовлетворено с помощью МГЭС. Строительство МГЭС позволит уменьшить объем завозимого дизельного топлива. Расчетная себестоимость электрической энергии от малых ГЭС составляет около 2 руб./кВт·ч [2].

Однако северные территории малоперспективны для малой гидроэнергетики, поскольку в зимний период многие реки покрываются льдом, что существенно снижает их потенциал [2]. Основными проблемами развития малой гидроэнергетики являются слабая изученность гидрологического режима малых рек и отсутствие законодательной базы, стимулирующей их развитие.

Интеграция ВИЭ в децентрализованных энергорайонах

В децентрализованных энергосистемах, где доминируют ДЭС, интеграция ВИЭ особенно актуальна. Генерирующие объекты ВИЭ характеризуются непостоянством выработки энергии, поэтому для стабильности требуется дублирующий источник (например, дизельный генератор) или аккумуляция энергии [2].

Солнечно-дизельные системы (СДЭС): Комбинация СЭС и ДЭС обеспечивает надежность электроснабжения и приводит к экономии средств за счет снижения себестоимости получаемой электрической энергии. Совместная работа СЭС с ДЭС позволяет сократить расход дизельного топлива (ДТ) (до 50% и более) [1]. Аккумуляторные батареи (АБ) используются для сглаживания быстрых изменений генерируемой мощности СЭС (например, при переменной облачности), что обеспечивает более равномерную нагрузку дизель-генератора.

Синергетический эффект интеграции: Интеграция различных ВИЭ позволяет максимально использовать потенциал территории. Например, солнечно-ветродизельные источники перспективны, поскольку пик выработки энергии у ветровой и солнечной систем приходится на разное время суток года. В зонах со средним ветровым и высоким солнечным потенциалом (например, в Центральном и Южном районах), СЭУ является доминирующим источником, так как ее годовая выработка на единицу установленной мощности приблизительно на 30% больше, чем у ветроустановок [2].

Технико-экономический анализ и выводы

Срок окупаемости СЭУ в климатических условиях Красноярского края составляет 15–20 лет, с перспективой снижения до 7–10 лет при росте тарифов на энергию от традиционных источников (ДЭС) [1]. Увеличение тарифа ДЭС на 1 рубль приводит к снижению срока окупаемости СЭУ примерно на 2 года [1].

Оценка эффективности:

1. Сравнительный анализ: Себестоимость электроэнергии, полученной от СЭУ в климатических условиях края, составляет 9–12 руб./кВт·ч, что сопоставимо с ценой 1 кВт·ч от ДЭС [1]. Расчетная себестоимость электроэнергии от комбинированных систем составляет 8–10 рублей, что на 2–4 рубля ниже себестоимости электроэнергии ДЭС [1].

2. Отказоустойчивость: Модульный принцип построения СЭС обеспечивает высокую надежность, так как выход из строя одного модуля или устройства не приведет к полному прекращению генерации.

3. Инновации: Использование систем слежения за Солнцем (трекеров) повышает эффективность СЭУ на 30% при росте капитальных затрат на 10–15% [1].

Для электроснабжения удаленных децентрализованных потребителей рекомендуется использовать потенциалы ветровой, солнечной и малой гидроэнергетики, что позволит экономить до 8 000 тонн дизельного топлива в год [2].

Развитие ВИЭ в Красноярском крае, несмотря на относительно высокие удельные капитальные затраты (250–300 тыс. руб./кВт), является экономически, экологически и социально оправданным, особенно для зон децентрализованного энергоснабжения [1]. Масштабное внедрение ВИЭ требует законодательной поддержки со стороны правительства края, включая установление гарантированных тарифов ("эко-тариф"), налоговых льгот и создание механизмов компенсации инвестиционных затрат для привлечения частного капитала.

Кроме того, для дальнейших исследований и подготовки квалифицированных кадров, необходимых для обслуживания этих систем, рекомендуется создание демонстрационных зон (например, на базе СФУ), где можно будет изучать динамическую устойчивость и режимы параллельной работы различных генераторов ВИЭ (ветровых, солнечных, микро-гидро) в составе локальной энергосистемы.

Список литературы

1. Бойко, Е. А. Техничко-экономическая оценка возможности использования возобновляемых источников энергии на территории Красноярского края в разрезе муниципальных образований края: исследовательский отчет: в 4 т. Т.IV / ФГАОУ ВПО «Сиб. федер. ун-т»; рук. Проекта Е. А.Бойко. – Красноярск, 2013. –215 с.: 98 рис. –Текст: непосредственный.

2. Бойко, Е. А. Исследовательский отчет : Том VI : Техничко- экономическая оценка возможности использования возобновляемых источников энергии на территории Красноярского края в разрезе муниципальных образований края : [в 6 т.] / Федер. гос. автоном. образоват. учреждение высш. проф. образования «Сиб. федер. ун- т»(СФУ) ; рук. проекта Е. А. Бойко. – Красноярск, 2013. - 197 с.: 59 рис. - Текст: непосредственный.

3. Воеводина, О. Е Анализ текущего состояния и проблем развития малой гидроэнергетики в России / О. Е Воеводина, Е. О Мартко // Вестник науки: журнал. / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2025. - С. 27 - 30.

ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ МИКРОКЛИМАТА ФЕРМ КРС

Педяшов Иван Алексеевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

89135419368@mail.ru

Научный руководитель: Бастрон Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

tbastron@yandex.ru

Аннотация. Представленный в статье анализ патентного исследования, показал, что в России наиболее интенсивно ведутся разработки и патентуются системы микроклимата с использованием систем осушения и рециркуляции воздуха, а также автоматическим управлением скоростью и влажностью воздушного потока при локальном обдуве коров в условиях промышленного животноводства. Наибольший интерес представляет техническое решение по патенту РФ № 2808180, которое может быть в дальнейшем использовано в качестве прототипа при разработке и патентовании авторами аналогичных устройств.

Ключевые слова: ферма КРС, система микроклимата, тепловой стресс, локальный обдув, осевой вентилятор, автоматическое управление, частотный преобразователь, алгоритм управления

Как показали исследования, проведенные [1], состояние микроклимата в помещениях для содержания крупного рогатого скота на фермах КРС существенно влияет на его продуктивность. Отклонение от нормируемых параметров температуры и влажности воздуха, его химического состава (концентрация углекислого газа, аммиака, сероводорода и т.д.), а также скорости движения воздуха в разные периоды года приводит к стрессу и даже к гибели животных. Для поддержания нормируемых параметров микроклимата на фермах КРС с учетом специфики годового сезона и места расположения фермы КРС на территории России разрабатываются, исследуются и патентуются различные технические системы по созданию микроклимата, а также автоматические системы управления устройствами, обеспечивающими повышение продуктивности животных [2–12]. Часть из них представлена в таблице.

Патентные исследования систем микроклимата ферм КРС

№ п/п	Наименование разработки	Источник	Цель изобретения	Краткое описание технического решения
1	Система вентиляции животноводческих помещений	Патент РФ № 2108519 [8]	Повышение интенсификации теплообмена и расширение эксплуатационных возможностей системы	Устройство содержит приточный и вытяжной вентиляторы, вытяжные шахты, вытяжной воздуховод, установленный внутри приточного с образованием теплообменника-осушителя и отверстиями, кроме того, в нем имеется второй приточный вентилятор с раздающим воздуховодом с отверстиями, при этом приточные вентиляторы установлены с противоположных сторон приточного воздуховода, а вытяжной вентилятор присоединен к вытяжному воздуховоду в центральной его части
2	Способ вентиляции животноводческого	Патент РФ №	Повышение продуктивности	Предложенный способ вентиляции животноводческого помещения

	помещения и устройство для его осуществления	2229220 [9]	животных за счет улучшения условий их содержания	заключается в подаче и отсосе из него воздуха для создания вокруг животного по его бокам воздушного потока по всей длине тела за счет того, что поток направляют в горизонтальном направлении от передней части тела животного к его задней части.
3	Система обогрева и охлаждения животноводческих помещений	Патент РФ № 2658786 [10]	Создание эффективной энергосберегающей системы обогрева и охлаждения животноводческих помещений с обеспечением нормативных параметров воздушной среды в животноводческих помещениях при одновременном снижении эксплуатационных затрат на энергоносители	Система содержит емкостной электроводонагреватель для нагрева теплоносителя в режиме обогрева помещения и зонд для охлаждения теплоносителя в режиме охлаждения помещения, при этом в режиме обогрева помещения теплообменник с помощью трубопроводов соединен с центробежным насосом, трехходовым клапаном в положении отопления, входной трубой емкостного электроводонагревателя, а выходная труба электроводонагревателя соединена с обратным клапаном через тройник с регулятором температуры и затем с теплообменником. Выходная труба зонда через тройник и регулятор температуры соединена с теплообменником, при этом автоматическое управление режимами работы осуществляется контроллером и регулятором температуры
4	Система для создания микроклимата в коровнике	Патент РФ № 2808180 [11]	Повышение продуктивности животных, которое обеспечивается за счет создания комфортных условий и предотвращения теплового стресса	Система включает блок управления с регуляторами частоты вращения лопастей электроприводами, установленными на шарнирах в ряд над зонами кормления и отдыха животных и направленными под углом сверху вниз осевыми вентиляторами, электроприводом с редуктором, оснащенный регулятором частоты вращения поворота вентиляторов в ряду, насосной установкой с фильтром, датчиками температуры и влажности в коровнике и закрепленными на животном датчиками сердечных сокращений и частоты дыхания, при этом блок управления включает или выключает осевые вентиляторы, подает сигнал на их поворот, устанавливает частоту вращения лопастей, а также подает сигнал на подачу воды насосной установкой к туманообразующему элементу с форсунками

5	Устройство для вентиляции коровника	Патент РФ № 178643 [12]	Обеспечение комфортных условий в животноводческих помещениях в летний период и предотвращение теплового стресса у животных	Устройство включает установленные на шарнирах в ряд над зонами кормления и отдыха с заданным расстоянием осевые вентиляторы с электроприводом, с регуляторами частот вращения лопастей и редуктором, при этом вентиляторы снабжены туманообразующими элементами с форсунками
---	-------------------------------------	-------------------------	--	--

Анализ патентного исследования, приведенного в таблице, показал, что в России наиболее интенсивно ведутся и патентуются разработки систем микроклимата с автоматическим управлением скоростью и влажностью воздушного потока при локальном обдуве коров в условиях промышленного животноводства.

Наибольший интерес представляет техническое решение по патенту РФ № 2808180 на изобретение «Система для создания микроклимата в коровнике».

Для оценки технической реализации указанных технических решений, а также для ее совершенствования и дальнейшего патентования необходимо выполнить обзор по указанной выше теме современных систем, представленных на рынке России.

Список литературы

1. Иль, Д.Е. Влияние зоогигиенических параметров микроклимата животноводческих помещений на молочную продуктивность и качественный состав молока / Д.Е. Иль, М.В. Заболотных, Е.Н. Иль Вестник КрасГАУ. 2024. № 11 (212). С. 113-120.

2. Бастрон, Т.Н. Обзор систем микроклимата коровников ферм КРС / Т.Н. Бастрон // В сборнике: Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. материалы международной научно-практической конференции. Красноярский государственный аграрный университет. 2019. С. 87-93.

3. Бастрон, А.В. Энергоэффективная система микроклимата семейной фермы на 30 дойных коров / Бастрон А.В., Бастрон Т.Н. // Актуальные вопросы аграрной науки. 2020. № 35. С. 5-13.

4. Бастрон, А.В. Энергосберегающая система воздухообмена животноводческих помещений / А.В. Бастрон, Н.В. Кулаков, В.М. Таюрский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1996. - №2. – С. 8 – 10.

5. Довлатов, И.М. Система обеспечения параметров воздуха в помещении для содержания крупного рогатого скота / И.М. Довлатов, В.В. Кирсанов, И.В. Комков, С.С. Юрочка, И.Ю. Игнаткин // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 3. С. 5-12.

6. Иванов, Ю.Г. Алгоритм управления скоростью воздушного потока при локальном обдуве коров в условиях промышленного животноводства / Ю.Г. Иванов, Д.А. Понизовкин, С.А. Андреев // Агроинженерия. 2025. Т. 27. № 3. С. 33-39.

7. Зачем разгонные осевые вентиляторы на ферме? – Текст: электронный // URL: <https://energofarm.ru/blog/poleznoe/zachem-razgonnye-osevye-ventilyatory-na-ferme> (дата обращения: 22.02.2026).

8. Патент РФ № 2108519. Система вентиляции животноводческих помещений / Бастрон А.В., Кулаков Н.В.; Заявитель и патентообладатель Красноярский государственный аграрный университет; МПК F 24 F 7/04, Дата подачи заявки: 28.06.1996, Дата опубликования: 10.04.1998.

9. Патент РФ № 2229220. Способ вентиляции животноводческого помещения и устройство для его осуществления / Кириленко Н. Я.; Заявитель и патентообладатель Коломенский государственный педагогический университет; МПК А01К 1/00, Дата подачи заявки: 05.11.2002, Дата опубликования: 27.05.2004.

10. Патент РФ № 2658786. Система обогрева и охлаждения животноводческих помещений / Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П., Тихомиров Д. А. и др.; Заявитель и

патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ; МПК F24F 5/00, Дата подачи заявки: 07.07.2017, Дата опубликования: 22.06.2018.

11. Патент 2 808 180 С1 Система для создания микроклимата в коровнике / Борулько В. Г., Иванов Ю. Г., Понизовкин Д. А. и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева; МПК А01К 1/00, Дата подачи заявки: 09.03.2023, Дата опубликования: 24.11.2023.

12. Патент РФ № 178643. Устройство для вентиляции коровника / Иванов Ю. Г., Борулько В. Г., Понизовкин Д. А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева; МПК А01К 1/00, Дата подачи заявки: 14.11.2017, Дата опубликования: 16.04.2018.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ОБДУВА КРС

Педяшов Иван Алексеевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

89135419368@mail.ru

Научный руководитель: Бастрон Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

tbastron@yandex.ru

Аннотация. Представленный в статье анализ показал, что современный рынок оборудования для локального обдува коров представлен как традиционными вентиляторами с асинхронными двигателями, так и более технологичными ЕС-вентиляторами с бесколлекторным приводом. ЕС-вентиляторы обладают рядом технических преимуществ: более высокий КПД (до 90%), встроенная система плавного регулирования скорости, низкие пусковые токи, что упрощает их интеграцию в системы автоматизированного управления микроклиматом.

Ключевые слова: ферма КРС, система микроклимата, тепловой стресс, локальный обдув, осевой вентилятор, автоматическое управление, частотный преобразователь, алгоритм управления

Введение. Проблема теплового стресса у крупного рогатого скота (КРС) в летний период остается одной из ключевых в молочном животноводстве. Многочисленными исследованиями [1, 2] доказано, что превышение температурно-влажностного комфорта приводит к снижению удоев, ухудшению воспроизводительных качеств и увеличению заболеваемости животных. В работе [3] предложен алгоритм управления скоростью воздушного потока, основанный на поддержании заданной частоты пульса животных, что позволяет минимизировать последствия теплового стресса. Однако практическая реализация данного алгоритма невозможна без правильного выбора исполнительного устройства – вентилятора, который должен обеспечивать не только требуемые параметры воздушного потока, но и обладать высокой надежностью и энергоэффективностью. Длительная эксплуатация (до 16-20 часов в сутки в жаркий период) делает энергопотребление вентиляционных систем одной из самых значительных статей расходов фермы [4].

На сегодняшний день на рынке представлено два основных типа приводов для осевых вентиляторов, используемых в животноводстве: традиционные асинхронные электродвигатели (АД) и современные бесколлекторные двигатели постоянного тока (BLDC), также называемые ЕС-двигателями (Electronically Commutated). Целью данной работы является обзор существующего оборудования и сравнительный анализ этих двух технологий с технической и экономической точек зрения для обоснования выбора оптимального решения при оснащении ферм КРС системами локального обдува.

Материалы и методы. В качестве исходных материалов использованы данные технических характеристик вентиляторов ведущих производителей (ZIEHL-ABEGG, LONGWELL, Weiguang), аналитические обзоры рынка вентиляционного оборудования для АПК, а также результаты исследований энергопотребления, опубликованные в открытых источниках [5–9].

Сравнительный анализ проводился по следующим критериям: тип двигателя, наличие и способ регулирования скорости, потребляемая мощность, создаваемый воздушный поток (производительность), класс защиты, заявленный срок службы и стоимость оборудования. Для экономического обоснования использован метод расчета совокупной стоимости владения (Total Cost of Ownership, TCO) и срока окупаемости дополнительных инвестиций. Расчеты выполнены для модельной фермы с поголовьем 200 коров, исходя из

рекомендуемых норм воздухообмена и продолжительности летнего периода с температурой выше 25°C (90 дней).

Обзор оборудования для локального обдува

Современный рынок предлагает широкий спектр вентиляторов, адаптированных для использования в условиях животноводческих помещений. Основными требованиями к такому оборудованию являются: высокая производительность при относительно низком давлении, устойчивость к агрессивной среде (аммиак, пыль, влага), надежность и безопасность для животных.

Анализ каталогов производителей показывает, что для локального обдува коров преимущественно используются осевые вентиляторы [5, 6, 8]. Их конструкция включает рабочее колесо с лопастями, установленное непосредственно на валу электродвигателя, и защитную решетку. Корпуса выполняются из оцинкованной стали с высоким содержанием цинка (до 275 г/м²) для защиты от коррозии [5]. Степень защиты электродвигателей обычно составляет IP54 или IP55, что достаточно для прямого контакта с водовоздушной смесью при мойке помещений [6, 8].

Сравнение типов приводов.

Вентиляторы с асинхронным двигателем и частотным регулированием

Традиционным решением является использование трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Их главное преимущество - низкая стоимость, технологичность и высокая ремонтпригодность [7]. Как отмечается в источниках, такие двигатели широко распространены и хорошо изучены [4].

Для регулирования производительности в соответствии с разработанным ранее алгоритмом [3] асинхронный двигатель необходимо укомплектовать частотным преобразователем (ПЧ). ПЧ позволяет плавно изменять частоту вращения вала, обеспечивая необходимую скорость воздушного потока. Современные ПЧ также позволяют реализовать обратную связь по сигналам с датчиков температуры и влажности [9].

Однако асинхронные двигатели имеют ряд недостатков. Их КПД в рабочей точке обычно составляет 70-80%, и значительная часть потребляемой энергии рассеивается в виде тепла [4, 7]. Кроме того, для подключения ПЧ требуется квалифицированный монтаж и настройка, а сам преобразователь занимает дополнительное место в электрощите.

Вентиляторы с бесколлекторными двигателями (BLDC/EC)

Альтернативой асинхронным двигателям служат вентиляторы с бесколлекторными двигателями постоянного тока, часто называемые ЕС-вентиляторами [4]. Эти двигатели используют постоянные магниты на роторе и электронную коммутацию обмоток статора.

Ключевые преимущества ЕС-технологии подробно описаны в технической литературе [4, 8]:

- высокий КПД: эффективность BLDC-двигателей достигает 85-90%, что на 10-18% выше, чем у асинхронных аналогов [4, 8]. Это обусловлено отсутствием потерь на намагничивание ротора и более совершенным управлением током в обмотках;
- встроенная электроника: ЕС-двигатели комплектуются встроенным контроллером, который выполняет функции частотного преобразователя. Это упрощает монтаж и позволяет легко интегрировать вентилятор в систему автоматизации по сигналам 0-10 В, ШИМ или по цифровым интерфейсам (RS485, Modbus) [6, 9];
- плавный пуск: электронный контроллер обеспечивает плавный пуск двигателя, что снижает пусковые токи и нагрузку на электросеть. Это позволяет использовать кабели меньшего сечения и обходиться без пускозащитной аппаратуры большой мощности [4];
- низкий уровень шума и вибраций: благодаря точной балансировке ротора и оптимизированной форме лопаток, эти вентиляторы работают тише, что положительно сказывается на микроклимате и комфорте животных [8, 9].

Основным недостатком ЕС-вентиляторов является их более высокая начальная стоимость, что часто останавливает потребителей [4, 8].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика типов приводов вентиляторов

Параметр	Асинхронный двигатель + ПЧ	Бесколлекторный (BLDC/ЕС) двигатель
КПД (типовой)	70-80%	85-90%
Регулирование скорости	Требуется внешний ПЧ	Встроенный контроллер (0-10В, ШИМ) [6]
Пусковые токи	Высокие (5-7 кратные)	Минимальные (плавный пуск) [4]
Сложность монтажа	Средняя (ПЧ монтируется отдельно)	Низкая (подключение "кабель-вентилятор")
Относительная стоимость комплекта	100% (базовый уровень)	140-160% от стоимости АД+ПЧ [4]

Экономическое обоснование.

Для количественной оценки экономической эффективности сравним два варианта оснащения фермы на 200 голов. Примем, что для создания комфортных условий требуется 20 вентиляторов (из расчета 1 вентилятор на 10 коров). Производительность каждого вентилятора должна составлять не менее 10 000-15 000 м³/ч [5, 9].

В качестве аналогов выберем:

Вариант А (традиционный): Осевой вентилятор с двигателем АС мощностью 0,6 кВт [8] и отдельным частотным преобразователем.

Вариант Б (современный): ЕС-вентилятор с аналогичной производительностью и мощностью 0,48 кВт (с учетом более высокого КПД, потребление на 20% ниже [4]).

Стоимость оборудования принята на основе анализа рыночных предложений [4-6].

Базовые условия для расчета:

- количество вентиляторов: $N = 20$ шт.
 - продолжительность работы в режиме обдува за сезон: $T = 90 \text{ дней} \times 16 \text{ ч/день} = 1440$ ч/год;

- стоимость электроэнергии: $\text{Цэ} = 6 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч}$;

- срок службы: 7 лет;

Расчет годовых затрат на электроэнергию:

Для варианта А (АД): $P_a = 0.6 \text{ кВт}$.

Годовое потребление:

$$W_a = 0,6 * 1440 * 20 = 17280 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Годовые затраты:

$$C_{эa} = 17280 * 6 = 103680 \text{ руб.}$$

Для варианта Б (ЕС): $P_b = 0,48 \text{ кВт}$.

Годовое потребление:

$$W_b = 0,48 * 1440 * 20 = 13824 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Годовые затраты:

$$C_{эб} = 13824 * 6 = 82944 \text{ руб.}$$

Экономия затрат на электроэнергию в год:

$$\Delta C_{э} = 103680 - 82944 = 20736 \text{ руб.}$$

Оценка дополнительных инвестиций:

Стоимость комплекта А (вентилятор + ПЧ): примем 25 000 руб./шт. Итого: 500 000 руб.

Стоимость комплекта Б (ЕС-вентилятор): примем 37 000 руб./шт. (что на 48% выше). Итого: 740 000 руб.

Дополнительные инвестиции:

$$\Delta И = 740000 - 500000 = 240000 \text{ руб.}$$

Расчет срока окупаемости:

Простой срок окупаемости (PP) дополнительных инвестиций за счет экономии на электроэнергии составит:

$$PP = \Delta И / \Delta Cэ$$

$$PP = \frac{24000}{20736} \approx 11,6 \text{ лет.}$$

Представленный расчет на первый взгляд показывает неэффективность ЕС-вентиляторов из-за длительного срока окупаемости. Однако он не учитывает ряд факторов, которые существенно меняют картину.

Во-первых, в расчете не учтена стоимость замены частотных преобразователей. Срок службы качественного ПЧ составляет 5-7 лет, и за жизненный цикл системы (10-15 лет) его, вероятно, придется заменить как минимум один раз. ЕС-вентиляторы не требуют отдельного ПЧ, и их электроника рассчитана на весь срок службы двигателя. Во-вторых, в жарких регионах продолжительность использования вентиляции может достигать 150-180 дней в году. В-третьих, стоимость электроэнергии имеет тенденцию к росту. С учетом этих факторов реальный срок окупаемости может снизиться до 4-6 лет, что является приемлемым для инвестиций в сельском хозяйстве.

Кроме того, ЕС-вентиляторы обеспечивают нефинансовые преимущества: лучший комфорт животных за счет более стабильной работы на малых оборотах, что особенно важно при реализации алгоритмов управления, подобных описанному в [3], и возможность централизованного управления и мониторинга параметров каждого вентилятора [4, 9].

Заключение. Современный рынок оборудования для локального обдува коров представлен как традиционными вентиляторами с асинхронными двигателями, так и более технологичными ЕС-вентиляторами с бесколлекторным приводом.

ЕС-вентиляторы обладают рядом технических преимуществ: более высокий КПД (до 90%), встроенная система плавного регулирования скорости, низкие пусковые токи, что упрощает их интеграцию в системы автоматизированного управления микроклиматом.

Экономический анализ, выполненный по упрощенной схеме, показывает срок окупаемости дополнительных инвестиций в ЕС-вентиляторы около 11-12 лет только за счет экономии электроэнергии. Однако при учете эксплуатационных затрат на замену частотных преобразователей, более высокой стоимости электроэнергии и увеличенной продолжительности использования в южных регионах, реальный срок окупаемости может быть значительно ниже.

Для объектов с высокой степенью автоматизации и жесткими требованиями к микроклимату применение ЕС-вентиляторов является более предпочтительным, несмотря на более высокие первоначальные капиталовложения.

Список литературы

1. Aggarwal A., Upadhyay R. Heat stress and animal productivity. New Delhi: Springer. India, 2013. 200 p. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-0879-2>

2. Polsky L., Keyserlingk A.G. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(11):8645-8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
3. Иванов, Ю.Г. Алгоритм управления скоростью воздушного потока при локальном обдуве коров в условиях промышленного животноводства / Ю.Г. Иванов, Д.А. Понизовкин, С.А. Андреев // *Агроинженерия*. 2025. Т. 27, № 3. С. 33-39. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-3-33-39>
4. Energy-saving EC Fan Motor & Controller Solution for Animal Husbandry. *Movimento HF*. 2023. URL: <https://www.hfmotions.com/it/ranch-ec-frequency-conversion-energy-saving-fan-drive-control-system-solution/> (дата обращения: 01.03.2026).
5. LONGWELL настенный промышленный сельскохозяйственный осевой вытяжной вентилятор... LONGWELL Fans. 2025. URL: <https://www.longwellfans.com/ru/product/longwell-wall-mounted-industrial-agricultural-poultry-axial-flow-exhaust-fan-greenhouse-ventilation-fans-for-poultry-house/> (дата обращения: 01.03.2026).
6. LONGWELL 630 мм промышленный вытяжной вентилятор HVAC осевой вентилятор внешний ротор... LONGWELL Fans. 2025. URL: <https://www.longwellfans.com/ru/product/longwell-630mm-industrial-exhaust-hvac-axial-fan-external-rotor-3000rpm-speed-dc-ec-square-for-farm-380v-customizable-odm/> (дата обращения: 01.03.2026).
7. BLDC vs induction fan power consumption. *Airzon*. 2026. URL: <https://www.airzon.in/bldc-vs-induction-fan-power-consumption/> (дата обращения: 01.03.2026).
8. Вентилятор осевой FC063-6ET. Промышленные вентиляторы ZIEHL-ABEGG. 2024. URL: <https://fan-select.ru/product/ventilyator-osevoj-fc063-6et/> (дата обращения: 01.03.2026)
9. Осевой вентилятор FFowlet AC с бесщеточным электродвигателем IP55. ZIEHL-ABEGG на DirectIndustry. URL: <https://www.directindustry.com.ru/prod/ziehl-abegg/product-19324-1744250.html> (дата обращения: 01.03.2026).

ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Сажин Антон Дмитриевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

anton2003shp@mail.ru

Научный руководитель: Семенов Александр Федорович, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

Semaf84@mail.ru

Аннотация. В работе представлены результаты патентного исследования, предшествующего разработке автоматизированной системы освещения (АСО). Целью работы являлся анализ существующего уровня техники для обеспечения патентоспособности и патентной чистоты проектируемого устройства. Проведен поиск по базе данных ФИПС [1], в результате которого отобраны патенты РФ. Выявлены основные подходы к построению автоматизированной системы освещения, определены плюсы и минусы найденных изобретений. Определен наиболее подходящий для нашей темы патент.

Ключевые слова: освещение, автоматизация, управление, дистанционно

Результаты патентных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Патентные исследования для разработки автоматизированной системы освещения

№ п/п	Название патента	Номер патента	Описание технического решения
1	Драйвер светодиодного светильника с беспроводным каналом связи LORAWAN	235270	Задача полезной модели заключается в создании драйвера светильника, обладающего возможностью дистанционного управления и сбора данных по беспроводному каналу связи LoRaWAN. Технический результат предложенного решения заключается в повышении эффективности драйвера светодиодного светильника со встроенным управлением по беспроводному каналу связи за счет обеспечения экономии расхода электроэнергии, более гибкого управления режимами работы и выявлением возможных неисправностей. Технический результат достигается использованием драйвера светодиодного светильника со встроенным управлением по беспроводному каналу связи LoRaWAN.[2]
2	Универсальный контроллер управления	216202	Задачей заявленной полезной модели является разработка контроллера управления с системой исполнительных устройств, обеспечивающего функции управления, контроля и диагностики работы светильников и электротехнического оборудования. Технический результат заявленной полезной модели заключается в обеспечении экономии электроэнергии и ресурса светильников, непрерывного дистанционного и автоматического управления различными режимами и разным оборудованием, таким как кондиционирование, отопление, управление сервоприводами жалюзи или

			штор, интеграция пропускной системы объекта, получение потокового видеоканала с камер наблюдения, управление освещением и архитектурной подсветкой.[3]
3	Светодиодный светильник с датчиком освещенности и движения	220139	Решаемая техническая задача – создание светодиодного светильника, обеспечивающего комфортный уровень освещенности на рабочем месте в зависимости от изменений естественной освещенности и присутствия людей. Технический результат – поддержание заданного уровня освещенности на рабочем месте с учетом естественного освещения и присутствия людей, а также настройка конечным пользователем базового уровня освещенности, дальность обнаружения и времени перехода в дежурный режим датчика движения.[4]

Тенденции развития автоматизированных систем освещения. Автоматизация освещения развивается по 4 главным трендам:

1. Умный свет: Лампы сами подстраиваются под вас, предугадывая сценарии (без ваших команд).

2. Энергоэффективность: Свет включается только когда нужно, тем самым экономя электроэнергию до 80%.

3. Экосистемы и голос: Отказ от выключателей в пользу голоса (Алиса) и приложений.

4. Забота о здоровье: Свет меняет яркость и тон под ваши биоритмы (бодрит утром и расслабляет вечером).

Суть развития автоматизированных систем освещения: Свет из просто лампочки превращается в адаптивную среду, которая экономит деньги и заботится о вас.

Анализ таблицы 1 показывает, что из изученных патентов на полезные модели наиболее подходящим и простым в обслуживании является патент под номером 2, так как при разработке автоматизированной системы освещения это устройство может работать с любым количеством светодиодных ламп, в том числе старых поколений. Устройства под номерами 1 и 3 будут менее целесообразны при разработке автоматизированной системы освещения, так как они подразумевают собой отдельные светильники с собственным управлением.

Таким образом, для разработки автоматизированной системы освещения целесообразней будет использование «Универсального контроллера управления», так как с его помощью можно выполнять те же функции, что и при помощи других двух устройств, не затрачивая средства на покупку и подключение всех «умных» светильников. Это и является главным достоинством данной полезной модели, управление системой освещения при помощи одного устройства.

Список литературы

1. Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС): официальный сайт. – Москва. – URL: <https://www1.fips.ru/> – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
2. Патент № 235270 Российская Федерация, МПК H05B 47/10. Драйвер светодиодного светильника с беспроводным каналом связи LORAWAN: №2025101511: заявл. 24.01.2025/ Баранов О.Б., Смирнова В.Н.; заявитель ООО «Центр Компетенций Интернета Вещей».
3. Патент № 216202 Российская Федерация, МПК H05B 47/10. Универсальный контроллер управления: № 2022119043: заявл. 13.07.2022/Кошелев Г.А.; заявитель ООО «ЛЕД-Эффект».
4. Патент № 220139 Российская Федерация, МПК H05B 47/10, F21S 8/04. Светодиодный светильник с датчиком освещенности и движения: № 2023103670: заявл. 17.02.2023/Колесников А.М.; заявитель ООО «Рэйлюкс».

**РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО
УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ УСТАНОВКОЙ С ЧАСТОТНЫМ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ПО СИГНАЛАМ ДАВЛЕНИЯ И РАСХОДА
(ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЖИМА)**

Сайтаков Руслан Маратович, студент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

sarogov0147@mail.ru

Научный руководитель: Сафаров Ильдар Мирсаяфович, кандидат технических наук, доцент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

ildarsafarov@mail.ru

Аннотация. Предложен адаптивный алгоритм управления насосной установкой с частотным преобразователем, направленный на снижение энергопотребления и стабилизацию режима. В отличие от традиционного поддержания постоянного давления, уставка формируется как квадратичная функция текущего расхода, что позволяет снижать напор при малой нагрузке. Коэффициенты ПИ-регулятора переключаются между тремя предустановленными наборами в зависимости от диапазона расхода, а для предотвращения насыщения используется anti-windup коррекция. Имитационное моделирование показало снижение избыточного напора при малых расходах и уменьшение перерегулирования при скачках нагрузки по сравнению со схемой постоянного давления.

Ключевые слова: насосная установка, частотный преобразователь, ПИ-регулятор, давление, расход, уставка по расходу, антинасыщение, моделирование, энергосбережение

Одной из ключевых проблем эксплуатации насосных установок в системах водоснабжения является несоответствие между характеристикой сети и насоса при переменном водоразборе. Как известно, с уменьшением расхода напор, развиваемый центробежным насосом, увеличивается, в то время как потребность сети в напоре падает. Это приводит к формированию избыточного напора, бесполезно рассеиваемого на дросселирующей арматуре, и, как следствие, к перерасходу электроэнергии, росту утечек и износу оборудования [1, с. 3]. По этой причине регулирование частоты вращения рассматривается как способ согласовать рабочие параметры насоса с текущим режимом обслуживаемой системы: при уменьшении частоты вращения уменьшаются подача и развиваемый напор, а при увеличении – напор растет одновременно с подачей [1, с. 4].

Чтобы управление по давлению не превращалось в постоянную «перекачку с запасом», важно учитывать физику потерь в трубопроводе. В инженерных расчетах линейные потери напора в трубе выражаются формулой Дарси–Вейсбаха, где потери пропорциональны квадрату средней скорости потока V :

$$h_{л} = \frac{\lambda_{тр} \left(\frac{L}{d}\right) V^2}{2g},$$

где V – средняя скорость потока [2, с. 17]. Отсюда следует простой вывод: при изменении расхода (а значит и скорости) «потребность» сети в напоре меняется нелинейно. Поэтому постоянная уставка давления на выходе насосной установки неизбежно оказывается компромиссом: либо она завышена при малых расходах, либо недостаточна при высоких.

В данной работе уставка давления формируется не как фиксированная величина, а как функция расхода. В прикладном варианте использована зависимость

$$p_3(Q) = p_{min} + k_Q Q^2,$$

где p_{min} – минимально допустимое давление в системе, а коэффициент k_Q характеризует общее гидравлическое сопротивление сети. Такая логика позволяет

автоматически снижать давление в режимах малой нагрузки и поднимать его только тогда, когда рост расхода действительно увеличивает потери напора в сети по квадратичному закону (пропорционально Q^2) [2, с. 17]. Чтобы уставка не «шумела» вместе с расходомером, сигнал расхода перед вычислением $p_3(Q)$ в модели дополнительно сглаживался апериодическим фильтром первого порядка с малой постоянной времени.

Регулирование давления выполнялось ПИ-регулятором. В методических материалах по настройке ПИД-регуляторов отмечается, что при ПИД-регулировании сигнал управления зависит не только от ошибки между текущим и заданным значением, но и от накопленной ошибки (интеграла), а также от скорости изменения ошибки (дифференциала) [3, с. 4]. В настоящей работе применен ПИ-вариант, поскольку для задач стабилизации давления на реальных объектах часто критичны устойчивость и «спокойное» поведение без усиления шумов измерения. Однако при использовании частотного преобразователя регулятор сталкивается с ограничениями: управляющее воздействие не может превышать пределы значений, реализуемых инвертором, поэтому в реальных условиях регуляторам нередко приходится работать в режиме насыщения. В этом режиме возможна нежелательная ситуация накопления избыточной интегральной составляющей, которая ухудшает поведение контура. Чтобы исключить «разгон» интегратора при упоре в ограничения, в алгоритм введена антинасыщающая коррекция (anti-windup): при достижении пределов управляющего воздействия интегральная часть корректируется так, чтобы не накапливать ошибку, которую привод в равно не способен обработать [4, с. 1–2].

Адаптивность реализована максимально технологично – без сложной идентификации модели в реальном времени. Для трех диапазонов расхода (малый, средний, высокий) заранее задавались разные пары коэффициентов K_p и K_i ; переключение выполнялось с гистерезисом по расходу, чтобы избежать частых переключений около границ диапазонов. Такой подход выбран потому, что «жесткость» системы по давлению меняется с расходом: при малых расходах давление набирается быстрее и завышенные коэффициенты провоцируют перерегулирование, а при высоких расходах динамика становится более «тяжелой» и регулятору требуется больший запас усиления.

Для проверки работоспособности алгоритма была построена имитационная модель контура «частотный привод – насос – сеть». Сеть описывалась нелинейным сопротивлением с потерями напора, зависящими от квадрата скорости потока согласно формуле Дарси–Вейсбаха [2, с. 17]. Насосная часть модели отражала, что изменение частоты вращения приводит к изменению подачи и развиваемого напора [1, с. 4]. Также учитывались инерционность измерений, насыщение по управляющему воздействию и ограничение темпа изменения задания частоты. В качестве базового варианта для сравнения использовалась типовая схема стабилизации постоянного давления с фиксированными параметрами ПИ-регулятора.

В моделировании рассматривались ступенчатые изменения расхода (имитация подключения/отключения потребителей) и внешние возмущения по сопротивлению сети (условно – изменение положения регулирующей арматуры). В сценариях с падением расхода у схемы с постоянной уставкой наблюдалась тенденция поддерживать завышенный напор, что соответствует описанному в литературе режиму «работы с избыточным напором», который затем гасится дросселированием [1, с. 3]. В предложенном алгоритме при снижении расхода автоматически снижалась и уставка давления $p_3(Q)$, что уменьшало избыточный напор и делало режим более «мягким» для сети. При резких увеличениях расхода адаптивный выбор коэффициентов ПИ-регулятора вместе с anti-windup-коррекцией позволял сократить длительность переходного процесса и уменьшить величину перерегулирования по давлению по сравнению с базовым вариантом, особенно в условиях ограничений по управляющему воздействию, когда регулятор работает в насыщении [4, с. 2].

В итоге предложенная связка «уставка давления как функция расхода + ПИ-регулятор с anti-windup + переключаемые наборы коэффициентов по диапазонам расходов» обеспечивает более устойчивую и экономичную работу насосной установки при переменной

нагрузке. С практической точки зрения решение удобно тем, что требует только стандартных датчиков давления и расхода, а настройка сводится к подбору p_{\min} , k_Q и нескольких наборов K_p , K_i под разные режимы.

Список литературы

1. Лезнов, Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок: монография. – Москва: Машиностроение, 2013. – 176 с. – ISBN 978-5-94275-688-8. – Текст: электронный. – URL: https://drives.ru/wa-data/public/site/Leznov_book.pdf (дата обращения: 23.01.2026).

2. Киреев, Б. Н. Основы гидропривода. Гидравлические и пневматические системы. Лабораторно-практические занятия: учебное пособие. – Елабуга: Издательство Елабужского института К(П)ФУ, 2016. – 180 с. – Текст: электронный. – URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F287180048/Osnovy_gidropr_lab_pr_zan.pdf (дата обращения: 23.01.2026).

3. ООО «Автоматика». Методика настройки цифрового ПИД-регулятора. Версия 1.6 от 22.12.2010. – Санкт-Петербург: ООО «Автоматика», 2010. – 11 с. – Текст: электронный. – URL: https://owen.by/images/documents/ark/pl20/The_technique_of_tuning_a_digital_PID.pdf (дата обращения: 29.01.2026).

4. Анучин, А. С. Структуры цифрового ПИ-регулятора для электропривода = Structures of Digital PI-controller for Electric Drive. – 2014. – 10 с. – Текст: электронный. – URL: <https://motorcontrol.ru/wp-content/uploads/2015/11/St2.pdf> (дата обращения: 04.02.2026).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ: СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ВОДОРАЗБОРЕ

Сайтаков Руслан Маратович, студент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
sarogov0147@mail.ru

Научный руководитель: Сафаров Ильдар Мирсаяфович, кандидат технических наук, доцент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
ildarsafarov@mail.ru

Аннотация. Проведен сравнительный анализ энергопотребления насосной станции при переменном водоразборе для двух методов регулирования: дросселирования и частотного регулирования с ПИД-контроллером. На основе имитационной модели «насос–сеть–регулятор» и типового суточного профиля нагрузки рассчитано суточное энергопотребление. Показано, что применение преобразователя частоты обеспечивает снижение энергозатрат на 31,2% (62,6 (кВт·ч)/сут) по сравнению с дросселированием при одинаковом уровне стабилизации давления в напорном коллекторе. Основная экономия достигается в режимах частичной нагрузки за счет устранения потерь напора на регулирующей арматуре и соответствия напора насоса реальному требованию сети.

Ключевые слова: насосная станция, преобразователь частоты, частотное регулирование, ПИД-регулятор, характеристика сети, энергосбережение, моделирование

Насосные станции в системах водоснабжения и циркуляции воды почти всегда работают при переменном водоразборе: в течение суток расход может меняться в разы. Если агрегат вращается с постоянной скоростью, то наиболее «быстрым» способом удержать давление часто становится дросселирование на напорной линии. При таком подходе часть создаваемого напора фактически не идет на полезную работу и рассеивается в виде потерь на регулирующей арматуре, что особенно заметно при длительной работе в режимах частичной нагрузки [2, с. 52]. Поэтому на практике вопрос регулирования – это одновременно вопрос устойчивости давления у потребителя и вопрос энергетических затрат станции.

Рабочий режим насосной установки задается рабочей точкой – пересечением характеристики насоса и характеристики сети [2, с. 49–50]. Поэтому при сравнении способов регулирования достаточно корректно задать $N_{\text{сети}}(Q)$ и правило поддержания давления. Для центробежных насосов при изменении частоты вращения выполняются законы подобия $Q \sim n$, $H \sim n^2$, $N \sim n^3$, что объясняет снижение энергопотребления в режимах неполной нагрузки при частотном регулировании [1, с. 22–23]. Стабилизацию давления в напорном коллекторе в практических системах управления обычно реализуют по сигналу датчика давления с использованием ПИД-регулятора [4, с. 22]; этот подход принят и в данной работе.

Цель работы – сравнить дросселирование и частотное регулирование насосной станции при переменном водоразборе по энергопотреблению и качеству поддержания давления. Для этого заданы характеристики сети и агрегата, рассчитаны режимы для типового суточного графика расхода и оценен энергетический эффект при одинаковой уставке давления.

Объект исследования – насосная установка с центробежным насосом и асинхронным электродвигателем, работающая на напорную сеть с переменным расходом. Основу исследования составило имитационное моделирование системы «насос–сеть–регулятор». Для каждого интервала суточного графика водопотребления определялась рабочая точка установки, на основе которой рассчитывалась потребляемая мощность. Суммирование по

временным интервалам позволило получить оценку суточного энергопотребления для каждого способа регулирования.

В расчетной схеме сопротивление сети описано через зависимость требуемого напора от расхода в виде суммы статической составляющей и потерь на трение и местные сопротивления, которые в инженерных расчетах зависят от расхода квадратично. Такая форма соответствует базовым выражениям для потерь давления в гидротрассах, где присутствует член, пропорциональный Q^2 [3, с. 55]. Рабочий режим насоса определяется положением рабочей точки на совместной диаграмме характеристик системы и агрегата, что является стандартным подходом при анализе насосных установок [2, с. 49–50].

Для сравнения приняты два варианта управления. В первом варианте насос работает на номинальной скорости вращения, а требуемый режим по расходу/давлению достигается дросселированием, то есть искусственным увеличением сопротивления на напорной линии. В литературе по гидравлике и гидросистемам отмечается, что такое регулирование сопровождается ростом потерь напора на регулирующем органе, поскольку перепад давления «снимается» на задвижке или клапане [3, с. 75–76]. Во втором варианте используется преобразователь частоты, который изменяет скорость электродвигателя, позволяя формировать требуемый напор без избыточного перепада на арматуре; кроме того, плавное изменение скорости уменьшает ударные нагрузки и делает переходные процессы мягче, что благоприятно сказывается на режиме работы оборудования [5, с. 25].

Энергетическая часть сравнения опирается на законы подобия для центробежных насосов: при изменении частоты вращения подача пропорциональна скорости, напор пропорционален квадрату скорости, а потребляемая мощность – кубу скорости [1, с. 22–23]. Это означает, что снижение скорости в зоне малых расходов приводит к заметному падению мощности. Для оценки электрической мощности использована связь между расходом, напором и мощностью насоса, применяемая в инженерных расчетах:

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta} [1, \text{с. 54}],$$

где ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения, Q – расход, H – напор, η – суммарный КПД агрегата (насос + электродвигатель).

Поддержание давления при частотном регулировании рассматривается как замкнутый контур: ошибка $e(t) = p_{\text{зад}} - p(t)$ формируется по сигналу датчика давления и подается на ПИД-регулятор [4, с. 22], а его выход задает требуемую частоту (скорость) электропривода. В расчетной модели дополнительно введено ограничение скорости изменения частоты, чтобы исключить колебательный характер переходных процессов при резких изменениях водоразбора.

Для проведения численного сравнения была разработана модель условной насосной станции малого/среднего класса со следующими параметрами: номинальная подача $Q_n = 100$ м³/ч и расчетный напор $H_n = 40$ м. Характеристика сети аппроксимирована выражением

$$H_{\text{сети}}(Q) = H_{\text{ст}} + kQ^2,$$

где $H_{\text{ст}} = 20$ м – статическая часть, а коэффициент k выбран так, чтобы при Q_n требуемый напор составлял 40 м. Для расчетной оценки приняты постоянные значения КПД: $\eta_{\text{нас}} = 0,72$ и $\eta_{\text{дв}} = 0,90$ (суммарно $\eta = 0,648$), что позволяет сравнивать варианты по одному и тому же допущению. При этом следует учитывать, что в реальной установке КПД зависит от расхода и режима, поэтому абсолютные значения экономии могут отличаться, однако механизм эффекта при частичной нагрузке сохраняется.

Профиль водопотребления принят суточный: 6 часов – максимальный расход 100 м³/ч, 10 часов – средний расход 70 м³/ч, 8 часов – минимальный расход 50 м³/ч. Для частотного регулирования в каждом режиме насос развивает напор, равный требуемому напору сети $H_{\text{сети}}(Q)$. Для варианта с дросселированием принимается работа насоса при номинальной скорости и поддержание уставочного давления, эквивалентного напору 40 м, за счет увеличения сопротивления регулирующей арматурой. В этом случае разность $40 - H_{\text{сети}}(Q)$

интерпретируется как потери напора на регулирующем органе. Расчетные значения мощности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение режимов работы насоса при переменном водоразборе

Длительность, ч	Расход Q, м ³ /ч	Требуемый напор, м	Мощность (ЧРП), кВт	Мощность (дросс.), кВт
6	100	40,0	16,81	16,81
10	70	29,8	8,68	11,77
8	50	25,0	5,26	8,41

Суммарное энергопотребление за сутки составило 138,0 кВт·ч при частотном регулировании и 200,6 кВт·ч при дросселировании. Экономия – 62,6 кВт·ч/сут, то есть около 31,2 % от варианта с постоянной скоростью и дросселированием. При принятом тарифе 6 руб/кВт·ч годовая экономия по энергии составляет порядка 22 850 кВт·ч, что соответствует примерно 137 100 руб/год. Основная доля эффекта формируется в режимах частичной нагрузки, когда при дросселировании избыточный напор расходуется на потери в арматуре.

С инженерной точки зрения полученная разница объясняется тем, что при снижении расхода падают потери в сети и уменьшается требуемый напор, а частотное регулирование позволяет «подстроить» насос под эти условия и не создавать лишний перепад. При постоянной скорости удержание давления в таких режимах достигается искусственным увеличением сопротивления, что прямо соответствует росту потерь напора на регулирующем органе [3, с. 75–76]. В результате энергия тратится на создание перепада, который затем рассеивается на задвижке, то есть не используется на транспорт жидкости по сети.

Качество стабилизации давления при замкнутом управлении определяется настройкой ПИД-регулятора: при завышении усиления возрастает риск колебаний, при недостаточной настройке ухудшается быстродействие и точность [4, с. 22]. Поэтому в практической эксплуатации подбор коэффициентов является ключевым условием устойчивого удержания уставки при переменном расходе.

Таким образом, частотное регулирование насосной станции при переменном водоразборе позволяет одновременно решать задачу стабилизации давления и задачу энергосбережения: давление поддерживается за счет замкнутого контура управления, а потери на дросселирующей арматуре уменьшаются за счет согласования напора насоса с реальной потребностью сети. Расчетная оценка экономии зависит от профиля водопотребления, характеристик сети и реального КПД агрегата, однако сам механизм эффекта устойчив и согласуется с законами подобия для центробежных насосов, согласно которым снижение скорости в режимах неполной нагрузки приводит к существенному снижению мощности [1, с. 22–23].

Список литературы

1. Еловик В. Л. Расчет и анализ режимов работы центробежных насосов: монография. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2022. – 110 с.
2. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
3. Башта Т. М., Руднев С. С., Некрасов Б. Б. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
4. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления: учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2004. – 752 с.
5. Данфосс АО. Преобразователи частоты для насосных и вентиляторных установок. Практическое руководство по применению: методические материалы. – М.: Данфосс, 2016. – 64 с.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Симонов Никита Андреевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

nikita-simonov-2005@mail.ru

Научный руководитель: Баранова Марина Петровна, доктор технических наук, профессор

Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия

marina60@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты анализа возможности применения резервных источников питания в сельской местности. Установлено, что существуют преимущества и недостатки применения дизельных и других резервных источников электропитания абонентов. Соответственно стоит задача избирательного применения резервных источников и специальных мероприятий для эффективного электроснабжения потребителей.

Ключевые слова: резервные источники электроэнергии, дизель-генераторы, батареи

Введение. Современное общество зависит от стабильного и непрерывного электроснабжения. Однако перебои в подаче электроэнергии могут иметь серьезные последствия для бизнеса, здравоохранения и повседневной жизни. В связи с этим резервные источники питания (РИП) становятся все более актуальными. В ходе работы стояла задача рассмотрения возможности применения РИП, их виды, преимущества и недостатки, а также области, где их использование особенно важно [1].

В условиях современных реалий, особенно в сельской местности, стабильное электроснабжение является важным фактором для обеспечения комфортной жизни и эффективного ведения хозяйства. Частые отключения электроэнергии, а также недостаточное развитие инфраструктуры делают использование резервных источников питания (РИП) актуальным. В данной статье мы проанализируем возможности применения РИП в сельских условиях, их преимущества и недостатки, а также рассмотрим наиболее подходящие решения для данной среды [2-3].

Виды резервных источников питания

1. Батареи и аккумуляторы: наиболее распространенный тип РИП. Они могут быть свинцово-кислотными, литий-ионными или никель-кадмиевыми. Применяются в различных устройствах, от небольших UPS до крупных систем энергоснабжения.

2. Генераторы: Дизельные или бензиновые генераторы используются для обеспечения электроэнергией больших объектов или в случае длительных отключений. Они обеспечивают высокую мощность, но требуют регулярного обслуживания и топлива.

3. Солнечные панели с аккумуляторами: Системы солнечной энергетики становятся популярными как экологически чистый способ получения энергии. Они могут использоваться как основной или резервный источник питания.

4. Гибридные системы: сочетают в себе несколько технологий, например, солнечные панели и генераторы, что позволяет увеличить надежность и эффективность энергоснабжения [4-6].

Преимущества резервных источников питания

1. Непрерывность электроснабжения: РИП обеспечивают бесперебойную подачу электроэнергии, что особенно важно для медицинских учреждений, серверных и производственных предприятий.

2. Защита оборудования: РИП предотвращают повреждение чувствительной электроники из-за перепадов напряжения и отключений.

3. Гибкость в использовании: Резервные источники могут быть адаптированы под различные нужды и масштабы, от домашних систем до крупных промышленных решений.

4. Экологические преимущества: Использование солнечных панелей и других возобновляемых источников снижает углеродный след и способствует устойчивому развитию.

Недостатки резервных источников питания

1. Стоимость: Первоначальные инвестиции в РИП могут быть значительными, особенно для мощных систем. Однако это может быть оправдано в долгосрочной перспективе.

2. Техническое обслуживание: Некоторые системы требуют регулярного обслуживания и замены компонентов, что может быть затратным и времязатратным.

3. Ограниченное время работы: Батареи и аккумуляторы имеют ограниченное время работы, что может быть критичным в случае длительных отключений.

4. Зависимость от топлива: Генераторы требуют наличия топлива, что может быть проблемой в удаленных или труднодоступных местах.

Области применения резервных источников питания

1. Медицинские учреждения: Больницы и клиники требуют надежного электроснабжения для работы жизненно важных систем.

2. Информационные технологии: Серверные и дата-центры нуждаются в бесперебойной подаче энергии для предотвращения потери данных.

3. Промышленность: Заводы и производственные линии используют РИП для минимизации простоя и обеспечения безопасности.

4. Жилищный сектор: В домах резервные источники помогают справляться с кратковременными отключениями и обеспечивают комфорт.

Особое внимание было уделено дизельным или бензиновым генераторам, которые могут быть использованы в качестве резервного источника питания в случае длительных отключений в сельской местности. Они обеспечивают высокую мощность, но требуют регулярного обслуживания и наличия топлива

Недостатком использования является

техническое обслуживание - генераторы и другие системы требуют регулярного обслуживания, что может быть проблемой в удаленных местностях с ограниченным доступом к сервисным услугам и

ограниченная мощность:

Некоторые РИП могут не обеспечивать достаточную мощность для крупных хозяйств или промышленных объектов [7-8]. На рисунке 1 представлена принципиальная схема дизель-генератора.

Применение резервных источников питания в сельских условиях

1. **Сельское хозяйство:** РИП могут использоваться для обеспечения работы насосов для орошения, систем хранения и переработки продукции.

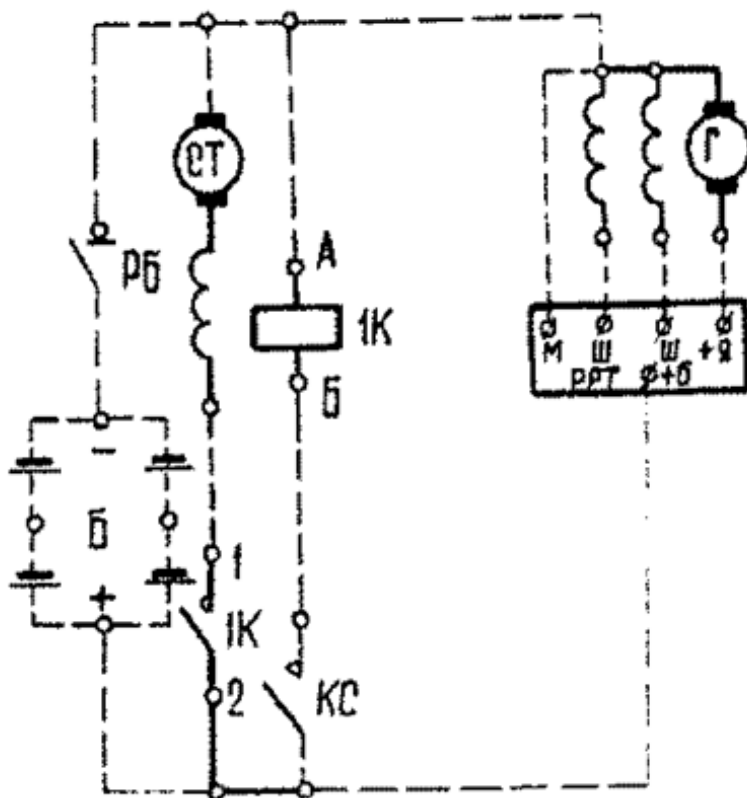


Рисунок 1 - Принципиальная схема дизель-генератора

2. **Жилищный сектор:** В домах резервные источники помогают обеспечить комфортную жизнь, особенно в случае отключений электроэнергии.

3. **Социальные объекты:** Школы, медицинские учреждения и другие социальные объекты могут использовать РИП для обеспечения непрерывной работы.

4. **Малый бизнес:** Предприятия, работающие в сельской местности, могут значительно повысить свою устойчивость и эффективность с помощью резервных источников питания.

Заключение. Резервные источники питания играют ключевую роль в обеспечении стабильности и надежности электроснабжения в различных сферах. Хотя они имеют свои недостатки, преимущества их применения значительно перевешивают риски. В условиях глобальной зависимости от электроэнергии, развитие и внедрение РИП становится необходимостью для обеспечения устойчивого и безопасного будущего.

Резервные источники питания представляют собой важное решение для обеспечения стабильности электроснабжения в сельских условиях. Несмотря на существующие недостатки, преимущества их применения делают их незаменимыми для жителей сельской местности. Разработка и внедрение таких систем может существенно улучшить качество жизни, повысить эффективность сельского хозяйства и способствовать устойчивому развитию региона.

Список литературы

1. Энергосбережение и энергоэффективность // Коммунальные системы 2010. № 4. С. 18 – 19
2. Ибрагимова Х.И., Повышение качества электроэнергии при альтернативной генерации в АПК /Ибрагимова Х.И., Баранова М.П.// В сб.: Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России. Материалы II Международной научной конференции. Красноярск, 2022. С. 67-72.
3. РИА НОВОСТИ URL: <https://ria.ru/20260124/kotelnye-2070112937.html>
4. EcoEnergos URL: <https://www.ecoenergос.ru/info/vidy-istochnikov-avarijnogo-pitaniya/>
5. ВИКИПЕДИЯ URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>
6. Альфа Балт Инжиниринг URL: <https://abespb.ru/press/articles/ustroystvo-i-printsip-raboty-dizel-generatora/?ysclid=mmbcyojdp8743360588>
7. ДИЗЕЛЬ-СИСТЕМ URL: <https://www.d-system.ru/news/20/>
8. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети / В.И. Идельчик// - М.: Альянс. 2016. - 592 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КАБЕЛЯ 10 КВ

Смирнова Дарья Игоревна, студентка

Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия

smirnovad122@gmail.com

Аннотация. В данной работе рассматривается метод неразрушающего контроля технического состояния кабельных линий, обеспечивающий выявление дефектов и повреждений без разрушения конструкции кабеля.

Ключевые слова: кабель, кабельная линия, частичный разряд, неразрушающий контроль, диагностика

Кабельные линии – это основа электроснабжения на промышленных, коммерческих и жилых объектах. Со временем изоляция проводов может стареть, а внешние факторы, такие как: перегрузка, влага, механические повреждения, приводят к скрытым дефектам. Если не устранить проблему вовремя, то это повлечет за собой аварию, простой производства и высокие затраты на ремонт [1].

Диагностика представляет собой процесс определения, насколько эффективно кабель может выполнять свои задачи в условиях, для которых он предназначен. На предприятиях Российской Федерации (РФ) в эксплуатации находится большинство кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией (БПИ), проработавших 25 лет и более. Существуют методы диагностики разрушающего контроля с подачей повышенного испытательного напряжения, а также неразрушающие методы диагностики. Практика показывает, что даже после проведения испытаний повышенным напряжением нет гарантии, что электрооборудование будет работать без сбоев. К примеру, после успешных испытаний повышенным напряжением кабельной линии (КЛ), случается выход из строя в ближайшие месяцы. Испытания повышенным напряжением для кабелей с изоляцией из этиленпропиленовой резины (ЭПР) и сшитого полиэтилена (СПЭ) бесполезны, потому что такая изоляция обладает малыми токами утечки и для нее характерно развитие теплового пробоя. Неразрушающий контроль имеет ряд преимуществ, среди которых – сохранение целостности кабеля, что предотвращает его преждевременное старение [2-3].

Среди наиболее распространенных методов неразрушающего контроля можно выделить:

- тестирование переменным напряжением низкой частоты;
- выявление и локализация частичных разрядов;
- измерение диэлектрических потерь изоляционного материала;
- тепловизионный контроль [4].

В Казанском государственном энергетическом университете (КГЭУ) существует электроизмерительная лаборатория, которая занимается диагностикой кабельных линий. В данной лаборатории имеется прибор PD-TaD 60 – система диагностики кабелей методом локализации частичных разрядов от производителя BAUR (см. рис. 1). Этот аппарат проводит диагностику с использованием технологии Oscillating Wave Test System – Система испытаний колебательных волн (OWTS).

OWTS – система измерений и локализации мест дефектов изоляции. Используется для определения напряжения, при котором возникают импульсы частичных разрядов.

Принцип действия систем OWTS основан на возбуждении затухающих синусоидальных колебаний в колебательном контуре, состоящем из индуктивности системы и емкости кабеля путем коммутации источника высокого напряжения постоянного тока. При этом измеряются напряжение источника высокого напряжения постоянного тока, кажущиеся

заряды импульсов частичных разрядов (ЧР) и интервалы времени между приходом к системе импульсов ЧР, распространяющихся от места их возникновения и отражающихся от конца кабеля. По этим интервалам времени системы рассчитывают расстояния до места возникновения ЧР [5].



Рисунок 1 – PD-TaD 60 – система диагностики кабелей [с сайта <https://www.pergam.ru/>]

В качестве исследования был выбран учебно-исследовательский полигон и лаборатория по испытаниям и диагностике кабельных линий КГЭУ. Диагностике подлежал кабель 10 кВ АПвПуг-10 1x120/35 – кабель силовой высоковольтный с алюминиевой жилой сечением 120 мм² в изоляции из сшитого полиэтилена с экраном из медных проволок сечением 35 мм² в оболочке из полиэтилена (см. рис. 2).

Во время анализа кабеля длиной 76 метров прибором PD-TaD 60 выявилось, что на расстоянии 59-69 метров присутствует дефект в изоляции (см. рис. 3). Кроме расстояния, на котором находится повреждение, можно узнать количество частичных разрядов на данном промежутке, имеющим условные обозначения.



Рисунок 2 – Кабель АПвПуг-10 1x120/35 [с сайта <https://bystrokabel.ru/>]

Методы неразрушающего контроля являются важнейшими инструментами диагностики технического состояния кабельных линий, позволяющими своевременно выявлять дефекты и повреждения без нарушения целостности конструкции кабеля. Применение различных методов позволяет комплексно оценить состояние изоляции, контактов и соединений, обеспечивая надежность и безопасность эксплуатации электрических сетей. Современные технологии неразрушающего контроля позволяют повысить точность измерений, сократить затраты на диагностику и предотвратить аварийные ситуации, что особенно актуально для высоковольтных и протяженных кабельных трасс. Использование автоматизированных систем мониторинга и анализа данных способствует повышению эффективности обслуживания и продлению срока службы кабельной инфраструктуры.

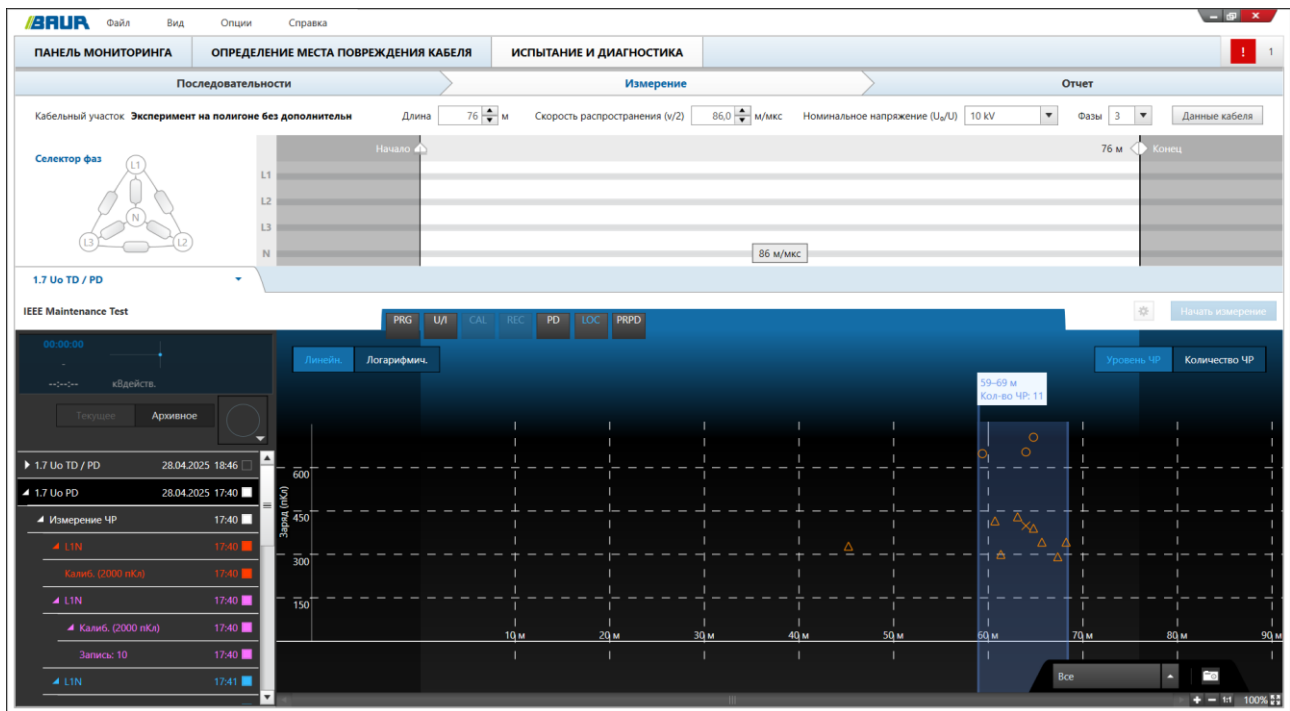


Рисунок 3 – Анализ частичных разрядов [скриншот с программного обеспечения BAUR]

Список литературы

1. Рощин, О. Н. Обзор методов неразрушающего контроля при определении мест повреждения силовых кабельных линий / О. Н. Рощин // Инновационные научные исследования. – 2021. – № 4-1(6). – С. 89-98. – DOI 10.5281/zenodo.4743960. – EDN DOFHQW.
2. Рощин, О. Н. Анализ методов определения мест повреждения кабельных линий на основе методов неразрушающего контроля / О. Н. Рощин, А. Н. Бабаевский // Современное развитие науки, технологий, бизнеса: сборник статей студентов, аспирантов и молодых ученых / Ассоциация технических университетов; Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). – Москва: Ассоциация технических университетов; МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – С. 142-148. – EDN TDTROK.
3. Ариткулов, Ф. Ф. Диагностика кабельных линий в электрических сетях / Ф. Ф. Ариткулов // Наука, образование, инновации: апробация результатов исследований: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Нефтекамск, 07 февраля 2020 года / под общей редакцией А.И. Вострецова. – Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2020. – С. 81-84. – EDN CFXPIХ.
4. Уракова, Е. Н. Диагностика состояния кабельных линий неразрушающими методами в АО "ЕЭСК" / Е. Н. Уракова // Релейная защита и автоматизация. – 2021. – № 3(44). – С. 114-117. – EDN НТКТSS.
5. Михель, А. А. Обзор методов диагностики кабельных линий напряжений 6 и 10 кВ / А. А. Михель, А. В. Авдонин, Д. М. Левин // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2009. – № 2. – С. 31-39. – EDN KNXGIJ.

ИННОВАЦИИ И МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СИСТЕМ НАВОЗОУДАЛЕНИЯ ДЛЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Суворов Александр Васильевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

aleksandr.88005553535@gmail.com

Научный руководитель: Бастрон Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

tbastron@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются современные технологические решения в области удаления и первичной переработки продуктов жизнедеятельности КРС. Особое внимание уделено переходу от простых механических систем к автоматизированным и цифровым решениям, способствующим улучшению микроклимата, здоровья животных, снижению экологической нагрузки и повышению энергоэффективности ферм. Проведен анализ мировых трендов, таких как автоматизированное навозоудаление и концепция экономики замкнутого цикла.

Ключевые слова: Семейная ферма КРС, «зеленые» технологии, «Агрокультура 4.0», тенденции в развитии систем навозоудаления, «умная ферма»

Актуальность темы. Современное промышленное животноводство сталкивается с жесткими экологическими стандартами и необходимостью снижения себестоимости продукции. Системы навозоудаления напрямую влияют на здоровье поголовья, уровень аммиака в помещениях и последующие затраты на утилизацию отходов. В условиях глобального тренда на «зеленые» технологии и автоматизацию «Agriculture 4.0», поиск инновационных методов обращения с навозом становится стратегической задачей для обеспечения рентабельности АПК [1 – 5].

Цель исследования – выявление и систематизация ключевых инноваций и мировых тенденций в развитии систем навозоудаления, а также оценка их влияния на эффективность животноводческих предприятий.

Объекты и методы. При подготовке работы использовался метод сравнительного анализа существующих технологических решений, изучение патентной базы ведущих производителей сельхозтехники (DeLaval, GEA, Lely), а также обзор данных последних международных агропромышленных выставок (EuroTier, Agritechnica).

Результаты и их обсуждение

Современные системы навозоудаления эволюционировали от трудозатратных механических процессов к высокотехнологичным комплексам. Основные направления развития включают:

1. Роботизация и автономные системы.

Мировой тренд – отказ от стационарных скреперных установок в пользу автономных навозоуборочных роботов (рис. 1) [1].

Преимущества: Возможность работы в помещениях со сложной геометрией, отсутствие стресса у животных (бесшумность), поддержание чистоты полов в режиме 24/7.

Инновация: Использование сенсоров и навигации (LiDAR, ультразвук) для построения карт маршрутов без прокладки направляющих.



Рисунок 1 - Навозоуборочный робот. Lely Discovery 120 Collector [1]

2. Технологии разделения фаз (сепарация)

Одним из главных трендов является разделение навоза на твердую и жидкую фракции непосредственно на территории комплекса (рис. 2) [2].

Зачем это нужно: жидкая фаза используется для фертигации, а твердая – в качестве подстилки (после обеззараживания) или сырья для компостирования.

Инновация: Использование шнековых сепараторов с компьютерным управлением влажностью на выходе.

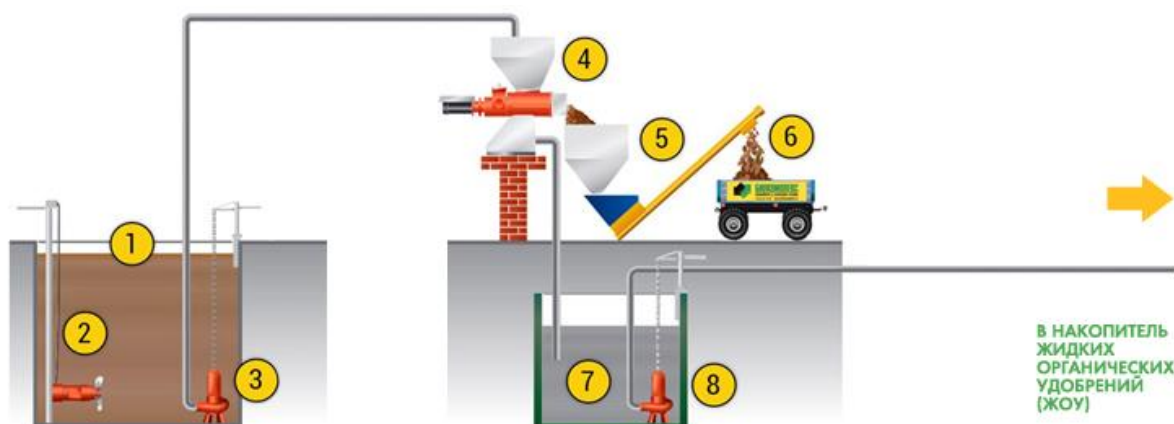


Рисунок 2 - Схема сепарации навоза [2]: 1 - приемный резервуар, 2 - погружная мешалка, 3 - погружной насос, 4 - шнековый сепаратор, 5 - выгрузка твердой фракции, 6 - накопительный резервуар, 7 - погружной насос

3. Экологическая оптимизация и снижение эмиссии газов

Инновации направлены на минимизацию выбросов (аммиака) и (метана).

V-образные полы и системы быстрого отвода: Разделение мочи и кала на раннем этапе (в каналах) существенно снижает химическую реакцию образования аммиака.

Скрубберы воздуха: Интеграция систем очистки вентиляционных выбросов с системами навозоудаления.

4. Цифровизация и предиктивное обслуживание

Системы «умной фермы» интегрируют датчики контроля заполнения навозосборников и мониторинг состояния механизмов.

Мониторинг позволяет отслеживать нагрузку на скреперы в режиме реального времени, предотвращая поломки и травматизм животных.



Рисунок 3 - Скруббер воздуха [5]

Список литературы

1. Институт аграрных исследований URL: <https://inagres.hse.ru> > konferentsiya-2021 (дата обращения: 01.03.2026).

2. SPRINGER NATURE Link URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44187-025-00576-3> (дата обращения: 02.03.2026).

3. Уральский ГАУ URL: Бондаренко С.И. Инновационные технологии в животноводстве. – М.: Агропромиздат, 2022. (дата обращения: 01.03.2026).
4. Отчеты международной организации FAO по управлению сельскохозяйственными отходами URL: <https://www.fao.org/statistics/ru> (дата обращения: 02.03.2026).
5. Скруббер воздуха Приволжский завод газоочистного оборудования URL: https://gas-cleaning.ru/article/scrubber?utm_medium=organic&utm_source=google (дата обращения: 02.03.2026).

ОБОСНОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ КРС

Суворов Александр Васильевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
aleksandr.88005553535@gmail.com

Мурашка Устин Алексеевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
marashkaustin@gmail.com

Педяшов Иван Алексеевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
89135419368@mail.ru

Научный руководитель: Бастрон Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
bastron@yandex.ru

Аннотация. Интеграция систем вентиляции и освещения в единый комплекс позволяет не только оптимизировать микроклимат, но и значительно повысить эффективность использования оборудования. Для достижения максимальной продуктивности авторы рекомендуют размещать комбинированные устройства над кормовым столом и зонами отдыха, обеспечивать световой день продолжительностью 16–18 часов с интенсивностью не менее 200 люкс, а также использовать автоматику с классом защиты оборудования не ниже IP69K. Внедрение таких систем является перспективным направлением для создания высокотехнологичных животноводческих комплексов.

Ключевые слова: ферма КРС, микроклимат, разгонный вентилятор, освещение, освещенность, продуктивность КРС

Введение. Создание оптимальных микроклиматических условий в коровниках является важнейшим фактором реализации генетического потенциала молочной продуктивности. Невыполнение параметров микроклимата ведет к значительным производственным потерям: снижению удоев на 10–20 %, увеличению расхода кормов и росту заболеваемости поголовья [1–9]. Ключевыми дестабилизирующими факторами выступают тепловой стресс в летний период и недостаточная освещенность, влияющая на физиологический цикл животных.

Традиционно системы вентиляции и освещения рассматриваются и монтируются как независимые инженерные сети. Однако современные тенденции ресурсосбережения и автоматизации диктуют необходимость поиска интегрированных решений. Одним из таких перспективных направлений является совместное использование разгонных кольцевых вентиляторов со встроенными кольцевыми светодиодными светильниками. Целью данной работы является анализ эффективности такого симбиоза для повышения продуктивности молочного стада.

Влияние микроклимата и освещения на продуктивность коров. Продуктивность животных напрямую зависит от совокупности факторов среды обитания: температуры, влажности, скорости движения воздуха и светового режима. Тепловой стресс у коров наступает уже при превышении температурно-влажностного индекса (ТВИ) выше 68 единиц, что приводит к учащению дыхания, снижению потребления корма и падению удоев. Для борьбы с перегревом активно используются вентиляторы, обеспечивающие движение воздуха и конвекционное охлаждение животных.

Параллельно с этим, фотопериод (длина светового дня) является мощным управляющим сигналом для эндокринной системы крупного рогатого скота. Исследования

подтверждают, что увеличение светового дня до 16–18 часов в сутки с интенсивностью не менее 150–200 люкс способствует росту молочной продуктивности на 5–16%. Длинный световой день стимулирует потребление корма и повышает концентрацию гормонов, отвечающих за лактацию.

Таким образом, для максимальной реализации продуктивного потенциала необходимо одновременное воздействие двух факторов: достаточной скорости движения воздуха для снятия теплового стресса и оптимального светового потока для стимуляции метаболизма.

Конструктивные особенности и принцип работы интегрированной системы.

Традиционно в коровниках применяются два типа вентиляторов: осевые (разгонные) и потолочные (горизонтальные) [1-6]. Осевые вентиляторы создают направленные воздушные потоки, эффективно охлаждая животных в зоне их непосредственного нахождения [1-6]. Однако их установка требует подвода электроэнергии и создания отдельной осветительной магистрали, что увеличивает материалоемкость строительства и создает препятствия для воздушных масс (провода, кронштейны светильников).

Предлагаемое решение подразумевает монтаж светодиодного кольцевого светильника непосредственно на корпус осевого вентилятора такая интеграция дает ряд преимуществ.

Аэродинамическая оптимизация: кольцевая форма светильника, повторяющая геометрию корпуса вентилятора, не создает дополнительного сопротивления воздушному потоку и не снижает производительность вентилятора.

Синхронизация зон воздействия: световой поток и поток воздуха направлены в одну и ту же зону (зону кормового стола или отдыха животных). Это обеспечивает комплексное воздействие: вентилятор снимает тепловой стресс и осушает кожный покров, а яркий свет стимулирует кормовую активность.

Энергоэффективность и удобство монтажа: использование одного узла подключения для двух систем снижает затраты на кабельную продукцию и монтажные работы. Современные светодиодные светильники имеют низкое энергопотребление и высокий класс защиты (IP69K), что позволяет им выдерживать агрессивную среду коровника и регулярную мойку высоким давлением.

Влияние интегрированной системы на продуктивность.

Совместная работа разгонных кольцевых вентиляторов и кольцевых светильников создает синергетический эффект:

В жаркий период: вентилятор обеспечивает охлаждение за счет обдува, что критически важно для поддержания аппетита. Одновременная мощная светодиодная подсветка кормового стола в вечерние и ночные часы побуждает коров подходить к корму, компенсируя снижение потребления корма в дневную жару.

В переходные и зимние периоды: вентиляторы работают в режиме минимальной вентиляции, предотвращая застой воздуха и отсыревание подстилки. Освещение в это время работает по заданному фотопериоду, поддерживая высокий уровень лактации даже при коротком световом дне. Управление такой системой может быть полностью автоматизировано через контроллеры, реагирующие на датчики температуры, влажности и времени суток.

Экономическая эффективность от внедрения подобных решений подтверждается исследованиями. Замена устаревших систем освещения на светодиодные в комплексе с



Рисунок 1 - Прототип предлагаемого устройства

модернизацией вентиляции позволяет увеличить среднегодовую продуктивность коров на 7 - 8% и сократить себестоимость продукции, обеспечивая окупаемость капитальных вложений в течение 1,5–2 лет.

Заключение и рекомендации.

Интеграция систем активной вентиляции и освещения в единый комплекс с использованием кольцевых вентиляторов и встроенных в их корпус светодиодных светильников является перспективным направлением в проектировании животноводческих ферм. Такой подход позволяет не только снизить капитальные затраты на монтаж инженерных сетей, но и значительно повысить эффективность использования оборудования.

Для достижения максимальной продуктивности коров при использовании данной системы необходимо придерживаться следующих правил:

Расположение оборудования: устанавливать комбинированные вентиляторы-светильники преимущественно над кормовым столом и зонами отдыха, чтобы направить комплексное воздействие в ключевые точки активности животных.

Управление фотопериодом: устраивать систему автоматики на обеспечение 16-18 часового светового дня с интенсивностью не менее 200 люкс на уровне глаз животного и 6-8 часов темного периода для отдыха.

Автоматизация процессов: использовать программируемые контроллеры, которые регулируют скорость вращения вентиляторов в зависимости от температуры и влажности, а включение/выключение света – по астрономическому таймеру. Это позволит минимизировать влияние человеческого фактора.

Защита оборудования: Применять светильники с классом защиты не ниже IP69K для обеспечения надежной работы в условиях агрессивной среды и высоконапорной мойки.

Внедрение интегрированных систем вентиляции и освещения является важным шагом на пути к созданию высокотехнологичных и экономически эффективных животноводческих комплексов.

Список литературы

1. Кулашкин, С. В. Анализ существующих систем вентиляции в животноводческих помещениях / С. В. Кулашкин, С. О. Фатьянов // Вестник совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2017. №1 (4). С. 62–27.
2. Галактионов, Е. А. Системы вентиляции животноводческих помещений / Е. А. Галактионов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы IX межд. науч.-практ. конф. Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2018. С. 32–34.
3. Бодров В. И., Мовчанюк О. В. Энергоэффективность животноводческих зданий с естественной вентиляцией // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2006. №11 (59). С. 86–87.
4. Андрианов, Е. А. Организация вентиляции животноводческих помещений с использованием ресурсосберегающих технологий / Е. А. Андрианов, А. М. Андрианов, А. А. Андрианов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2014. №4 (43). С. 91–97.
5. Борисов, В. С. Организация естественной вентиляции в современных животноводческих фермах / В. С. Борисов, В. И. Борисов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвуз. сборник научных трудов. Саранск : НИ МГУ им. Н.П. Огарева, 2013. С. 104–108.
6. Власова Я. Как сохранить продуктивность дойных коров, защитив их от теплового стресса // Ветеринария и жизнь. 2024. [Электронный ресурс]. – URL: <https://vetandlife.ru/sobytiya/kak-sohranit-produktivnost-dojnyh-korov-zashhitiv-ih-ot-teplovogo-stressa/> (дата обращения: 03.03.2026).
7. Torres C. DairyBOS enables remote control of barn // Farm Progress. 2020. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.farmprogress.com/technology/dairybos-enables-remote-control-of-barn> (дата обращения: 03.03.2026).
8. Сергеева Н.В. Экономическое обоснование инновационных инженерных решений в животноводстве // Агроинженерия. 2021. №1. С. 63-68.
9. Innovations in Milking Parlor Design: How ACE's A-HE01 Series Linkable LED Lights Transform Dairy Efficiency // ACE LED Light. 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.acedlight.com/innovations-in-milking-parlor-design-how-aces-a-he01-series-linkable-led-lights-transform-dairy-efficiency/> (дата обращения: 03.03.2026).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЕ ПРИОРИТЕТА И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРИОРИТЕТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ НАГРУЗКИ (САПОН)

Сургутская Дарья Павловна, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

S9131898991@yandex.ru

Научный руководитель: Василенко Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

wasilenkoa@yandex.ru

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ двух систем для управления электропотреблением в частных домах. Рассматриваются принципы работы, технические моменты, экономическая выгода. Определяются эффективные методы использования.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, бесперебойность питания, предотвращение перегрузок, сравнение

Надежность электроснабжения- один из важных факторов комфортного проживания в частном доме, но мощность в частных домах ограниченная, для этого были придуманы системы позволяющие предотвратить перегрузку сети. Реле приоритета и САПОН решают одну задачу, но разными способами.

Рассмотрим принцип работы и структуру устройств:

Реле приоритета (РПН) контролирует общий ток на вводе, имеет встроенный измеритель тока (встроенный трансформатор тока), и исполнительный элемент (переключающий контакт) который коммутирует контакты при достижении порогового значения тока и с заданной выдержкой времени (время реакции 0,2-20с) [1]. Количество уровней приоритета всего 2 (приоритетная и неприоритетные группы) [3]. Приоритетная группа нагрузок будет находиться в работе постоянно, вторая и третья группа нагрузок отключится сразу при повышении порога (сначала третья потом вторая), по мере снижения нагрузки реле приоритета автоматически включит отключенную группу потребителей.

САПОН – это комплекс устройств с многоступенчатым управлением нагрузкой, состоящий из контролера, реле нагрузки, датчика тока, блока питания (время реакции ≤ 50 мс), Количество уровней приоритета до 10, можно задать гибкую очередность. Датчики непрерывно отслеживают значения тока, напряжения, потребляемую мощность, контролер сравнивает заданные параметры и полученные измерения, в случае если значения начинают превышать установленный лимит, происходит поэтапное отключение не приоритетных групп, после снижения нагрузки система автоматически подключает отключенные ранее группы поэтапно с задержкой времени [4].

В случае перегрузки обе системы работают, но САПОН сделает это плавно минимизируя неудобства.

Точность и чувствительность:

Реле приоритета имеет низкую погрешность измерения тока ($\pm 1-2\%$), максимальная нагрузка до шестидесяти трех ампер (примерно 14кВт)

САПОН обладает погрешностью $\pm 0,5-1\%$, нагрузка которую он выдерживает до ста ампер и выше (примерно 22 кВт)

Дополнительные функции:

Реле приоритета: отключение или включение по току

САПОН: можно настроить удаленное управление системы через Wi-Fi, совместим с системой «умный дом».

Плюсы систем:

Реле приоритета прост в установке, по сложности примерно, как монтаж обычного контактора. Ему не понадобятся дополнительные элементы, что упрощает работу и экономит расходы. Устройство полностью автономно и не требует человеческого вмешательства для работы, настройка сводится к выставлению порогового значения тока и подключению групп нагрузки. Универсально в использовании, подходит не только для частных домов, но также других видов построек. Механические контакты рассчитаны на тысячи циклов включения и выключения, что позволяет увеличить работоспособность на долгие годы (срок службы 10-15 лет). Совместимо с существующей проводкой, легко интегрируется в щиток с автоматическими выключателями, может работать с УЗО или дифференциальными автоматами, не требует замены кабелей или модернизации вводного устройства. Гибкость конфигурации, может поддерживать как однофазные, так и трехфазные сети. Позволяет использовать мощные приборы в условиях ограниченной мощности, оптимизирует нагрузку, снижая потери [4].

САПОН имеет до десяти уровней приоритета, что позволяет сделать гибкую настройку уровней: от критически важных до наименее значимых, позволяет задать временные интервалы отключения для отдельных групп (отключение нагрузки в пиковые часы). Мгновенно реагирует на перегрузку, игнорируя короткие скачки, только на устойчивую, предотвращая ложные срабатывания. Проводит измерения не только тока, но и напряжения, мощности, частоту сети, анализируя статистику потребления прогнозирует возможные сбои. Автоматически подключает отключенные группы с задержкой времени, чтобы избежать повторного скачка. Возможность ручной корректировки приоритетов и установок в реальном времени. Удаленное управление и мониторинг [5].

Минусы систем:

У РПН всего два уровня приоритета, что не позволяет сделать промежуточные уровни. При отключении выключается вся группа разом, даже если достаточно отключить только один мощный прибор. Из-за задержки срабатывания, может не успеть сработать при реальной перегрузке сети, а также слишком маленькая задержка может привести к ложным срабатываниям (при запуске двигателей, например). Имеет фиксированные настройки. Если ток превышает возможности реле может потребоваться дополнительный контактор, что увеличивает стоимость и усложняет систему монтажа. Не совместима с системами умного дома, без дополнительных модулей, в связи с чем отсутствует удаленное управление. Контакты могут подгорать при частых коммутациях мощных нагрузок (бойлер, электродуховка). Максимальная нагрузка ограничена, не учитывает динамику нагрузки, реагирует только на мгновенное превышение тока. Автоматическое включение всей неприоритетной группы сразу, после снижения тока, может вызвать новый скачок нагрузки. Подходит только для простых сетей с небольшим числом потребителей. [4]

Система автоматического приоритетного отключения нагрузки стоит в 4 раза дороже реле приоритета и может потребовать дополнительных затрат на элементы установки. Сложность монтажа и настройки, требует профессионального проектирования системы электроснабжения и настройки контролера (программирование алгоритмов, установок, временных задержек). Чувствительность к перепадам напряжения и электромагнитным помехам, риск сбоя из-за ошибок в программном обеспечении. Требуется регулярного обслуживания, контроль состояния контактов и соединений, обновление ПО и резервное копирование настроек. Сложна в ремонте, стоимость замены датчиков стоит довольно дорого, а запчасти для некоторых моделей сложно найти, можно только заказать, что потребует дополнительного времени ожидания. При использовании удаленного управления может происходить задержка передачи команд, что может привести к несвоевременному отключению нагрузки или перегрузке сети. Система большая по размерам, поэтому усложняет модернизацию существующих щитов с ограниченным пространством. Ограниченная совместимость с устаревшим оборудованием, проблемы интеграции с электромеханическими щитами. Риск кибератак (для систем с удаленным управлением),

необходимо устанавливать защиту (пароли, шифрование). Длительный срок окупаемости, поэтому для небольших объектов с простой нагрузкой инвестиции могут быть просто не целесообразны [5].

Сравнив две системы можно понять, что оба варианта рабочие, и реле приоритета и САПОН, выполняют свои рабочие функции и предотвращают перегрузки в сети. РПН можно выбрать для простых, не сложных систем, при ограниченном бюджете, обеспечив бесперебойную работу для важных потребителей без сложных настроек. Систему автоматического приоритетного отключения нагрузки стоит устанавливать, когда имеется сложная энергосистема, требующая максимальной надежности. Удаленное управление обеспечит контроль потребителей в реальном времени минимизируя риски перегрузок и аварийных ситуаций.

Список литературы

1. Ланге Ф.Д., Поляков А.А. Автоматизация управления нагрузкой в жилых домах // Электротехника. 2023. №3. С. 45–49.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 7-е изд.
3. Schneider Electric White Paper: Smart Load Control. 2022.
4. Комплекс САОН на базе УПАЭ .Статья.[Электронный ресурс] URI: <https://prosoftsystems.ru/solution/show/kompleks-saon-na-baze-upaje> (дата обращения 04.03.2026г.)
5. Виды управляющих воздействий ПА. Сайт. [Электронный ресурс] URI: (дата обращения 04.03.2026г.) <https://www.so-ups.ru/functioning/tech-base/rza/rza-means/rza-actions/#c23485>

РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ БЕСКОНТАКТНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Шакалов Сергей Сергеевич, студент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
sergeyshakalov@yandex.ru

Научный руководитель: Грибанов Алексей Александрович, кандидат технических наук,
доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
gribanova@altgtu.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу современных методов технической диагностики воздушных линий электропередачи. Особое внимание уделено беспилотным и автоматизированным технологиям, таким как диагностика с использованием БПЛА, оснащенных камерами видимого, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов, лидарным сканированием, а также системам онлайн-мониторинга параметров линии. Рассмотрен опыт сотрудничества ученых Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова и АО «Сетевая компания Алтайкрайэнерго» в области автоматизации диагностики электросетевых объектов.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, техническая диагностика, БПЛА, распознавание образов

Современная электрификация агропромышленного комплекса немыслима без надежно функционирующей системы электроснабжения сельскохозяйственных предприятий. Для транспортирования электрической энергии от электростанций к потребителям используется разветвленная сеть воздушных линий электропередачи. Поддержание воздушных линий электропередачи в работоспособном состоянии является важной задачей. Одной из технологий, которая используется для решения этой задачи, является диагностика элементов электросетевых объектов.

Основной технологией сбора информации о текущем состоянии элементов линий электропередач (опор, их фундаментов и приставок, изоляторов, проводов и тросов, заземления), а также общего состояния просек, является организация и проведение дневных и ночных обходов трасс линий электромонтерами, которые выполняются по утвержденному графику. Данная технология считается в настоящее время устаревшей, но из нормативных документов не удалена. Для получения более подробной информации используется визуальный осмотр указанных выше элементов линий электропередачи с подъемом на опору. Данный метод также считается не только устаревшим, но и представляющим опасность для персонала, так как во время осмотра элементов опор возможно приближение к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на расстояние, менее допустимого. Поэтому в настоящее время электросетевые компании активно ведут поиск путей устранения всех недостатков указанных первичных методов диагностики воздушных линий электропередачи.

Сотрудничество между Алтайским государственным техническим университетом им. И.И. Ползунова и АО «Сетевая компания Алтайкрайэнерго» по разработке перспективных технологий сбора и обработки информации о состоянии элементов электросетевых объектов продолжается уже несколько лет. В первую очередь для визуального осмотра объектов стали использоваться беспилотные летательные аппараты [1-3]. За счет этого удалось сократить время осмотра. При этом стало вестись документирование состояния элементов посредством фотографирования с различных высот и с разных ракурсов. На этом этапе выявление дефектов осуществлялось путем просмотра фотографий специалистом-диагностом [4]. Поэтому актуальной стала задача автоматизации распознавания дефектов.

В АО «Сетевая компания Алтайкрайэнерго» организация эксплуатации и ремонта электроустановок осуществляется посредством программного комплекса «Система автоматизации производственно-технических процессов энергетических компаний», модуль «Обслуживание и ремонт энергетического оборудования» (САБПЭК ОРЭО). Модуль ОРЭО включает в себя следующий функционал:

- инвентаризация (внесение координат энергообъектов, фотофиксация всех объектов энергосистемы, учет инвентарных номеров на объектах схемы сети, возможность отображения энергообъектов на ГИС, ведение цифровых двойников объектов энергосети);

- паспортизация оборудования (ведение нормативно-справочной информации об объектах энергосети, энергооборудовании; учет единиц оборудования и материалов, отражение в программном комплексе информации об изменении параметров и характеристик оборудования, занесение электронной базы паспортов и сопутствующей документации; автоматическое отслеживание изменений в объекте и информирование для подписания паспорта, ведение цифровых двойников объектов энергосети и энергооборудования);

- геоинформационная система (ГИС) (информация по объектам схемы сети на карте, разные источники карт (географическая, спутник, офлайн карта), фото объектов, детализация по объекту (характеристики, материалы, оборудование, дефекты, подключенные абоненты и т.д.); позиционирование карты по адресу, подсветка объектов по уровням напряжения, измерение расстояний между объектами, группировка однотипных объектов с изменением масштаба, динамическая загрузка объектов и отображение их на активном участке карты);

- дефектоскопия (оцифровка дефектов, обследование оборудования и выявление отклонений; фиксация результатов осмотра в мобильном приложении, актуальная база данных дефектов и плановых мероприятий, позволяющая детально отслеживать и фиксировать текущее состояние объекта, фотофиксация всех дефектов, хранение полной истории событий по объекту (проведенные осмотры, выявленные дефекты), осмотры посредством БПЛА как альтернатива верховым осмотрам).

Рассмотрим теперь изменения, внесенные в последний раздел функционала с участием ученых Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Для автоматизации процессов распознавания дефектов на начальном этапе специалистами лаборатории информационных технологий и беспилотных летательных аппаратов была выполнена большая работа по 3D-сканированию дефектов на представленных АО «Сетевая компания Алтайкрайэнерго» образцах оборудования с различными дефектами. Создание и обработка 3D-изображений потребовала наличие колоссальных вычислительных ресурсов, которыми обладает лаборатория. Но почти сразу встала проблема адаптации решения задачи распознавания дефектов на обычных компьютерах, которыми оснащены рабочие места работников компании. Поэтому были разработаны алгоритмы обработки изображений, которые позволили проводить идентификацию дефектов по фотографиям с существенным сокращением потребности в вычислительных ресурсах.

Кроме этого, помимо распознавания дефектов элементов воздушных линий электропередачи в видимом спектре ведутся работы по использованию хорошо зарекомендовавших себя методов инфракрасной и ультрафиолетовой диагностики, сканирования с использованием лазерных сканеров протяженных электросетевых объектов в сельской местности.

Современные методы диагностирования ВЛ, такие как мультиспектральная съемка с БПЛА, лидарное сканирование и распределенный онлайн-мониторинг, позволяют перейти от субъективных визуальных оценок к количественному, объективному и непрерывному контролю состояния сетевой инфраструктуры [5]. Их комплексное применение минимизирует риски внезапных отказов, оптимизирует затраты на техническое обслуживание и ремонты, а также создает основу для безопасного повышения пропускной способности существующих линий. Дальнейшее развитие связано с глубокой

автоматизацией обработки данных (computer vision, AI), миниатюризацией датчиков и созданием полнофункциональных отказоустойчивых «цифровых двойников» для управления сетями в режиме реального времени.

Список литературы

1. IEEE Guide for Visual Inspection of Overhead Transmission and Distribution Lines. IEEE Std 1782-2014.
2. Федотов А.С., Козлов В.Н. Диагностика воздушных линий электропередачи с использованием беспилотных летательных аппаратов // Электрические станции. – 2021. – № 5. – С. 45-52.
3. Li, J., et al. "Application of LiDAR Technology for Power Line Inspection and Vegetation Management." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 112, 2019, pp. 110-125.
4. Кузнецов П.И. Системы онлайн-мониторинга в электроэнергетике: от сбора данных к предиктивной аналитике. – М.: Энергоатомиздат, 2020. – 288 с.
5. CIGRE Technical Brochure 833 "Guide for the Application of Data Mining and Analytics in Transmission Asset Management". 2020.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ В АПК (ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПО)

УДК 635.015

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫРАЩИВАНИЯ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОПОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Базыр Эльвира Айдыновна, студентка

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
elvirabazyr544@gmail.com

Научный руководитель: Заплетина Анна Владимировна, кандидат технических наук, доцент
Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
anna-zapletina@yandex.ru

Аннотация. В статье проводится системный анализ беспочвенных методов растениеводства (гидропоники) как технологической основы для создания управляемых агроценозов. Рассматриваются основные типы гидропонных установок, их функциональные принципы, достоинства и ограничения. Особое внимание уделяется критическим факторам среды, определяющим успешность применения метода: параметрам питательного раствора (рН, электропроводность, кислородный режим) и микроклимата. На основе сравнительного анализа сформулированы практические рекомендации по выбору системы для различных исследовательских и прикладных задач.

Ключевые слова: гидропоника, питательный раствор, хемостат, корневая среда, аэропоника, NFT, рН, электропроводность, управляемое земледелие

Введение: Классическое почвенное земледелие сталкивается с рядом системных ограничений: неоднородностью субстрата, сложностью контроля питания и высокими рисками патогенной нагрузки. В этой связи методы гидропоники – культивирования растений на искусственных средах с подачей всех нутриентов через раствор – представляют собой переход от эмпирического земледелия к точным технологиям с управляемыми параметрами [1,2]. Сущность метода заключается не просто в замене почвы водой, а в создании динамического хемостата для корневой системы, где каждый параметр (концентрация ионов, рН, температура, кислород) может быть подвергнут точной дозировке и регуляции [1]. Целью данной работы является сравнительный анализ конструктивных и функциональных особенностей основных гидропонных систем и выявление ключевых параметров, лимитирующих продуктивность искусственных агроценозов.

Все гидропонные установки могут быть классифицированы по принципу взаимодействия корневой системы с питательным раствором и степени использования внешней энергии.

Наиболее простая модель – фитильная (капиллярная) система (рис. 1). В ней транспортом питательных веществ от резервуара к корням занимают силы поверхностного натяжения, действующие в пористом фитиле. Несмотря на энергонезависимость и простоту, система обладает фундаментальным ограничением –



Рисунок 1 – Принцип работы фитильной системы [1]

низкой скоростью массопереноса, что делает ее пригодной лишь для малообъемных культур с низкой транспирацией (например, салаты, микрозелень). Эффективность таких систем резко падает при увеличении биомассы растения и температуры окружающей среды, что связано с отставанием подачи воды от темпов испарения.

Глубоководная культура (DWC): В данной системе корневая система погружена в объем аэрируемого раствора. Ее эффективность напрямую зависит от концентрации растворенного кислорода, поддерживаемой аквариумными компрессорами. Главное технологическое преимущество DWC – постоянный и неограниченный доступ корней к воде и нутриентам. Однако это же создает и уязвимость: при отказе аэрации или росте температуры раствора выше +25°C происходит быстрое развитие анаэробных условий и гибель корней от гипоксии [1]. Модификация системы (RDWC) с объединением нескольких емкостей в единый контур рециркуляции повышает стабильность параметров раствора в установках большого объема (рис. 2А).

Техника питательного слоя (NFT): В NFT принципиально иной подход: корни располагаются не в объеме, а на поверхности тонкой (1-3 мм) пленки проточного раствора. Большая часть корневой массы находится в насыщенном влагой воздушном пространстве, что обеспечивает превосходный газообмен. Как подчеркивает [2], NFT – это система, оптимизированная под дыхание корней, а не просто под их питание. Ее основной риск – технологическая зависимость: остановка потока из-за сбоя насоса или засорения канала приводит к высыханию корней за считанные часы (рис. 2В).

Система периодического затопления (Ebb & Flow): Данная система реализует циклический принцип: корневая зона, заполненная инертным субстратом, периодически затопляется раствором, который затем самотеком сливается. Каждый цикл представляет собой последовательность двух фаз: насыщение (доступ к воде и ионам) и дренаж (доступ к кислороду воздуха). Частота и длительность циклов становятся ключевыми управляющими параметрами, которые необходимо подбирать в зависимости от влагоемкости субстрата, размера растений и внешних условий [3] (рис. 2С).

Капельный полив (Drip System): Являясь промышленным стандартом, эта система обеспечивает точную локальную подачу раствора к основанию каждого растения. Ее главное конструктивное различие – судьба дренажного раствора. В рециркуляционных схемах излишки возвращаются в резервуар, повышая эффективность использования воды и удобрений. В схемах «дренаж в отход» (run-to-waste) излишки не собираются, что увеличивает расход ресурсов, но кардинально снижает риск перекрестного распространения корневых патогенов по всей системе [1].

Аэропонику можно рассматривать как предельное развитие идеи NFT, где жидкая фаза практически устранена. Корни, висящие в замкнутом темном пространстве, орошаются



А - Глубоководная культура (DWC) принудительной аэрацией



В - Техника питательного слоя (NFT)



С - Система периодического затопления (Ebb&Flow)

Рисунок 2 – Схемы рециркуляционных гидропонных систем [1]

взвесью мелкодисперсного аэрозоля. Это обеспечивает максимально возможную площадь контакта раствора с тканью корня и почти идеальный газообмен. Однако, по меткому замечанию [2], «аэропоника – это система, работающая на грани технологического срыва». Засорение форсунок, изменение дисперсности капель или кратковременный отказ насоса неминуемо ведет к стрессу и потере урожая, что требует высочайшей надежности всех компонентов.

Успех гидропонной культуры определяется не столько типом установки, сколько точностью поддержанием узкого диапазона ключевых параметров:

Питательный раствор должен иметь pH (5.5–6.5). Данный параметр является главным регулятором биодоступности ионов. Сдвиг pH за пределы оптимального диапазона приводит к образованию нерастворимых соединений, блокирующих поступление критических микроэлементов (особенно железа, марганца, бора), что проявляется в виде хлорозов даже при их достаточной общей концентрации в растворе [1].

Электропроводность (ЕС) является интегральным показателем общей концентрации солей. Работа в режиме избыточной ЕС вызывает осмотический стресс, затрудняя поглощение воды, в то время как недостаточная ЕС лимитирует рост из-за дефицита элементов. Для каждой культуры и стадии развития (вегетация, генерация) существует специфическая оптимальная кривая ЕС.

Температура раствора варьируется в пределах (+18...+22 °C). Этот параметр обладает двойным влиянием. Во-первых, он определяет кинетику биохимических процессов в корне. Во-вторых, от него напрямую зависит растворимость кислорода (константа Генри). Превышение порога в +25°C при высокой биологической нагрузке – наиболее частая причина всплеск анаэробных заболеваний (питиум, фузариоз). Превышение порога +25°C критически снижает концентрацию O₂, создавая предпосылки для развития корневых гнилей (рис. 3).

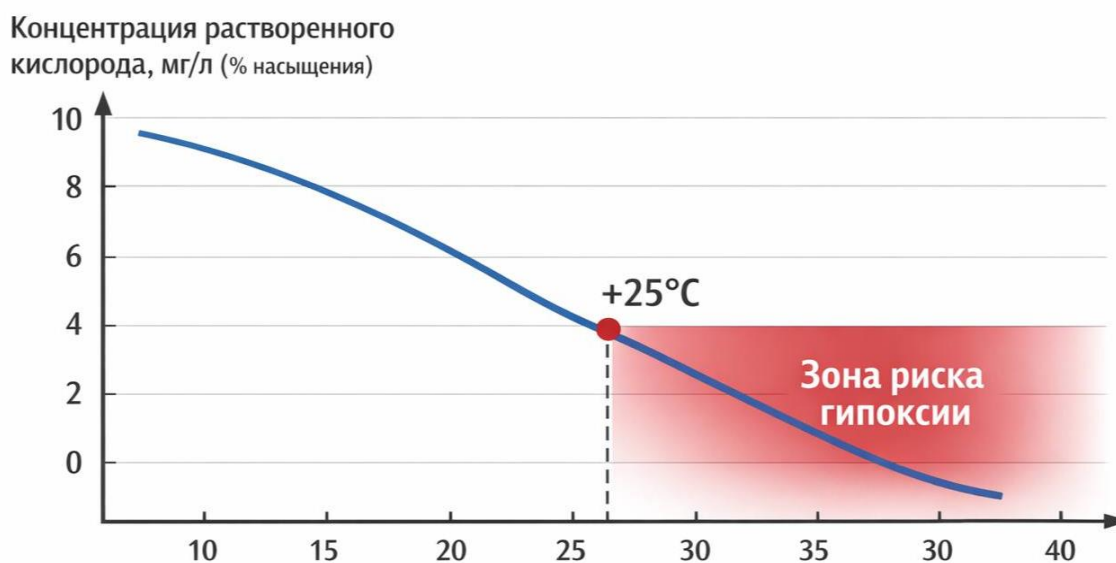


Рисунок 3 -Влияние температуры питательного раствора на содержание растворенного кислорода [1]

Подача кислорода к корням – не вспомогательная, а центральная задача конструкции любой активной системы. Гипоксия корней является основным лимитирующим фактором продуктивности в переуплотненных или переувлажненных системах (например, при сбоях в DWC или Ebb & Flow).

Гидропонная система функционирует как единый организм. Влажность воздуха (40-60 %) контролирует транспирацию и, следовательно, потребление растением раствора. Температура воздуха и интенсивность фотосинтезически активной радиации (PAR) задают

скорость метаболизма, что требует синхронной корректировки концентрации питательного раствора и режима полива.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы: Выбор гидропонной системы должен основываться на приоритете управляемого параметра. Для исследований, связанных с корневым дыханием и минеральным питанием, оптимальны NFT или aeroponika. Для устойчивого выращивания крупноплодных культур (томат, огурец) в прикладных целях предпочтительны капельные системы или RDWC.

Наиболее сбалансированной для стартового освоения технологии представляется система периодического затопления (Ebb & Flow). Она сочетает относительную техническую простоту, устойчивость к кратковременным сбоям и широкую адаптируемость к разным типам растений за счет вариативности субстратов.

Ключом к технологическому успеху является не сложность установки, а бесперебойность контроля за триадой «рН – ЕС – температура раствора». Инвестиции в надежные измерительные приборы и систему аэрации являются первоочередными.

Гидропоника демонстрирует максимальную эффективность в контролируемых условиях защищенного грунта, где все параметры микроклимата могут быть скоординированы с работой корневой системы, реализуя принцип прецизионного растениеводства.

Список литературы

1. Jones, J.B. Jr. Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower / J.B. Jr. Jones. – 2nd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2016. – 440 p.
2. Resh, H.M. Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower / H.M. Resh. – 7th ed. – Boca Raton: CRC Press, 2018. – 528 p.
3. Texier, W. Hydroponie: Maîtrisez la technique / W. Texier. – 3ème éd. – Paris: Mama Editions, 2013. – 320 p.

ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЭУ ДЛЯ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ АПК

Грейдин Вячеслав Сергеевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

slavagreydin1402@gmail.com

Грейдин Семен Сергеевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

slavagreydin1402@gmail.com

Научный руководитель: Дебрин Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

debrin.as@yandex.ru

Аннотация. В центральных и южных районах Красноярского края преобладает потенциал ветровой энергии со скоростями ветра 3-5 м/с. В северных районах средняя скорость ветра составляет более 7 м/с, что подходит для работы ВЭУ малой и средней мощности. Большинство удаленных объектов АПК находятся в южных и северных районах. Произведен расчет системы энергообеспечения от ВЭУ для южных и северных районов. Произведен расчет и построен график ветроэнергетического потенциала на примере г. Ачинска. Себестоимость производства электрической энергии на ВЭУ при средней годовой скорости ветра составляет 10,39 руб/(кВт·ч). Это значение соизмеримо с тарифом на электрическую энергию от централизованного электроснабжения или дизель-электростанций.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, электроснабжение, энергообеспечение объектов АПК

Согласно проекту Энергетической стратегии России, на период до 2035 года одним из направлений является использование нетрадиционных источников энергии, в том числе ветроэнергетических установок (ВЭУ).

Согласно схеме территориального планирования размещения объектов федерального значения в области энергетики планируется введение 1030 МВт мощностей ВЭУ к 2025 году, а к 2030 году – 6060 МВт. В мире же было введено 51,3 ГВт только за один 2018 год [1-3].

Россия обладает значительными ветровыми ресурсами: общий экономический потенциал ветровой энергии, определенный для современных экономических условий, составляет около 70 ТВт·ч в год, то есть около 30% производства электроэнергии всеми электростанциями России.



Рисунок 1 – Технический ветропотенциал субъектов России в млрд. кВт·ч

Ветровые ресурсы на территории страны распределены достаточно неравномерно, так примерно 30% экономического потенциала ветроэнергетики сосредоточено на Дальнем Востоке, 14% – в Северном экономическом районе, около 16% – в Западной и Восточной Сибири.

Примерно 30% экономического потенциала ветроэнергетики сосредоточено на Дальнем Востоке, 14% – в Северном экономическом районе, около 16% – в Западной и Восточной Сибири [4-6].

Технический потенциал ветроэнергетических ресурсов Российской Федерации составляет порядка 1637 ГВт, что примерно в 15 раз больше реальной среднегодовой мощности всех электростанций России [7].

Важным фактором, о котором не следует забывать, является возвышение. Чем выше над уровнем моря установлен ветряной генератор, тем ниже плотность воздуха. Выходная мощность прямо пропорциональна плотности воздуха. Ниже приводятся несколько численных значений, которые следует помнить при определении максимальной выходной мощности, которой можно ожидать от ветротурбины.

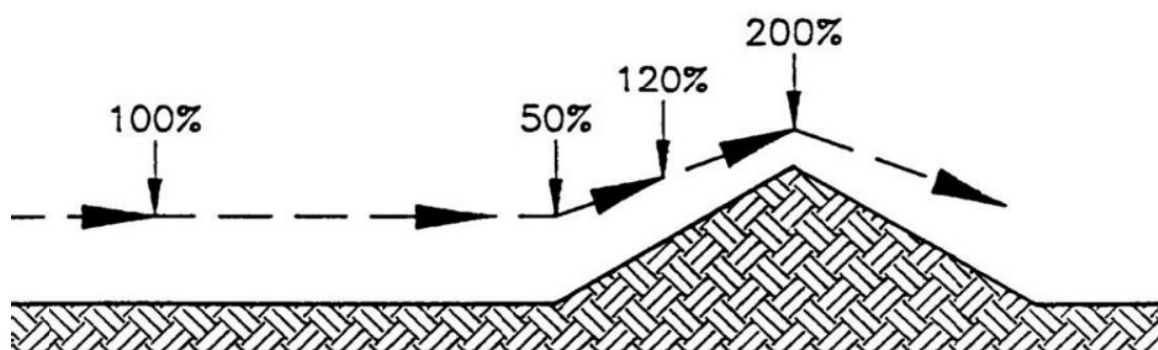


Рисунок 2 – Плотность ветрового потока, %. 0-150 м – 100%; 150-300 м – 97%; 300-600 м – 94%; 600-900 м – 91%; 900-1200 м – 88%; 1200-1500 м – 85%; 1500-1800 м – 82%; 1800-2100 м – 79%; 2100-2400 м – 76%; 2400-2700 – 73%; 2700-3000 – 70%

Гипотетическая суммарная выработка при этом могла бы составить 14 342 ТВт·ч/год.

Для оценки использования ВЭУ приведем классификацию ВЭУ и их основных параметров, представленных в таблице 1.

Таблица 1 - Классификация ВЭУ и их основные параметры

Класс ВЭУ	Диапазон мощностей, кВт		Диапазон диаметров ветроколеса, м		Диапазон вращения ветроколеса, об/мин	
	min	max	min	max	min	max
Очень малые	0,025	1	0,5	2,5	2000	500
	1,5	10	3,0	9,0	500	200
Малые	20	60	10	15	140	92
	75	150	18	24	60	40
Средние	200	300	26	30	40	40
	400	500	35	40	35	30
Большие	600	750	43	48	30	30
	900	1300	50	64	32	20
Очень большие	1500	3000	70	90	20	15
	4000	5000	105	124	15	13

Мощность ВЭУ, Вт, определяют по следующему выражению:

$$N_{ВЭУ}(v_{H_6}(t)) = 0,5\rho F_{ВК} v_{H_6}(t)^3 \eta_{ВЭУ}(v_{H_6}(t)) \quad (1)$$

где ρ - плотность воздуха, (при нормальных условиях $\rho_0=1,226 \text{ кг/м}^3$);

$F_{ВК}$ - площадь поперечного сечения воздушного потока, приходящего на ВК (ометаемая площадь), м^2 ;

$v_{H_0}(t)$ - скорость воздушного потока на высоте башни ВЭУ в момент времени t , м/с;

$\eta_{\text{ВЭУ}}(v_{H_0}(t))$ - КПД ВЭУ при данной скорости ветра $v_{H_0}(t)$

Методика определения скоростей ветра для разной высоты над уровнем земли базируется на наиболее достоверной и распространенной модели поведения скорости ветра при изменении высоты над поверхностью земли:

$$\bar{v}_1(h_1) = K_p \bar{v}_0(h_0) (h_1/h_0)^m \quad (2)$$

где \bar{v}_0 - скорость ветра, измеренная вблизи земной поверхности на высоте h_0 ;

\bar{v}_1 - искомая скорость ветра на высоте h_1 ;

m - показатель степени;

K_p - коэффициент, учитывающий рельеф местности:

$$K_p = K_A / K_{MC} \quad (3)$$

где K_A - фактический класс (степень) открытости местности в точке A в баллах масштаба открытости;

K_{MC} - класс открытости опорной метеостанции.

Таблица 2 - Получение электроэнергии от ветроэнергетической установки по месяцам при различных скоростях ветра в условиях г. Ачинск

	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20	Итого
1	0	43	168	281	442	195	242	47	109	39	1567
2	0	41	154	308	357	120	233	64	120	14	1411
3	0	46	206	328	455	164	250	78	156	62	1747
4	0	46	209	311	480	151	272	68	113	53	1703
5	0	50	224	345	429	156	281	94	141	55	1774
6	0	56	210	298	246	91	113	23	45	2	1084
7	0	58	198	164	161	39	47	8	8	4	686
8	0	57	181	268	154	31	70	8	16	16	800
9	0	53	210	373	272	68	83	15	23	2	1099
10	0	45	249	412	502	156	203	78	141	55	1841
11	0	41	219	318	505	212	257	60	144	60	1816
12	0	43	203	305	482	164	250	78	94	78	1697
год	0	578	2430	3710	4485	1548	2302	620	1109	441	17223

Анализируя ветровой потенциал Красноярского края можно сделать вывод, что на территории региона преобладает потенциал ветровой энергии со скоростями ветра 3-5 м/с в центральных и южных районах, а в северных районах Красноярского края средняя скорость ветра составляет более 7 м/с, что достаточно для полноценной работы ветроэнергетической установки малой и средней мощности.

Установленная мощность электрооборудования в фермерских хозяйствах в зависимости от объемов производства колеблется на фермах: молочного направления – от 8 до 13 кВт; по откорму КРС – 5–6 кВт; свиноводческих – от 12 до 19 кВт.

Наибольшая потребляемая мощность присуща свиноводческим хозяйствам. Она характеризуется двумя максимумами электрической нагрузки: утренним – примерно с 7 до 9 ч и вечерним – с 16 до 8 ч.

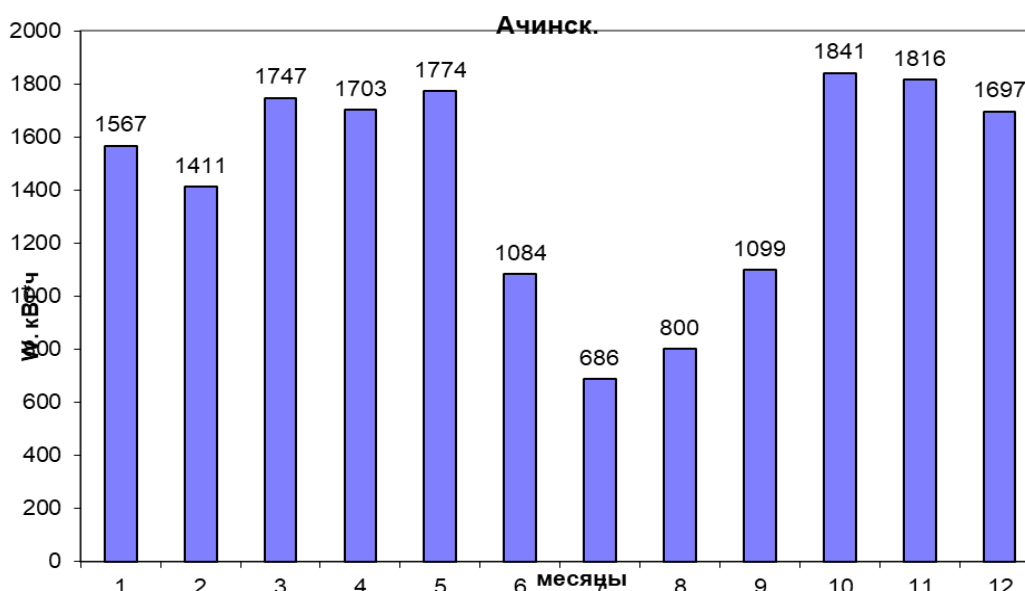


Рисунок 3 – График выработки электроэнергии ВЭУ за год в условиях г. Ачинск

Фермерские хозяйства молочного направления и по откорму КРС характеризуются более равномерной нагрузкой. Потребляемая мощность в них может изменяться от 0,3 до 6,2 кВт для молочных ферм и от 0,3 до 2 кВт для ферм по откорму КРС.

В связи с тем, что большинство удаленных от централизованного электроснабжения объектов АПК находятся в южных либо в северных районах Красноярского края (например: кочевые пасечные хозяйства, пункты по сбору и переработки дикоросов; рыбные хозяйства; оленеводческие хозяйства), произвели расчет системы энергообеспечения от ВЭУ для южных и северных районов Красноярского края. Кроме этого, для определения ветроэнергетического потенциала в центральных районах региона, произвели расчет и построили график ветроэнергетического потенциала на примере г. Ачинска.

Расчеты показали, что себестоимость производства электрической энергии на ВЭУ при средней годовой скорости ветра составляет 10,39 руб/кВт·ч. данное значение соизмеримо с тарифом на электрическую энергию, полученную от централизованного электроснабжения, либо от дизель-электростанций.

Список литературы

1. Безруких, П.П. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология. – М.: Колос, 2018. – 196 с.
2. Старшикова, Ю.Н. Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 г. [Текст] / Ю.Н. Старшикова; пер. с англ. под. общ. ред. Ю.Н. Старшикова. – М.: Энергия, 2010. – 256 с.
3. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Проблемы и перспективы [Текст] / С.Н. Доброхотов: информ. аналит. журн. «Теплоэнергетика», 2016. - №5. – 2-9 с.
4. Алексеенко, В.А. Эффективность применения вертикально-осевой двухроторной ветроэнергетической установки на объектах АПК // Известия СПбГАУ. 2023. №3 (72).
5. Басуматорова, Е. А. Применение электрического ветра в технологических процессах агропромышленного комплекса / Е. А. Басуматорова, Л. Н. Андреев, А. К. Пейль // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15, № 6.
6. Исаков, Р. А. Ветроэнергетические установки и их недостатки / Р. А. Исаков // Будущее в настоящем: Сборник научных трудов молодых ученых по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Ставрополь, 30 ноября 2018 года. – Ставрополь: Студенческое инженерное общество «ESL», 2018. – С. 97-100. – EDN TCMHGR.
7. Лимонов, Л. Ветроэнергетические установки с безредукторным приводом генератора / Л. Лимонов, Ю. Соколовский // Economic aspects of industrial development in the transition to a digital economy: Сборник статей по материалам международной научно-

практической конференции, Уфа, 28 декабря 2019 года. – Уфа: Вестник науки, 2019. – С. 45-52. – EDN WGBKUI.

8. Аверьянова, Ю. А. Анализ современных тенденций в дизайне и производстве ветрогенераторов, включая вертикальные ветроэнергетические установки и прогнозирование энергетической производительности / Ю. А. Аверьянова, А. Н. Богданова // Актуальные вопросы и современные тенденции развития электроэнергетики и электротехники : сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции, посвященной 60-летию образованию Электротехнического факультета ВятГУ, Киров, 13 сентября 2023 года. – Киров: Вятский государственный университет, 2023. – С. 24-27. – EDN TPQSDG.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭУ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АПК

Грейдин Вячеслав Сергеевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
slavagreydin1402@gmail.com

Грейдин Семен Сергеевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
slavagreydin1402@gmail.com

Научный руководитель: Дебрин Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент
Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
debrin.as@yandex.ru

Аннотация. В связи с тем, что большинство удаленных от централизованного электроснабжения объектов АПК находятся в южных либо в северных районах Красноярского края (например: кочевые пасечные хозяйства, пункты по сбору и переработки дикоросов; рыбные хозяйства; оленеводческие хозяйства), провели технико-экономическое обоснование использования ВЭУ для энергообеспечения данных объектов. Расчеты показали, что себестоимость производства электрической энергии на ВЭУ при средней годовой скорости ветра составляет 10,39 руб/кВт·ч. данное значение соизмеримо с тарифом на электрическую энергию, полученную от централизованного электроснабжения, либо от дизель-электростанций.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, электроснабжение, энергообеспечение объектов АПК

Экономические предпосылки применения ветроэнергетических установок ВЭУ в АПК Красноярского края связаны с рядом факторов, включая высокую стоимость традиционных источников энергии, потенциал снижения затрат, региональные особенности и стратегические цели развития энергетики.

В удаленных районах Красноярского края, где централизованное электроснабжение отсутствует или неэффективно, основным источником энергии являются дизельные электростанции. Себестоимость электроэнергии, вырабатываемой таким способом, может превышать 40 рублей за кВт·ч, что делает ее крайне дорогой для потребителей.

ВЭУ могут существенно снизить эти затраты, особенно в районах с благоприятными ветровыми условиями.

Например, в северных районах Красноярского края внедрение ВЭУ позволило бы снизить расход дизельного топлива на 707,04 тонн в год и сэкономить 53,02 млн рублей. Срок окупаемости такой установки составил бы около 1,55 лет, а после этого себестоимость электроэнергии снизилась бы до 4,03 рублей за кВт·ч [23].

Ветроэнергетика позволяет экономить до 50% органического топлива на дизельных/бензиновых электростанциях. Это особенно актуально для сельскохозяйственных предприятий в удаленных районах, где логистика доставки топлива значительно увеличивает его стоимость.

Кроме того, ВЭУ могут быть эффективны в качестве дополнительного источника энергии в комбинированных системах (например, ветродизельные установки), что повышает надежность энергоснабжения и снижает зависимость от нестабильности ветра.

К еще одному фактору, влияющему на развитие ВЭУ является региональные особенности Красноярского края:

- Неравномерное распределение энергоресурсов: около 80% территории края не подключено к централизованной энергосистеме, особенно в северных районах с малой плотностью населения. ВЭУ могут стать решением для энергообеспечения этих территорий;

- Ветровые ресурсы: Северные района Красноярского края обладают высоким ветроэнергетическим потенциалом со скоростями ветра более 5 м/с на уровне флюгера. В других районах края также есть локальные участки, где установка ВЭУ может быть целесообразной.

- Износ существующей инфраструктуры: в энергоизолированных территориях износ энергетических объектов достигает 70%, что требует модернизации. Ветроэнергетика может стать частью этой модернизации.

Развитие возобновляемых источников энергии, включая ветроэнергетику, соответствует стратегическим целям России по снижению зависимости от ископаемого топлива и повышению энергоэффективности.

В Красноярском крае планируется создание долгосрочного плана по развитию альтернативной энергетики, что может включать поддержку проектов в АПК:

- Снижение экологического воздействия: ВЭУ не производят выбросов вредных веществ, что важно для сохранения экологии региона.

- Создание рабочих мест и развитие промышленности: внедрение ветроэнергетики может стимулировать развитие местного производства компонентов для ВЭУ и создать новые рабочие места.

Несмотря на все положительные стороны внедрения ВИЭ в энергетическую стабильность региона имеется ряд рисков:

- Нестабильность выработки: зависимость от погодных условий требует использования накопителей энергии или комбинированных систем.

- Высокие начальные инвестиции: стоимость установки ВЭУ остается значительной, хотя долгосрочная экономия может оправдать эти затраты.

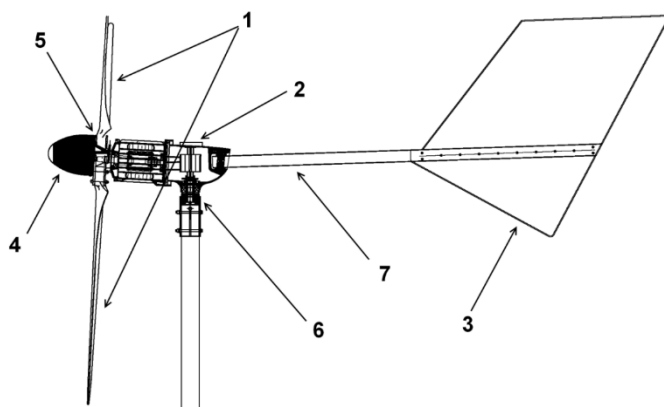
- Климатические изменения: колебания скорости ветра могут влиять на эффективность ветроэнергетики.

Таким образом, экономические предпосылки применения ВЭУ в АПК Красноярского края включают снижение затрат на энергоснабжение, использование местных ветроресурсов, стратегическую поддержку развития альтернативной энергетики и дополнительные социальные и экологические выгоды. Однако реализация таких проектов требует учета технических и финансовых рисков.

Согласно моделям электропотребления из главы 3, можно сделать вывод что установленная мощность для малых объектов АПК составляет 3-5кВт, а для больших объектов 8-10кВт. Для расчета системы ВЭУ в заданных параметрах произведем выбор оборудования.

Таблица 1 – Технические характеристики ВЭУ Ехmorк 3 кВт 48В

Параметр	Характеристика
Мощность при 12 м/с	3500 ватт
Мощность при 9 м/с	2300 ватт
Мощность при 5 м/с	500 ватт
Старгивание	начало вращения - с 2,5 м/с
Диапазон ветра генерации	3-25 м/с, свыше 20 м/с включается защитное торможение
Количество лопастей	3 штуки
Материал лопастей	армированное стекловолокно с защитным покрытием 3М, (против старения, антигололедное)
Диаметр ротора	4 м
Вес ветрогенератора	С лопастями, хвостовой частью: 130 кг
Подшипники на валу	NSK, Япония
Подшипник вертикальный	токосъемный
Срок службы	не менее 10 лет.
Гарантийный срок	1 год
Способ крепления на мачту	«труба в трубу» (внешний диаметр мачты под фланец ветряка - 89 мм.)



1. Лопасты (3 штуки);
2. Электрический генератор;
3. Лопасты хвоста;
4. Носовой обтекатель;
5. Держатель лопастей;
6. Хомут для крепления ветрогенератора на мачту (76 мм) с токосъемным подшипником;
7. Хвостовая балка

Рисунок 1 - Бытовой ветрогенератор Ехmork 3 кВт 48В

Себестоимость электрической энергии будет зависеть от издержек на амортизацию, текущий ремонт и обслуживание затраченных в течение года и выработанной электроэнергии за год, которая зависит от скоростей ветра, преобладающих в рассматриваемом районе. Себестоимость 1кВт ч электроэнергии, определяем по формуле [23]

$$C_{1кВт\cdot ч} = \frac{I_{ам} + I_{тр} + I_{обсл}}{W_{год}}, \quad (1)$$

где $I_{ам}$ - амортизационные отчисления, тыс.руб./год;
 $I_{тр}$ - отчисления на текущий ремонт, тыс.руб./год;
 $I_{обсл}$ - отчисления на обслуживание ВЭУ, тыс.руб./год;
 $I_{пр}$ - прочие отчисления, принимаются в размере до 10% от вышеперечисленных, тыс.руб./год;
 $W_{год}$ - годовая выработка электроэнергии ветроэнергетической установкой, кВт ч.

Амортизационные отчисления учитывают возмещение основных производственных фондов в процессе износа оборудования и определяются по формуле

$$I_{ам} = K \cdot a, \quad (2)$$

где K - капиталовложения, руб;
 a - норма амортизационных отчислений, для ВЭУ $a = 0,06$.

Основными составляющими капиталовложений при сооружении энергообъектов являются капиталовложения на покупку оборудования, проведения строительных и монтажных работ, а также доставку.

$$K = K_y + K_{тран} + K_m + K_{проч}, \quad (3)$$

где K_y - цена установки, руб.;

$K_{тран}$ - стоимость доставки, руб.;

K_m - стоимость монтажа, руб.;

$K_{проч}$ - прочие единовременные затраты, руб.

$$K_{тран} = \frac{L \cdot k_p \cdot m}{1000 \cdot 100}, \quad (4)$$

где $K_{тран}$ - издержки на доставку ВЭУ, тыс.руб.;

L - расстояние от места приобретения ВЭУ до места монтажа и дальнейшей эксплуатации, км;

k_p - транспортная стоимость провоза 1 кг груза на 1 км, коп. / (кг км), находится в пределах от 0,117 до 2,6 коп. / (кг км), в зависимости от транспорта (железнодорожный от 0,208 до 0,468 коп. / (кг км); авиационный от 1,56 до 2,6 коп. / (кг км); речной от 0,117 до 0,312 коп. / (кг км)),

m - масса груза, кг.

Стоимость монтажа и пусконаладочных работ определяется по локальной смете на данный вид работ для интересующей ветроэнергетической установки. Эти стоимости будут мало зависеть от различных регионов Красноярского края, поэтому, для упрощения расчетов, их принимаем одинаковыми в размере от 2 до 8 % от стоимости ВЭУ

Затраты на текущий ремонт определяются по формуле

$$I_{mp} = K \cdot \kappa_{mp}, \quad (5)$$

где κ_{mp} - норма отчислений на текущий ремонт, для ветроэнергетических установок $\kappa_{mp} = 0,03$.

Затраты на обслуживание ВЭУ включают в себя заработную плату обслуживающему персоналу и стоимость обслуживающих работ, определяются по формуле

$$I_{обсл} = K \cdot \kappa_{обсл}, \quad (6)$$

где $\kappa_{обсл}$ - коэффициент, учитывающий отчисления на обслуживание ВЭУ, $\kappa_{обсл} = 0,012$.

Расчеты проведем для двух систем электроснабжения, для ВЭУ и для ДЭС. Расчеты сведены в таблицу.

Таблица 2– Расчет систем электроснабжения от ВЭУ и от ДЭС

Исходные данные для ВЭУ		Исходные данные для ДЭС	
Цена ветроустановки, Ку, руб	650 000	Цена ДЭС, Ку, руб	50 000
Стоимость доставки, Кд, руб	65 000	Мощность ДЭУ, кВт	5
Выработка эл.эн. ВЭУ кВт·ч, W	17000,00	Стоимость доставки, Кд, руб	10 000
Срок службы установки, лет	10	Выработка эл.эн. ДЭС кВт·ч, W	43 800
Результаты расчета		Срок службы установки, лет	5
Затраты на монтаж, Км, руб 10%	65000	Расход топлива, л/ч	2,4
Затраты на пусконаладные работы, Кпн, руб 10%	65000	Стоимость топлива, руб	66
Стоимость фундамента, Кф, руб 5%	32500	Результаты расчета	
Затраты на прокладку кабеля, Кк, руб 10%	65000	Затраты на монтаж, Км, руб 10%	5000
Стоимость заземления, Кз, руб 5%	32500	Затраты на пусконаладные работы, Кпн, руб 10%	5000
Прочие единовременные затраты, Кпр, руб 10%	97500	Стоимость заземления, Кз, руб 5%	2500
Капиталовложение, К	1007500	Прочие единовременные затраты, Кпр, руб 10%	7250
Норма амортизационных отчислений, аам	0,10	Капиталовложение, К	79750
Норма отчислений на текущий ремонт	0,05	Норма амортизационных отчислений аам	0
Амортизационные отчисления, руб/ год Иам	100750	Норма отчислений на текущий ремонт	0
Отчисления на текущий ремонт, руб, Итр	50375	Амортизационные отчисления, руб/ год Иам	15950
Отчисления на обслуживание, руб/год, Иобс	9490	Отчисления на текущий ремонт, руб, Итр	7975

Прочие отчисления, руб/год Ипр	16062	Отчисления на обслуживание, руб/год Иобс	8376,7
Себестоимость 1 кВт·ч, руб	10,39	Прочие отчисления, руб/год Ипр	3230,17
		Издержки на гсм руб/год	1409084
		Себестоимость 1 кВт·ч, руб	32,98

Таким образом расчеты показали, что себестоимость производства электрической энергии на ВЭУ при средней годовой скорости ветра составляет 10,39 руб/кВт·ч. данное значение соизмеримо с тарифом на электрическую энергию, полученную от централизованного электроснабжения, либо от дизельэлектростанций.

По нашему мнению, можно рассматривать проект электроснабжение потребителей объектов АПК малой и средней мощности на основе ВЭУ. Проект имеет следующие преимущества:

- Приемлемая себестоимость производства электрической энергии, в перспективе при увеличении тарифов использования электроснабжения будет иметь преимущество по сравнению с централизованным электроснабжением либо от дизельэлектростанций;

- Экологически чистый источник энергии;

- Не нарушает ландшафт, не требует вырубки леса.

И все это нам дает основание для утверждения целесообразности применения ВЭУ.

Список литературы

1. Алексеенко, В.А. Эффективность применения вертикально-осевой двухроторной ветроэнергетической установки на объектах АПК // Известия СПбГАУ. 2023. № 3 (72).

2. Басуматорова, Е. А. Применение электрического ветра в технологических процессах агропромышленного комплекса / Е. А. Басуматорова, Л. Н. Андреев, А. К. Пейль // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15, № 6.

3. Исаков, Р. А. Ветроэнергетические установки и их недостатки / Р. А. Исаков // Будущее в настоящем: Сборник научных трудов молодых ученых по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Ставрополь, 30 ноября 2018 года. – Ставрополь: Студенческое инженерное общество «ESL», 2018. – С. 97-100. – EDN TCMHGR.

4. Лимонов, Л. Ветроэнергетические установки с безредукторным приводом генератора / Л. Лимонов, Ю. Соколовский // Economic aspects of industrial development in the transition to a digital economy: Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, Уфа, 28 декабря 2019 года. – Уфа: Вестник науки, 2019. – С. 45-52. – EDN WGBKUI.

5. Бастрон А. В., Михеева Н. Б. Экономический аспект использования возобновляемых источников энергии в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) // Эпоха науки. 2015. № 2.

ИННОВАЦИОННОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО ГОРОДА: ТЕХНОЛОГИЯ, ЭКОНОМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ СИТИ-ФЕРМЕРСТВА В РОССИИ

Грейдин Семен Сергеевич, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

bananraum@gmail.com

Научный руководитель: Заплетина Анна Владимировна, кандидат технических наук, доцент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

anna-zapletina@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается сити-фермерство как инновационная модель ведения сельского хозяйства в условиях урбанизированной среды. Анализируется эволюция данного феномена – от исторических прообразов до современных высокотехнологичных комплексов. Подробно описаны основные технологические подходы (вертикальные фермы, гидропоника, аквапоника) и их социально-ориентированные формы. Особое внимание уделяется экологическим и экономическим преимуществам, а также существующим ограничениям развития. На примере рынка РФ представлены актуальные бизнес-модели и перспективы коммерциализации. Авторы приходят к выводу, что сити-фермерство, интегрируясь с цифровыми технологиями, становится важным элементом устойчивого развития городов, обеспечивая продовольственную безопасность и укрепляя связь горожан с природой.

Ключевые слова: сити-фермерство, вертикальные фермы, городское сельское хозяйство, гидропоника, аквапоника, устойчивое развитие, продовольственная безопасность, агротехнологии, локальное производство продуктов питания, бизнес-модели в сельском хозяйстве

Сити-фермерство – это многогранное явление, охватывающее как высокотехнологичное коммерческое производство сельхозпродукции в закрытых помещениях, так и низкотехнологичные общественные инициативы. В общем смысле под ним понимается выращивание растений (овощей, фруктов, зелени, ягод, грибов) и иногда разведение мелких животных в пределах города. Ключевая цель – производство пищи ближе к месту ее потребления.

Выделяют две основные категории: высокотехнологичные вертикальные (индорные) фермы: Компактные автоматизированные комплексы, часто использующие гидроponику, аэроponику или акваponику, размещаемые в зданиях, контейнерах или на стеллажах. Их продукция (микрoзелень, салаты, травы, клубника) ориентирована на рынок HoReCa и розничную продажу.

Социально-ориентированные городские фермы (community city farms): Открытые зеленые пространства, часто создаваемые на бывших пустырях, где выращивают растения и содержат животных в образовательных, терапевтических и общественных целях.

Идея городского земледелия не нова. Исторические примеры включают висячие сады Семирамиды, плавучие сады ацтеков (чинампы) и огороды в средневековых городах. В Новейшее время мощным катализатором стали войны и кризисы. «Огороды победы» (Victory Gardens) в период Первой и Второй мировых войн в США, Великобритании и других странах обеспечивали значительную долю потребления овощей и фруктов, поднимая моральный дух населения.

Современное городское фермерское движение возродилось в 1970-х годах в Европе и США как ответ на отчуждение горожан от природы и продовольственных систем. Первая официальная городская ферма (Kentish Town City Farm) была основана в Лондоне в 1972

году на заброшенной территории. Сегодня в одной только Великобритании существует около 50 таких ферм, выполняющих роль экологических и социальных хабов [1].

В XXI веке с развитием технологий и ростом интереса к локальным продуктам и устойчивому развитию получил мощный импульс сегмент коммерческих вертикальных ферм.

Методы сити-фермерства варьируются в зависимости от целей и масштабов. В таблице 1 представлены различные виды выращивания растений.

Таблица 1 - Сравнение технологических подходов в сити-фермерстве

Технология/Метод	Описание	Основные культуры	Преимущества
Вертикальное фермерство	Многоярусное выращивание в закрытых помещениях с полным контролем климата (температура, влажность, свет, полив).	Салаты, микрозелень, пряные травы, клубника.	Максимальная эффективность использования площади (экономит 10-20 единиц обычной сельхозземли), независимость от погоды, круглогодичный урожай.
Гидропоника	Выращивание растений на питательных растворах без почвы.	Зелень, салаты, томаты, огурцы.	Экономия воды до 90%, контроль питания растений, высокая скорость роста.
Аквапоника	Симбиотическая система, сочетающая аквакультуру (разведение рыбы) и гидропонику. Отходы рыб служат удобрением для растений, которые очищают воду.	Зелень, салаты, травы.	Замкнутый цикл, минимальные отходы, производство двух видов продукции (растения + рыба).
Традиционно почвенное выращивание	Применяется в городских общественных садах и на фермах с открытым грунтом.	Широкий спектр овощей, фруктов, декоративных культур.	Низкий порог входа, улучшение качества городских почв, создание естественных экосистем.

Социально-экономическое и экологическое значение сити-фермерства:

Экологические: Сокращение «углеродного следа» за счет минимизации логистики, экономия водных ресурсов, рециклинг органических отходов, создание зеленых островков, повышающих биоразнообразие в городе.

Экономические: Создание новых рабочих мест, развитие малого и среднего предпринимательства, локализация производства, регулирование цен. Для частного лица – экономия на покупке зелени или источник дополнительного дохода.

Социальные и образовательные: Образование детей и взрослых в области экологии и продовольствия, терапия и реабилитация (анималотерапия, садоводческая терапия), борьба с социальной изоляцией, укрепление локальных сообществ.

Продовольственная безопасность: Повышение доступности свежих и качественных продуктов питания, особенно в районах, испытывающих дефицит (т.н «продовольственные пустыни»), и в регионах с суровым климатом [2].

На ряду с преимуществами существует ряд проблем и ограничений: Высокие первоначальные капиталовложения и эксплуатационные расходы (прежде всего, на электроэнергию для освещения и климат-контроля). Необходимость специальных знаний в области агрономии, биологии и управления. Ограниченный ассортимент культур, пригодных для высокотехнологичного выращивания (преимущественно быстрорастущая зелень и листовые овощи). Для социальных ферм – хроническая нехватка финансирования и угроза со стороны застройщиков [3].

В России сити-фермерство развивается преимущественно как коммерческий проект по производству зелени и микрозелени. Порог входа в бизнес варьируется в широких пределах:

Мини-ферма в квартире: Старт с 1-2 кв. м и инвестиций от 10-15 тыс. руб. может приносить доход 10-18 тыс. руб. в месяц с квадратного метра. Небольшая коммерческая ферма: По оценкам действующих фермеров, для старта может хватить 500 тыс. – 2 млн руб., срок окупаемости – от 1 до 5 лет. Ключевые каналы сбыта: рестораны и кафе (HoReCa), розничные сети, фермерские маркетплейсы («Свое Родное»), продажи через социальные сети и собственные магазины. Спрос на зелень в России прогнозируется к росту: к 2030 году потребление может достичь 12 кг на человека в год против нынешних 7-8 кг. В отрасли активно работают компании-интеграторы, предлагающие решения «под ключ» (например, iFarm, «Фабрика Растений», AgroTechFarm), и образовательные проекты, такие как «Школа фермера» Россельхозбанка.

Заключение и перспективы: Сити-фермерство трансформируется из модного тренда в неотъемлемый элемент умного и устойчивого города. Оно предлагает инновационный ответ на глобальные вызовы: рост урбанизации, нехватку ресурсов, климатические изменения и потребность в здоровом питании. Будущее развитие лежит в конвергенции технологий: Интеграция с «интернетом вещей» (IoT) для полной автоматизации. Использование искусственного интеллекта для оптимизации режимов выращивания и прогнозирования урожайности. Развитие «социального предписания» (social prescribing), при котором врачи рекомендуют занятия на городских фермах для улучшения психического и физического здоровья. Создание законодательной базы и программ господдержки, признающих вклад сити-фермерства в продовольственную безопасность и качество городской среды.

Таким образом, сити-фермерство представляет собой динамично развивающийся междисциплинарный сектор, который успешно сочетает высокие технологии, экологические принципы и социальную ответственность, становясь важной частью городской экосистемы будущего.

Список литературы

1. Марченко А.В. Концепция сити-фермерства и его интродукция в реалиях российского агробизнеса и урбанистики // Управленческий учет. 2026. № 2.
2. Еремеев В.Ф. Альтернативные способы обеспечения продовольственной безопасности // Управленческий учет. 2026. № 2.
3. Al-Kodmany K., Govind M., Khan S., Kole C. (eds.) Sustainable Urban Agriculture: New Frontiers. Boca Raton: CRC Press, 2025. 368 p.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ В ИНДИВИДУАЛЬНОМ ЖИЛОМ ДОМЕ

Диженко Дмитрий Александрович, студент

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

Zifa046@gmail.com

Научный руководитель: Дебрин Андрей Сергеевич, кандидат технических наук

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

debrin.as@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается методика комплексной технико-экономической оценки при проектировании систем освещения для индивидуальных жилых домов. Актуальность исследования обусловлена значительной долей энергопотребления на освещение (до 20–25% от общего расхода электроэнергии в доме) и необходимостью оптимизации затрат на этапе проектирования. Практическая значимость работы заключается в предоставлении проектировщикам и домовладельцам инструментария для обоснованного выбора системы освещения, обеспечивающего баланс между первоначальными инвестициями, эксплуатационными затратами и качеством освещения. Разработанные рекомендации могут быть использованы при проектировании новых домов и модернизации существующих систем освещения.

Ключевые слова: система освещения, индивидуальный жилой дом, технико-экономическая оценка, энергосбережение, светодиодные лампы, светотехнический расчет, срок окупаемости, энергоэффективность, естественное освещение, автоматическое управление освещением

Основные направления капитальных вложений при проектировании осветительных установок: Совершенствование схем освещения; Повышение надежности и качества освещения; Автоматизация.

Основные направления капитальных вложений при строительстве и монтаже осветительных установок: Применение новых и модернизированных конструкций, схем, аппаратов, приборов и средств автоматизации; Разработка и применение новых методов и систем управления, планирования, организации и технологии; Применение новых объемно-планировочных и конструктивных решений; Внедрение новых стандартов и других мероприятий

Экономическая эффективность капитальных вложений: Принятые решения по совершенствованию объектов электрификации производственных объектов экономически обуславливаются показателями сравнительной экономической эффективности; Оптимальный вариант технического решения определяется на основе технико-экономических расчетов.

Показатели сравнительной экономической эффективности капитальных вложений: Снижение затрат на эксплуатацию; Сокращение срока окупаемости; Выбор наиболее экономичных источников света.

Рассмотрим два вида ламп:

- энергосберегающие лампы;
- светодиодные светильники.

Таблица 1 - Марки ламп для обоих вариантов

п/п	№ помещения	Кол-во ламп в светильнике, шт.	Марка ламп			количество светильников	
			Эн-ая	Эн-ая	Све-ная	Эн-ая	Све-ная
1	спальня	7	Лампа энергосберегающая Космос 20Вт E27	Innovation style	2	1	
2	С/У	1	Лампа энергосберегающая Космос спираль E14 9 Вт	Ambrella air	2	1	
3	Детская	8	Лампа энергосберегающая Космос 20Вт E27	Innovation style Arte lamp electra	2	1	
4	Коридор	4	Лампа энергосберегающая Космос 20Вт E27	Eglo Palermo (2)	2	1	
5	гостевая	8	Лампа энергосберегающая Wolta спираль E14 12Вт	Innovation style Eglo passa	2	1	
6	тамбур	1	Лампа энергосберегающая Космос спираль E27 11 Вт	Lightstar arco	2	1	
7	кухня	6	Лампа энергосберегающая Космос спираль E27 11 Вт	Citilux	2	1	
8	Щитовая	1	Лампа энергосберегающая Wolta спираль E14 12Вт	Lightstar urbano	2	1	

Цель технико-экономического расчета: Определение оптимального выбора оборудования; Определение требуемых затрат на внедрение установки.

Технические показатели: Эффективность; Надежность; Удобство эксплуатации; Долговечность.

$$K = N \cdot C_{л} + M \cdot C_{свет} + M \cdot C_{пра}, \quad (1)$$

где K – единовременные затраты, руб.;

N – число ламп, шт.;

M – число светильников, шт.;

C_л – цена лампы, руб.;

C_{свет} – цена светильника, руб.;

C_{пра} – стоимость пусковой аппаратуры, руб.

Таблица 2 - Цена и потребляемая мощность ламп в обоих вариантах

п/п	№ помещения	Мощность одной лампы	потребляемая мощность, Вт		Цена лампы, руб	цена лампы в каждое помещение, руб	
			Эн-ая	Све-ная		Эн-ая	Эн-ая
1	2	3	5	6	7	10	9
1	Спальня	20	280	120	246	4350	3444
2	С/У	9	18	18	192	2681	384
3	Детская	20	320	120	259	3785	4144
4	Коридор	20	160	22	246	2490	2608
5	Гостевая	24	384	120	163	4544	2608
6	Тамбур	11	22	20	192	3359	384
7	Кухня	20	240	80	192	5990	2304
8	Щитовая	12	24	10	183	1868	366
9	Итого					29067	16242

Эксплуатационные расходы Э за год суммируются из стоимости электроэнергии на освещение, стоимости заменяемых ламп, стоимости обслуживания.

$$\mathcal{E} = I_{ам} \cdot N \cdot q \cdot P_{л} \cdot T \cdot \eta \cdot (C_{л} + C_{зам}), \quad (2)$$

где η – коэффициент потерь в ПРА;

q – цена электроэнергии, руб/(кВт·ч), $q = 5,7$ руб/(кВт·ч);

$P_{л}$ – мощность лампы, кВт;

T – число часов горения лампы, ч; принимаем равной 2175 ч; τ – срок службы лампы, ч;

$C_{л}$ – стоимость замены ламп, руб./шт., $C_{зам} = 15$ рублей;

$I_{ам}$ – издержки на амортизацию, руб.;

Годовые затраты на эксплуатацию освещения с энергосберегающими лампами для помещения спальни.

$$\mathcal{E} = 113 + 1,03 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 5,7 \cdot 0,02 \cdot 2175 + \frac{2 \cdot 7 \cdot 2175}{10000} \cdot (246 + 15) = 3678.$$

Годовые затраты на эксплуатацию освещения со светодиодными лампами для помещения спальни.

$$\mathcal{E} = 61 + 1,03 \cdot 1 \cdot 5,7 \cdot 0,12 \cdot 2175 + \frac{1 \cdot 2175}{15000} \cdot (4350) = 2224.$$

Для остальных помещений выполняем аналогичный расчет и сносим их в таблицу 8.3

Таблица 3 - Расчет годовых затрат на эксплуатацию освещения

п/п	№ помещения	N, число ламп в светильнике, шт.	количество светильников		Годовые эксплуатационные расходы, руб.	
			Эне-ая	Эне-ая	Све-ная	Эне-ая
1	2	3	2	5	6	7
1	спальня	7	2	1	4483,18	2224,081
2	С/У	1	2	1	432,894	679,5947
3	Детская	8	2	1	4483,18	2142,156
4	Коридор	4	2	1	432,894	561,6372
5	гостевая	8	2	1	4483,18	2252,211
6	тамбур	1	2	1	432,894	1021,432
7	кухня	6	2	1	4483,18	2027,606
8	Щитовая	1	2	1	432,8	561,7097
9	Итого	36	16	8	19664,31	11470,43

Эксплуатационные затраты на освещение жилого дома с энергосберегающими лампами составят 19560 рублей в год.

Капиталовложения в данный вариант системы освещения составляют 16 242 рубля.

Эксплуатационные затраты на освещение жилого дома со светодиодными лампами составят 11470 рублей в год.

Капиталовложения в данный вариант системы освещения составляют 29 067 рублей.

Таблица 4 - Общие технико-экономические показатели

Наименование / характеристики	С КЛЛ	С LED
Капиталовложения, руб.	19560	29067
Годовые эксплуатационные расходы, руб.:	16242	11470
В т. ч. амортизация	904	488
Затраты на обслуживание	2160	1258
Стоимость электроэнергии	17951	6322

Экономическая обоснованность технического решения: Эффективность технического решения должна быть экономически обоснована; Первый вариант с люминесцентными светильниками не выгоден по всем пунктам.

Изыскание вариантов освещения: Определение наиболее выгодного варианта между первым и вторым; Изыскание вариантов с минимальным расходом электроэнергии перспективно для повышения экономичности освещения.

Рациональное использование электроэнергии: Вопрос о рациональном использовании электроэнергии является первоочередным и важнейшим; в последние годы проводят оценку по расходу электроэнергии как самостоятельный показатель.

Оценка экономической эффективности: для определения экономической эффективности используется сравнительный срок окупаемости; Суть расчета заключается в сравнении сроков окупаемости различных вариантов освещения.

Сравнивается эффективность двух проектов одного и того же назначения. Второй вариант - более капиталоемкий - требует капиталовложений в размере K_2 в первом варианте потребуются капиталовложения в размере K_1 , причем по условию

$$K_2 > K_1, \text{ а } K_2 - K_1 = \Delta K \quad (3)$$

Однако более капиталоемкий вариант обладает более совершенной технологией, благодаря чему издержки производства по этому варианту. Меньше, чем в более дешевом варианте, где ежегодно потребуются эксплуатационные расходы в размере $t.e.$

$$I_2 < I_1, \text{ а } I_1 - I_2 = \Delta I \quad (4)$$

Издержки производства вычисляются, как правило, за год и имеют размерность руб/год.

Все эти показатели можно привести в следующее соотношение:

$$T_{cp} = \frac{K_2 - K_1}{I_1 - I_2} \leq T_{инв}. \quad (5)$$

Показатель T_{cp} , называемый сравнительным сроком окупаемости, отвечает на вопрос: за какое время окупятся дополнительные капиталовложения в более капиталоемкий вариант инвестирования по сравнению с менее капиталоемким за счет экономии эксплуатационных расходов, которую эти дополнительные капиталовложения обеспечивают. Если этот срок меньше, чем величина нормативного срока окупаемости T_n , то стоит идти на дополнительные капиталовложения; если больше - не стоит, следует отдать предпочтение варианту с меньшими капитальными затратами.

$$T_{cp} = \frac{29067 - 19560}{16242 - 11470} = 1,9 \text{ года}$$

Технико-экономический расчет показал, что срок окупаемости более затратного варианта с использованием светодиодных ламп окупиться за 2 года за счет более долгого срока службы ламп и меньшего потребления электроэнергии.

Список литературы

1. Расчет электрических нагрузок квартир и Жилой доме. Расчет токов короткого замыкания [Электронный ресурс]. // ЭлектроТехИнфо, 2022 - URL: http://www.eti.su/articles/spravochnik/spravochnik_1560.html (дата обращения 02.03.26).

2. Энергосберегающая лампа Wonderful SM-1 20W/E14/4100 (спираль) 900404 [Электронный ресурс]. // Все инструменты, 2026 - URL: <https://www.vseinstrumenti.ru/product/energoberegayuschaya-lampa-wonderful-sm-1-20w-e14->

4100-spiral-900404-2164954/ (дата обращения 02.03.2026).

3. Энергосберегающая лампа Wonderful SXX-6 15W/E14/4100 (спираль) 902241 [Электронный ресурс]. // Все инструменты, 2026 - URL <https://www.vseinstrumenti.ru/product/energoberegayuschaya-lampa-wonderful-sxx-6-15w-e14-4100-spiral-902241-2163901/> (дата обращения 02.03.2026).

4. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (актуализированная редакция СНиП 23-05-95*). Свод правил устанавливает нормы естественного, искусственного и совмещенного освещения зданий и сооружений, а также нормы искусственного освещения селитебных территорий. Содержит требования к проектированию осветительных систем, включая расчеты и нормативные ссылки на другие стандарты

5. Елкин, В. Д. Техничко-экономическое обоснование энергосбережения в освещении жилых помещений / В. Д. Елкин // Наука – образованию, производству, экономике : материалы Шестой международной научно-технической конференции : в 3 т. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2008. – Т. 1. – С. 41.

6. Джолдошева Т.Д., Абдымомун У.С., Эркин У.Б. Техничко-экономическая эффективность светодиодного освещения // ReFocus. 2024. № 1.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 5. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

ПОДСЕКЦИЯ 5.1. СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Аймалетдинова А.С., Трухачева В.С., Королева А.С. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ ПИТОМНИКОВОДСТВА: АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ВЫКОПОЧНЫХ МАШИН)	3
Вдовина В.А. КРИТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗДЕЛЕНИЯ В МУЛЬТИВИХРЕВОМ ВОЗДУШНОМ КЛАССИФИКАТОРЕ	6
Демина Ю.Н. ОБЗОР ЭРОЗИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕПАРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ	10
Дубинский А.Б. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДОБЫЧИ МЕДНЫХ РУД В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ	13
Зинурова К.И. АБСОРБЦИОННЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ КАК ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА	17
Коротова В.А., Николаенко В.В., Куставинова А.А. ПРОВЕРКА ОСНОВНОГО ЗАКОНА ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММИРОВАНИЯ	20
Майоров Е.К. КРИВЫЕ ВТОРОГО ПОРЯДКА В СОВРЕМЕННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ	24
Майоров Е.К. РЕСУРСНАЯ БАЗА ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЯ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ	27
Подшивалова В.С., Щербак К.Н. ХИМИЧЕСКИ СТОЙКИЕ РЕЗИНЫ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	31
Расчислова С.А., Зиангиров А.Ф. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УЧЕТА ЛОКАЛЬНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕЧЕНИЯ В ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРАХ	35
Степанов А.А., Скворцов И.И. О ДВИЖЕНИИ ЧАСТИЦ В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ	38

ПОДСЕКЦИЯ 5.2. ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АПК

Будылина Е.А., Лебедев Р.А. ВАРИАНТ МИНИ-ЦЕХА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ МАСЛИЧНЫХ	41
Гиль Г.Г. КЛАССИФИКАЦИЯ ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ СУХИХ СЫПУЧИХ КОМПОНЕНТОВ КОМБИНИРОВАННЫХ КОРМОВ	45
Завальный Д.В. МАШИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ	49
Кузнецов М.А., Шмаков Б.А. ИЗМЕРЕНИЯ ТЯГОВОГО УСИЛИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ	52
Люднев В.С. ПРОГРАММНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ БПЛА В АПК: ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ, ГОТОВНОСТЬ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ	55
Маслов Е.В., Худяков М.В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШАССИ УРАЛ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БПЛА	59
Муравьев О.В. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ В АПК	64
Муравьев О.В. ОБОСНОВАНИЕ ФОРМУЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ РАСЧЕТА РАДИУСА РАЗВОРОТА СНЕГОХОДА	67
Резер А.В. ДИСКОВОЕ ОРУДИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ	73
Сайтаков Р.М. АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ В СМЕСИТЕЛЕ (КОРМА/УДОБРЕНИЯ): УПРАВЛЕНИЕ ПО ВЕСОВЫМ ДАТЧИКАМ И КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ (ЛОГИКА + ИМИТАЦИОННАЯ ПРОВЕРКА)	78
Худяков М.В., Маслов Е.В. РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ 3D-СКАНИРОВАНИЯ	81

**СЕКЦИЯ 6. ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, АВТОМАТИЗАЦИЯ
И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В АПК**

**ПОДСЕКЦИЯ 6.1. ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, АВТОМАТИЗАЦИЯ
И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В АПК**

Алексеев Ф.В. ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ	84
Берлинский А.Н., Ведерников Е.А. РАСТЕНИЕВОДЧЕСКИЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕЛЕННЫХ КУЛЬТУР	88
Болд-Эрдэнэ У. СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ОТГОННОГО ЖИВОТНОВОДСТВА И СЕЛЬСКИХ ЖИТЕЛЕЙ МОНГОЛИИ	92
Веремеенко С.Ю. ЭВОЛЮЦИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ: ОТ МАСЛЯНЫХ К ВАКУУМНЫМ И ЭЛЕГАЗОВЫМ	95
Иванова Н.Э. МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕГАОММЕТРА ЗА СЧЕТ РАЗРАБОТКИ АККУМУЛЯТОРА ВМЕСТО НАБОРА ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА	99
Иванова Н.Э. ОБЗОР УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМОНТЕРОВ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ДО 1000 В И ВЫШЕ	103
Мильяненко А.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛОМЫ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ	108
Мугинов А.М., Мугинова А.И. МИКРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ НА БИОГАЗЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА	112
Мурашка У.А. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕСЯ В СИСТЕМАХ ПОЕНИЯ КОРОВ НА ФЕРМАХ КРС	115
Николаенко С.Н. ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ	120
Павлова Д.А. СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ИНТЕГРАЦИИ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ И СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГОРАЙОНАХ	122
Педяшов И.А. ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ МИКРОКЛИМАТА ФЕРМ КРС	125
Педяшов И.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ОБДУВА КРС	129
Сажин А.Д. ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ	134
Сайтаков Р.М. РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ УСТАНОВКОЙ С ЧАСТОТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ПО СИГНАЛАМ ДАВЛЕНИЯ И РАСХОДА (ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЖИМА)	136
Сайтаков Р.М. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ: СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ВОДОРАЗБОРЕ	139
Симонов Н.А. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ	142
Смирнова Д.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КАБЕЛЯ 10 КВ	145
Суворов А.В. ИННОВАЦИИ И МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СИСТЕМ НАВОЗОУДАЛЕНИЯ ДЛЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ	148
Суворов А.В., Мурашка У.А., Педяшов И.А. ОБОСНОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ КРС	151
Сургутская Д.П. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЕ ПРИОРИТЕТА И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРИОРИТЕТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ НАГРУЗКИ (САПОН)	154
Шакалов С.С. РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ БЕСКОНТАКТНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ	157

**ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ В АПК
(ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПО)**

Базыр Э.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫРАЩИВАНИЯ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОПОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	160
Грейдин В.С., Грейдин С.С. ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЭУ ДЛЯ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ АПК	164
Грейдин В.С., Грейдин С.С. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭУ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АПК	169
Грейдин С.С. ИННОВАЦИОННОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО ГОРОДА: ТЕХНОЛОГИЯ, ЭКОНОМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ СИТИ-ФЕРМЕРСТВА В РОССИИ	174
Диженко Д.А. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ В ИНДИВИДУАЛЬНОМ ЖИЛОМ ДОМЕ	177

СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУКА – ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

Материалы XXI Всероссийской студенческой научной конференции
(12–13 марта 2026 г.)

ЧАСТЬ 3 – ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ И ЭНЕРГЕТИКИ

Секция 5. Техническое обеспечение агропромышленного комплекса

Секция 6. Энергетика, электротехнологии, автоматизация и энергосбережение в АПК

Ответственные за выпуск:

А.В. Коломейцев, Горелов М.В.

Редакционная коллегия:

В.С. Литвинова, канд. с.-х. наук, доцент;

Д.Д. Харебин, ст. преподаватель;

Н.В. Кузьмин, канд. техн. наук, доцент;

Н.М. Романченко, канд. техн. наук, доцент

Электронное издание

Издается в авторской редакции

Компьютерная верстка и дизайн – Д.Д. Харебин