

Универсальный программный комплекс «OzoneSimula» для моделирования и оптимизации процессов озоновой дезинвазии

Артем Викторович Кузин,

аспирант, e-mail: artcuz@bk.ru;

Владимир Викторович Шмигель,

доктор технических наук, профессор, e-mail: volod49@mail.ru

Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Российская Федерация

Реферат. Озонирование является перспективным методом дезинвазии сточных вод сельскохозяйственных предприятий, однако его практическое применение затруднено из-за сложной нелинейной зависимости эффективности от ряда технологических параметров. (Цель исследования) Разработать, программно реализовать и апробировать универсальный программный комплекс для сквозного моделирования полного технологического цикла озоновой обработки и оптимизации его параметров по критерию минимума энергозатрат. (Материалы и методы) Основой программного комплекса «OzoneSimula» является система связанных математических моделей, реализованных на языке Python 3.9. Комплекс интегрирует три взаимосвязанных модуля: модуль генерации озона, основанный на модели барьерного разряда; параметризуемый модуль массопереноса и кинетики; модуль биоцидного действия. Верификация проведена на примере нематоды *Ascaridia galli*. (Результаты и обсуждение) Получены результаты моделирования процесса озоновой обработки водной суспензии. Установлено, что минимальная эффективная доза озона для достижения 99 процентной гибели популяции составляет ≈ 105000 миллиграмм-секунда на литр. Реализованный алгоритм оптимизации позволил снизить удельные энергозатраты на 20 процентов при сохранении требуемой эффективности. (Выводы) Разработанный программный комплекс, прошедший государственную регистрацию, представляет собой инструмент для перехода от эмпирического подбора к научно обоснованному проектированию и оптимизации режимов озоновой обработки сточных вод в агропромышленном комплексе.

Ключевые слова: озон, математическое моделирование, программирование, дезинвазия, оптимизация, сточные воды, программный комплекс.

Для цитирования: Кузин А.В., Шмигель В.В. Универсальный программный комплекс «OzoneSimula» для моделирования и оптимизации процессов озоновой дезинвазии // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №2. С. 3-8. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-3-8. EDN: LSELLT.

Scientific article

Universal Software Package «OzoneSimula» for Modeling and Optimization of Ozone Disinfection Processes

Artem V. Cuzin,

postgraduate, e-mail: artcuz@bk.ru;

Vladimir V. Shmigel,

Dr.Sc.(Eng.), associate professor, e-mail: volod49@mail.ru

Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russian Federation

Abstract. Ozonation is a promising method of disinvasion of wastewater from agricultural enterprises, but its practical application is difficult due to the complex nonlinear dependence of efficiency on a number of technological parameters. (Research purpose) The research purpose is developing, implementing and testing a universal software package for end-to-end modeling of the full technological cycle of ozone treatment and optimization of its parameters according to the criterion of minimum energy consumption. The basis of the OzoneSimula software complex is a system of related mathematical models implemented in Python 3.9. The complex integrates three interrelated modules: ozone generation module based on the barrier discharge model; parameterizable mass transfer and kinetics module; biocidal action module. Verification was carried out on the example of the nematode *Ascaridia galli*. (Results and discussion) The results of modeling the ozone treatment process of aqueous suspension are obtained. It has been

established that the minimum effective dose of ozone to achieve 99 percent population death is $\approx 105,000$ milligrams-seconds per liter. The implemented optimization algorithm allowed to reduce specific energy costs by 20% while maintaining the required efficiency. (Conclusions) The developed software package, which has passed state registration, is a tool for transition from empirical selection to scientifically based design and optimization of ozone treatment modes for wastewater in the agro-industrial complex.

Keywords: ozone, mathematical modeling, programming, disinfection, optimization, wastewater, software package.

For citation: Cuzin A.V., Shmigel V.V. Universal Software Package «OzoneSimula» for Modeling and Optimization of Ozone Disinfection Processes. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 3-8 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-3-8. EDN: LSELLT.

EDN: CRBEYL Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-9-17 УДК 664.8.038.5

Разработка лабораторной СВЧ-установки для термообработки субпродуктов

Дмитрий Витальевич Поручиков,
научный сотрудник, e-mail: dv.poruchikov@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. По данным Росстата, в 2024 году в России было произведено 12220 тысяч тонн мяса и субпродуктов, что свидетельствует о положительной динамике в отрасли и обуславливает актуальность разработки эффективных методов переработки. Ускорение процессов при термообработке субпродуктов при массировании в условиях фермерских хозяйств с сохранением потребительских свойств и снижением эксплуатационных затрат является актуальной научной задачей. (Цель исследования) Разработать лабораторную СВЧ-установку для термообработки субпродуктов на агропредприятиях. (Материалы и методы) Для реализации поставленной цели в программе Компас-3D V17 выполнено трехмерное моделирование объемных резонаторов различного конструкционного исполнения – стержневого цилиндра, трубчатого цилиндра и цилиндрической емкости с перемешивающим механизмом. Для каждой конструкции разработаны операционно-технологические схемы. (Результаты и обсуждение) Наиболее эффективным признан цилиндрический целевой резонатор-барабан из стержней, размещенный в цилиндрическом экранирующем корпусе, что обеспечивает электромагнитную безопасность. Источником возбуждения электромагнитного поля служит магнетрон воздушного охлаждения, установленный с открытого торца барабана. Возбуждение в коаксиальном резонаторе происходит за счет излучения через щели, что позволяет повторно использовать электромагнитную мощность. Определены расчетные режимы работы лабораторной установки: производительность – 10 килограммов в час, удельная мощность – 1,6 ватта на грамм, продолжительность обработки – один час при концентрации соли 12,88 процента, удельные энергетические затраты – 0,165 киловатт-часа на килограмм, частота вращения резонатора-барабана – 23 оборота в минуту. (Выводы) Предложенная технология, объединяющая массирование и термообработку в едином цикле, позволяет ускорить технологический процесс, улучшить впитывание посолочных веществ и получить продукт с улучшенными потребительскими характеристиками.

Ключевые слова: сверхвысокочастотная установка, лабораторный образец, термообработка субпродуктов, мясомассажер.

Для цитирования: Поручиков Д.В. Разработка лабораторной СВЧ-установки для термообработки субпродуктов // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N2. С. 9-17. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-9-17. EDN: CRBEYL.

Scientific article

Development of a Laboratory Microwave Installation for Heat Treatment of by-products

Dmitry V. Poruchikov,
researcher, e-mail: dv.poruchikov@yandex.ru

Abstract. According to Rosstat, in 2024, 12,220 thousand tons of meat and offal were produced in Russia, which indicates a positive dynamic in the industry and determines the relevance of developing effective processing methods. Acceleration of processes during heat treatment of by-products during massaging in farm conditions with preservation of consumer properties and reduction of operating costs is an actual scientific task. (Research Purpose) The research purpose is developing a laboratory microwave unit for the heat treatment of by-products at agricultural enterprises. (Materials and methods) To achieve this goal, the Compass-3D V17 program performed three-dimensional modeling of volumetric resonators of various designs – a rod cylinder, a tubular cylinder and a cylindrical container with a mixing mechanism. Operational and technological schemes have been developed for each design. (Results and discussion) The most effective one is a cylindrical slot resonator – a drum of rods placed in a cylindrical shielding housing, which ensures electromagnetic safety. The source of excitation of the electromagnetic field is an air-cooled magnetron installed at the open end of the drum. Excitation in the coaxial resonator occurs due to radiation through the slits, which makes it possible to reuse electromagnetic power. The calculated modes of operation of the laboratory unit are determined: productivity – 10 kilograms per hour, specific power – 1.6 watts per gram, processing time – one hour at a salt concentration of 12.88 percent, specific energy expenditure – 0.165 kilowatt-hours per kilogram, rotation frequency of the resonator drum – 23 revolutions per minute. (Conclusions) The proposed technology, combining massaging and heat treatment in a single cycle, makes it possible to speed up the technological process, improve the absorption of salting substances and obtain a product with improved consumer characteristics.

Keywords: microwave installation, laboratory prototype, heat treatment of by-products, meat massager.

For citation: Poruchikov D.V. Development of a laboratory microwave installation for heat treatment of by-products. *Electrical Technology and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 9-17 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-9-17. EDN: CRBEYL.

EDN: DKHLNN Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-18-23 УДК 535.372:637.073

Обоснование эксплуатационных параметров лабораторного стенда для фотолюминесцентной диагностики молока

Геннадий Николаевич Самарин,

доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: samaringn@yandex.ru;

Михаил Владимирович Беяков,

доктор технических наук, главный научный сотрудник;

Игорь Юрьевич Ефременков,

младший научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Для повышения конкурентоспособности агропромышленного комплекса необходимы постоянное внедрение инновационных технологий и цифровых систем, модернизация средств механизации, в том числе в молочном животноводстве. Такие технические решения должны обладать финансовой доступностью для большинства хозяйств, а также высокой эффективностью и относительно простой конструкцией. Указанными преимуществами в большинстве своем обладают оптические методы диагностики. Оптические технические решения (мультиспектральные и спектроскопические методы, наносенсоры) применяют для диагностики жирности и наличия антибиотиков в молоке, выявления мастита на ранних стадиях у сельскохозяйственных животных. (Цель исследования) Обосновать эксплуатационные параметры (необходимый объем пробы, время работы) лабораторного стенда для фотолюминесцентной диагностики молока. (Материалы и методы) Показали, что исследуемая лабораторная установка включает в себя оптический блок с восемью светодиодами со звездообразным положением и четырьмя фотодиодами в центре. Исследовали молоко «Мичурино», имеющее жирность 2,5 процента. (Результаты и обсуждение) Построили для расчета оптимального времени и количества измерений люминесценции молока графики зависимости абсолютной погрешности от количества измерений пробы молока. Рассчитали для нахождения оптимальных параметров режимов работы лабораторного стенда при детектировании антибиотиков в молоке оптимальный объем наливаемого молока в кювету, получили оптимальное

количество измерений и время измерений одной пробы молока. (Выводы) Определили оптимальный объем наливаемого молока в кювету, который составляет 17,7 миллилитра. Установили, что для минимальной абсолютной погрешности при получении сигнала люминесценции молока для всех пар светодиод – фотодиод необходимо количество измерений 7000-13 000, при этом время измерений составляет 25-41 секунды.

Ключевые слова: люминесценция, оптимизация, электрический сигнал, математическая обработка.

Для цитирования: Самарин Г.Н., Беляков М.В., Ефременков И.Ю. Обоснование эксплуатационных параметров лабораторного стенда для фотолюминесцентной диагностики молока // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N2. С. 18-23. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-18-23. EDN: DKHLNN.

Scientific article

Justification of the Operational Parameters of the Laboratory Installation for Photoluminescent Diagnostics of Milk

Gennadiy N. Samarin,

Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, e-mail: samaringn@yandex.ru;

Mikhail V. Belyakov,

Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;

Igor Yu. Efremenko,

junior researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *To increase the competitiveness of the agro-industrial complex, continuous introduction of innovative technologies and digital systems, modernization of mechanization facilities, including in dairy farming, are necessary. Such technical solutions should have financial accessibility for most farms, as well as high efficiency and relatively simple design. These advantages are mostly possessed by optical diagnostic methods. Optical technical solutions (multispectral and spectroscopic methods, nanosensors) are used to diagnose fat content and the presence of antibiotics in milk, to detect mastitis in the early stages in farm animals. (Research purpose) The research purpose is substantiating the operational parameters (required sample volume, operating time) of a laboratory installation for photoluminescent diagnostics of milk. (Materials and methods) It was shown that the laboratory installation under study includes an optical unit with eight LEDs with a star-shaped position and four photodiodes in the center. Milk «Michurino», having a fat content of 2.5 percent, was examined. (Results and discussion) To calculate the optimal time and number of measurements of milk luminescence, the dependence of the absolute error on the number of measurements of the milk sample were studied. In order to find the optimal parameters of the operating modes of the laboratory stand when detecting antibiotics in milk, the optimal volume of milk poured into the cuvette was calculated, the optimal number of measurements and the measurement time of one milk sample were studied. (Conclusions) The optimal volume of milk in the cuvette was determined, which is 17.7 milliliters. It was found that for the minimum absolute error in receiving the milk luminescence signal for all LED– photodiode pairs, the number of measurements 7000-13 000 is required, while the measurement time is 25-41 seconds.*

Keywords: luminescence, optimization, electrical signal, mathematical processing.

For citation: Samarin G.N., Belyakov M.V., Efremenko I.Yu. Justification of the operational parameters of the laboratory installation for photoluminescent diagnostics of milk. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 18-23 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-18-23. EDN: DKHLNN.

EDN: EPHTNQ

Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-24-32 УДК 631.348:004.896

Разработка мини-модуля биоимпедансной диагностики сорных растений для оптимизации параметров электроимпульсной прополки

Артем Сергеевич Угловский¹,

кандидат технических наук, доцент,

e-mail: a.uglovskii@yarcx.ru;

Александр Анатольевич Белов²,

доктор технических наук, главный научный сотрудник,

¹Ярославский государственный аграрный университет, г. Ярославль, Российская Федерация;

²Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация

Реферат. Оптимизация режимов электроимпульсной прополки представляет собой актуальную проблему, поскольку данный метод выступает экологичной альтернативой применению гербицидов, а внедрение систем биоимпедансной диагностики создает возможность находить оптимальные параметры высоковольтного воздействия, минимизируя энергозатраты мобильных сельскохозяйственных платформ. (Цель исследования) Разработать встроенный мини-модуль биоимпедансной диагностики сорных растений и алгоритм адаптивного управления параметрами электрического воздействия на основе электрофизических характеристик растений. (Материалы и методы) В основу аппаратного решения легли специализированный преобразователь импеданса AD5933 и микроконтроллер семейства STM32. Оценка состояния биообъектов проводилась методом спектроскопии в диапазоне 1-100 кГц. Предложенная архитектура системы управления включает диагностический контур для предварительного сканирования сорных растений и исполнительный высоковольтный блок. Для обеспечения точности в условиях меняющейся среды применен алгоритм периодической калибровки по референсной группе ($n=5$), активируемый через каждые 20 метров пути или при визуальном изменении типа почвы. (Результаты и обсуждение) Экспериментальные исследования проводились на образцах сорных растений (осока полевая) при контактном измерении с использованием электродов с золотым покрытием. Установлено, что импеданс растительной ткани уменьшается с 22-23 килоом на частоте 1 кГц до 4-5 килоом при частоте выше 80 кГц. На основании спектрального анализа обоснован выбор опорной частоты 50 кГц, при которой достигается максимальный контраст между типами тканей в диапазоне 20-150 килоом. Разработан алгоритм выборочной калибровки, предусматривающий измерение биоимпеданса ограниченного числа растений с последующим расчётом оптимального напряжения и длительности импульса воздействия. (Выводы) Результаты моделирования показали, что применение разработанного мини-модуля и адаптивного алгоритма управления позволяет снизить энергопотребление высоковольтной подсистемы на 35-40 процентов при сохранении требуемой эффективности уничтожения сорной растительности. Полученные результаты подтверждают перспективность использования биоимпедансной диагностики в системах точного земледелия и автономной агробототехники.

Ключевые слова: электроимпульсная прополка, биоимпеданс, агробот, STM32, AD5933, энергоэффективность, адаптивное управление.

Для цитирования: Угловский А.С., Белов А.А. Разработка мини-модуля биоимпедансной диагностики сорных растений для оптимизации параметров электроимпульсной прополки // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №2. С. 24-32. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-24-32. EDN: EPHTNQ.

Scientific article

Development of a Mini-Module for Bioimpedance Weed Diagnostics to Optimize Parameters of Electric Pulse Weeding

Artem S. Uglovskiy¹,

Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: a.uglovskii@yarcx.ru;

Aleksandr A. Belov²,

Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, e-mail: sofronich.bel@mail.ru

¹Yaroslavl State Agricultural University, Yaroslavl, Russian Federation;

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Optimization of electric pulse weeding modes is an urgent problem, since this method acts as an environmentally friendly alternative to the use of herbicides, and the introduction of bioimpedance diagnostics systems makes it possible to find the optimal parameters of high-voltage exposure, minimizing the energy consumption of mobile agricultural platforms. (Research Purpose) The research purpose is developing a built-in mini-module for bioimpedance diagnostics of weeds and an algorithm for adaptive control of electrical exposure parameters based on the electrophysical characteristics of plants. (Materials and methods) The hardware solution is based on a

specialized impedance converter AD5933 and a microcontroller of the STM32 family. The assessment of the state of biological objects was carried out by spectroscopy in the range of 1-100 kilohertz. The proposed control system architecture includes a diagnostic circuit for preliminary scanning of weeds and an executive high-voltage unit. To ensure accuracy in a changing environment, an algorithm of periodic calibration according to the reference group ($n=5$) was applied, activated every 20 meters of the path or with a visually recorded change in soil type. (Results and discussion) Experimental studies were carried out on samples of weeds (scar weed) during contact measurement using gold-coated electrodes. It was found that the impedance of plant tissue decreases from 22-23 kilohms at a frequency of 1 kilohertz to 4-5 kilohms at a frequency above 80 kilohertz. Based on the spectral analysis, the choice of a reference frequency of 50 kilohertz is justified, at which the maximum contrast between tissue types in the range of 20-150 kilohms is achieved. A selective calibration algorithm has been developed that provides for the measurement of the bioimpedance of a limited number of plants, followed by the calculation of the optimal voltage and duration of the exposure pulse. (Conclusions) The simulation results showed that the use of the developed mini-module and adaptive control algorithm reduces the energy consumption of the high-voltage subsystem by 35-40 percent while maintaining the required efficiency of weed destruction. The results obtained confirm the prospects of using bioimpedance diagnostics in precision farming systems and autonomous agro-robotics.

Keywords: electric pulse weeding, bioimpedance, agricultural robot, STM32, AD5933, energy efficiency, adaptive control.

For citation: Uglovskiy A.S., Belov A.A. Development of a mini-module for bioimpedance weed diagnostics to optimize parameters of electric pulse weeding. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 24-32 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-24-32. EDN: EPHTNQ.

EDN: DWEIKY Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-33-39 УДК 621.311.22

Разработка и применение нейросетевой модели для прогнозирования аварийности в сельских распределительных сетях 0,4 кВ

Шамсудин Зелимович Зиниев¹,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: injenerni-klub@mail.ru;

Виталий Александрович Каргин^{2,3},

доктор технических наук, доцент;

Игорь Владимирович Кротов²,

аспирант;

Рустам Абу-Муслимович Магомадов¹,

кандидат технических наук, доцент

¹Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Чеченская Республика, г. Грозный, Российская Федерация;

²Российский биотехнологический университет, Москва, Российская Федерация;

³Московский технический университет связи и информатики, Москва, Российская Федерация

Реферат. Воздушные линии электропередачи 0,4 киловольт важны для электроснабжения сельских территорий, однако подвержены частым повреждениям из-за климатических воздействий, износа и внешних факторов. В Шалинском районе Чеченской Республики сложные климатические условия усиливают проблему аварийности. Традиционные методы диагностики не обеспечивают достаточной точности прогнозирования, что обуславливает необходимость применения современных подходов машинного обучения, в частности нейронных сетей, для перехода к проактивному обслуживанию и повышению надежности. (Цель исследования) Разработать регрессионную модель на основе нейронной сети, предназначенную для прогнозирования количества и типа повреждений, возникающих на воздушных линиях 0,4 киловольт в условиях Шалинского района. (Материалы и методы) Применили для обучения и валидации модели структурированные данные о повреждениях воздушных линий 0,4 киловольт за 2018-2023 годы из журналов районных электрических сетей. Разработали полносвязную нейронную сеть с двумя скрытыми слоями, использующими функцию активации ReLU, и выходным слоем из семи нейронов для регрессии. Провели обучение с помощью оптимизатора RMSProp, метрики средней абсолютной ошибки (MAE) и техники ранней остановки для предотвращения переобучения. (Результаты и обсуждение) Показали, что в ходе экспериментов с различными архитектурами

нейронных сетей наилучшие результаты достигнуты для модели с двумя скрытыми слоями, содержащими 16 и 64 нейрона соответственно. Установили, что эта конфигурация продемонстрировала среднюю абсолютную ошибку MAE на уровне 0,20, что служит приемлемым показателем для данной задачи. Отметили, что увеличение сложности архитектуры не всегда приводило к улучшению прогностической способности, подтверждая необходимость оптимизации структуры. Выявили, что наиболее значимые факторы, влияющие на аварийность воздушных линий 0,4 киловольт, – срок эксплуатации линии и метеорологические условия. (Выводы) Констатировали, что разработанная нейросетевая модель способна прогнозировать количество и тип повреждений воздушных линий 0,4 киловольт с приемлемой точностью; идентификация ключевых факторов аварийности позволяет целенаправленно планировать мероприятия по повышению надежности. **Ключевые слова:** нейронные сети, регрессионная модель, линии 0,4 кВ, прогнозирование повреждений, машинное обучение, электрические сети, надежность электроснабжения, прогнозирование аварийности.

Для цитирования: Зиниев Ш.З., Каргин В.А., Кротов И.В., Магомадов Р.А-М. Разработка и применение нейросетевой модели для прогнозирования аварийности в сельских распределительных сетях 0,4 кВ // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N2. С. 33-39. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-33-39. EDN: DWEIKY.

Scientific article

Development and Application of a Neural Network Model for Predicting Failure Rate in Rural Distribution Grids of 0.4 kV

Shamsudin Z. Ziniev¹,

Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: injenerni-klub@mail.ru;

Vitaliy A. Kargin^{2,3},

Dr.Sc.(Eng.), associate professor;

Igor V. Krotov²,

postgraduate;

Rustam A-M. Magomadov¹,

Ph.D.(Eng.), associate professor

¹Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov, Chechen Republic, Grozny, Russian Federation;

²Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation;

³Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation

Abstract. Overhead power lines of 0.4 kilovolt are important for power supply in rural areas, but are subject to frequent damage due to climatic influences, wear and external factors. In the Shalinsky district of the Chechen Republic, difficult climatic conditions exacerbate the problem of accidents. Traditional diagnostic methods do not provide sufficient prediction accuracy, which necessitates the use of modern machine learning approaches, in particular neural networks, transition to proactive maintenance and improving reliability. (Research purpose) The research purpose is developing a regression model based on a neural network designed to predict the number and type of damage occurring on 0.4 kilovolt overhead lines in the Shalinsky district. (Materials and methods) For training and validation of the model, structured data on damage of 0.4 kilovolt overhead lines for 2018-2023 were applied from the journals of regional electric grids. We have developed a fully connected neural network with two hidden layers using the ReLU activation function and an output layer of seven neurons for regression. We conducted training using the RMSProp optimizer, the average absolute error metric (MAE) and the early stop technique to prevent overfitting. (Results and discussion) It was shown that during experiments with various neural network architectures, the best results were achieved for a model with two hidden layers containing 16 and 64 neurons, respectively. It was found that this configuration demonstrated an average absolute MAE error of 0.20, which is an acceptable indicator for this task. It was noted that an increase in the complexity of the architecture did not always lead to an improvement in predictive ability, confirming the need to optimize the structure. It was found that the most significant factors affecting the accident rate of 0.4 kilovolt overhead lines are the service life of the line and meteorological conditions. (Conclusions) It was stated that the developed neural network model is able to predict the number and type of damage of 0.4 kilovolt overhead lines with acceptable accuracy; identification of key accident factors makes it possible to purposefully plan measures to improve reliability.

Keywords: neural networks, regression model, lines of 0.4 kV, fault prediction, machine learning, electrical grids, power supply reliability, accident rate prediction.

EDN: FVPRQN Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-40-49 УДК 621.3

Моделирование устройства высокочастотной передачи информации по питающей сети

Илья Васильевич Поздняков¹,
аспирант, e-mail: pozdnyakov.200011@mail.ru;
Александр Владимирович Виноградов^{1,2},
доктор технических наук, доцент, профессор;
Вадим Павлович Шарупич¹,
доктор технических наук, доцент, профессор

¹Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, г. Орёл, Российская Федерация;

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. Внедрение средств удаленного управления электрооборудованием (электроприемниками) приводит к необходимости подтверждения фактов их включения, отключения, определения текущего состояния (включено, отключено). Это связано с тем, что используемые средства определения состояния электрооборудования опираются на информацию о состоянии контактов коммутационных устройств, например, магнитных пускателей, через которые осуществляются включение и отключение контролируемого электрооборудования. Однако состояние контактов данных устройств не всегда объективно отражает состояние электрооборудования. Например, при обрыве провода после коммутационного устройства возникает ситуация, при которой сигнал диспетчеру приходит о том, что электрооборудование в работе, а фактически оно отключено. Актуальна задача разработки устройств, позволяющих объективно определять состояние оборудования. (Цель исследования) Выполнить расчет параметров и моделирование устройства определения состояния электрооборудования с возможностью передачи информации по питающей сети. (Материалы и методы) Применили общенаучные методы исследования, обзор литературных источников, методы расчета и проектирования устройств передачи информации по питающей сети 380/220 вольт. (Результаты и обсуждение) Осуществили проектирование схемы устройства, передающего данные о состоянии электрооборудования через электрическую сеть 380/220 вольт. Провели расчет электронных компонентов схемы приемника и передатчика информации по сети 220 вольт, произвели моделирование работы соответствующих электронных узлов. (Выводы) Получили результаты моделирования в программе NI Multisim, а также испытаний реального разработанного устройства передачи информации, которые показывают, что обеспечиваются надежный прием и декодирование сообщений, а стабильность работы устройства практически не зависит от количества и видов электрооборудования в сети.

Ключевые слова: система мониторинга, состав работающего электрооборудования, идентификация, электроприемник, инвертор, трансформатор, резонанс.

Для цитирования: Поздняков И.В., Виноградов А.В., Шарупич В.П. Моделирование устройства высокочастотной передачи информации по питающей сети // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N2. С. 40-49. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-40-49. EDN: FVPRQN.

Scientific article

Simulation of a High-Frequency Information Transmission Device Over a Power Grid

Ilya V. Pozdnyakov¹,
postgraduate, e-mail: pozdnyakov.200011@mail.ru;
Aleksandr V. Vinogradov^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, professor;
Vadim P. Sharupich¹,
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, professor

¹Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Oryol, Russian Federation;

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The introduction of remote control of electrical equipment (electric receivers) leads to the need to confirm the facts of their switching, determination of the current state (on, off). This is due to the fact that the means used to determine the state of electrical equipment are based on information about the state of contacts of switching devices, for example, magnetic starters, through which the controlled electrical equipment is turned on and off. However, the state of contact of these devices does not always objectively reflect the state of electrical equipment. For example, when the wire breaks after the switching device, a situation arises in which the signal to the dispatcher comes that the electrical equipment is in operation, but in fact it is turned off. The task of developing devices that allow objectively determining the state of the equipment is urgent. (Research purpose) The research purpose is calculating the parameters and modelling the device for determining the state of electrical equipment with the possibility of transmitting information over the power grid. (Materials and methods) General scientific research methods, a review of literary sources, methods for calculating and designing information transmission devices over the 380/220 volts power grid were used. (Results and discussion) We designed a device that transmits data on the state of electrical equipment through an power grid of 380/220 volts. Calculated the electronic components of the receiver and information transmitter circuit over a 220 volt grid, simulated the operation of the corresponding electronic nodes. (Conclusions) We obtained the results of modeling in the NI Multisim program, as well as tests of a real developed information transfer device, which show that reliable reception and decoding of messages are provided, and the stability of the device is practically independent of the number and types of electrical equipment in the grid.*

Keywords: *monitoring system, operating electrical equipment, identification, electrical receiver, inverter, transformer, resonance.*

For citation: Pozdnyakov I.V., Vinogradov A.V., Sharupich V.P. Simulation of a high-frequency information transmission device over a power grid. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 40-49 (In Russian).DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-40-49. EDN: FVPRQN.

EDN: PACRUL Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-50-56 УДК 621.314

Однопроводная полуволновая резонансная передача электроэнергии на повышенной частоте

Леонид Юрьевич Юферев,

доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: Leouf@yandex.ru;

Олег Алексеевич Рощин,

кандидат технических наук, ведущий специалист, e-mail: Olerosh@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *В настоящее время известны две основные системы передачи электрической энергии на постоянном и переменном напряжении с частотой 50 Гц. Известно, что использование повышенного напряжения для передачи электроэнергии является экономически выгодным. Исходя из этого, высоковольтная линия на постоянном напряжении наиболее эффективна, поскольку содержит только два провода, а в линии наблюдаются исключительно омические потери. В то же время известно, что существует принципиальная возможность передачи энергии по сверхдальним линиям полуволнового типа, настроенных на полуволну электропередачи. (Цель исследования) Показать возможность и преимущества передачи электроэнергии в полуволновом режиме. (Материалы и методы) Проведен анализ отечественных и зарубежных научных литературных источников и патентов посредством аспектного метода, определены основные технические и технологические возможности повышения эффективности линий электропередачи, работающих в полуволновом режиме, а также обоснован принцип действия полуволновых линий, работающих в диапазоне повышенной частоты. (Результаты и обсуждение) Составлена схема замещения полуволновой линии электропередачи, определены параметры рабочей точки, обоснована актуальность применения данных систем передачи для маломощных потребителей. (Выводы) Дальнейшие исследования и разработка полуволновых маломощных линий электропередачи для электроснабжения расположенных*

вдалеке садоводческих товариществ, торговых точек, малых предприятий, коттеджей, фермерских хозяйств и др. в настоящее время являются весьма актуальными.

Ключевые слова: полуволновая линия электропередачи, электроснабжение сельскохозяйственных потребителей, повышенная частота, схема замещения, сооружения и реконструкция распределительных сетей.

Для цитирования: Юферов Л.Ю., Рощин О.А. Однопроводная полуволновая резонансная передача электроэнергии на повышенной частоте // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N2. С. 50-56. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-50-56. EDN: PACRUL.

Scientific article

Single-wire Half-wave Resonant Transmission of Electricity at an Increased Frequency

Leonid Yu. Yuferev,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;
Oleg A. Roshchin,
Ph.D.(Eng.), leading specialist

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Currently, there are two main systems for transmitting electrical energy at direct and alternating current with a frequency of 50 Hz. It is known that the use of increased voltage for the transmission of electricity is economically advantageous. Based on this, a high-voltage line of direct current is the most efficient, since it contains only two wires, and only ohmic losses are observed in the line. At the same time, it is known that there is a fundamental possibility of transmitting energy over ultra-long half-wave lines tuned to a half-wave power transmission. (Research Purpose) The research purpose is studying the possibility and advantages of transmitting electricity in half-wave mode. (Materials and methods) The analysis of domestic and foreign scientific literature sources and patents by means of the aspect method is carried out, the main technical and technological possibilities of increasing the efficiency of power transmission lines operating in half-wave mode are determined, and the principle of operation of half-wave lines operating in the high frequency range is substantiated. (Results and discussion) A half-wave power transmission line replacement scheme has been drawn up, the parameters of the operating point have been determined, and the relevance of using these transmission systems for low-power consumers has been substantiated. (Conclusions) Further research and development of half-wave low-power power transmission lines for power supply to horticultural associations, retail outlets, small businesses, cottages, farms, etc. located in the distance currently are very relevant.

Keywords: half-wave power transmission line, power supply for agricultural consumers, increased frequency, replacement scheme, construction and reconstruction of distribution grids.

For citation: Yuferev L.Yu., Roshchin O.A. Single-wire half-wave resonant transmission of electricity at an increased frequency. *Electrical Technology and Electrical Equipment in Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 50-56 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-50-56. EDN: PACRUL.

EDN: YEGTUN Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-57-62 УДК 620.9:004.056

Интеллектуальные системы управления микроклиматом для повышения энергоэффективности вертикальных ферм

Сергей Александрович Корольков^{1,2},
аспирант, ассистент, ya.rus88@bk.ru;
Оксана Александровна Липа¹,
кандидат технических наук, доцент

¹Российский государственный университет народного хозяйства имени В.И. Вернадского, г. Балашиха, Российская Федерация;

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. Исследуется внедрение интеллектуальной системы управления на основе искусственного интеллекта для повышения энергоэффективности многоярусных гидропонных установок в условиях городского фермерства (сити-фермерства). Разработанная архитектура системы интегрирует блок сбора данных с датчиков (контроль температуры, влажности, pH, ЕС и освещенности), блок обработки на микроконтроллере (Raspberry Pi/ESP32), модуль принятия решений на основе алгоритмов машинного обучения (многослойные перцептроны, рекуррентные нейронные сети) и блок управления исполнительными механизмами (светодиодное освещение, насосы, вентиляторы). Уделили особое внимание оптимизации системы освещения за счет попарной установки ламп разного спектра (например, Quantum Board Samsung LM301B 5000K + красные светодиоды 660 нанометров и плазменные лампы), интенсивность и спектр которых динамически регулируются модулем искусственного интеллекта в зависимости от фазы роста растения. (Цель исследования) Повысить энергоэффективность сити-фермерства через интеграцию искусственного интеллекта в управление гидропонными установками и системами орошения растений. (Материалы и методы) Провели эксперимент на четырехъярусной проточной гидропонной установке (Nutrient Film Technique – NFT) общей площадью выращивания 3 квадратных метра в течение 30 суток. Рассмотрели культуру – салат, сорт Руккола. (Результаты и обсуждение) Выполнили сравнение эффективности управления с искусственным интеллектом и вручную. Проанализировали методы подбора искусственного освещения растений путем подбора ламп, измерения мощностей, расстояний между ними на одной плоскости, количества освещаемых зеленых растений, длительности работы и подбора циклов установки. (Выводы) Выявили снижение энергопотребления на 30 процентов (со 120 до 84 киловатт-час за цикл), увеличение урожайности на 25,6 процентов (с 8,2 до 10,3 килограммов) и существенную стабилизацию pH питательного раствора ($\pm 0,1$). Показали, что экономический эффект за один цикл выращивания составил около 846 рублей, что подтверждает высокий потенциал масштабирования решения. Констатировали эффективность интеграции искусственного интеллекта и адаптивного освещения для создания автономных, ресурсоэффективных городских агросистем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, двойное освещение, сити-ферма, энергоэффективность, автоматизация, нейросети, микроклимат.

Для цитирования: Корольков С.А., Липа О.А. Интеллектуальные системы управления микроклиматом для повышения энергоэффективности вертикальных ферм // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. № 2. С. 57-62. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-57-62. EDN: YEGTUN.

Scientific article

Intelligent Microclimate Management Systems for Enhancing Energy Efficiency in Vertical Farming

Sergey A. Korolkov^{1,2},
postgraduate, assistant, ya.rus88@bk.ru;
Oksana A. Lipa¹,
Ph.D.(Eng.), associate professor

¹Vernadsky Russian State University of National Economy, Balashikha, Russian Federation;

²Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The introduction of an intelligent control system based on artificial intelligence to improve the energy efficiency of multi-tiered hydroponic installations in urban farming (city farming) is being investigated. The developed system architecture integrates a sensor data acquisition unit (temperature, humidity, pH, EC and light monitoring), a microcontroller processing unit (Raspberry Pi/ESP32), a decision-making module based on machine learning algorithms (multilayer perceptrons, recurrent neural networks) and a control unit for actuators (LED lighting, pumps, fans). We paid special attention to optimizing the lighting system by installing lamps of different spectra in pairs (for example, Samsung LM301B 5000K Quantum Board + 660 nanometer red LEDs and plasma lamps), the intensity and spectrum of which are dynamically adjusted by the artificial intelligence module depending on the growth phase of the plant. (Research purpose) The research purpose is improving the energy efficiency of urban farming through the integration of artificial intelligence into the management of hydroponic plants and plant irrigation systems. (Materials and methods) Conducted an experiment on a four-tiered flow hydroponic installation (Nutrient Film Technique – NFT) with a total cultivation area of 3 square meters for 30 days. We examined the culture – lettuce, Arugula variety. (Results and discussion) We performed a comparison of management efficiency with artificial intelligence and manually. The methods of selecting artificial lighting for plants by selecting lamps, measuring capacities, distances

between them on the same plane, the number of illuminated green plants, the duration of operation and the selection of installation cycles were analyzed. (Conclusions) A decrease in energy consumption by 30 percent (from 120 to 84 kilowatt-hours per cycle), an increase in yield by 25.6 percent (from 8.2 to 10.3 kilograms) and a significant stabilization of the pH of the nutrient solution (± 0.1) were revealed. It was shown that the economic effect for one growing cycle amounted to about 846 rubles, which confirms the high scaling potential of the solution. The effectiveness of the integration of artificial intelligence and adaptive lighting for the creation of autonomous, resource-efficient urban agricultural systems was stated.

Keywords: artificial intelligence, dual lighting, urban farming, energy efficiency, automation, neural networks, microclimate.

For citation: Korolkov S.A., Lipa O.A. Intelligent microclimate management systems for enhancing energy efficiency in vertical farming. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 57-62 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-57-62. EDN: YEGTUN

EDN: PYPYZJ Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-63-68 УДК 621.565.93/95

Вероятностно-статистическая модель оценки ресурса кожухотрубных теплообменных аппаратов

Владимир Андреевич Буторин,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: butorin_chgau@list.ru;
Игорь Борисович Царев,
кандидат технических наук, доцент;
Марина Викторовна Андреева,
соискатель

Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Челябинская область, Российская Федерация

Реферат. Теплообменные аппараты играют важную роль в различных технологиях сельскохозяйственного производства. Их долговечность служит одним из ключевых факторов, определяющих надежность оборудования. (Цель исследования) Разработать вероятностно-статистическую модель надежности кожухотрубных теплообменных аппаратов для использования в сельскохозяйственном производстве. (Материалы и методы) Учли особенности функционирования работы теплообменника в двух режимах: эксплуатационном, когда теплообменный аппарат используется по прямому назначению, и стояночном, при котором его применение не предусмотрено. Показали, что суммарная наработка теплообменника до отказа обусловлена предельным значением коррозионного износа, скоростей коррозии, а также константой, характеризующей режимы работы теплообменника. Приняли во внимание при получении плотности распределения ресурса теплообменного аппарата, что скорости коррозии – случайные величины с нормальной плотностью распределения. (Результаты и обсуждение) Установили исходные данные для определения плотности распределения ресурса теплообменника на разработанном стенде, к ним относятся: математическое ожидание скорости коррозии в случае применения по назначению $m_1 = 0,0144$ микрометров в час, математическое ожидание скорости коррозии в стояночном режиме $m_2 = 0,0300$ микрометров в час, среднеквадратическое отклонение скорости коррозии в случае применения по назначению $\sigma_1 = 0,0043$ микрометров в час, среднеквадратическое отклонение скорости коррозии в стояночном режиме $\sigma_2 = 0,0097$ микрометров в час. Определили, что коррозионный износ не должен превышать 1,5 миллиметра. Приняли коэффициент, характеризующий режим эксплуатации теплообменника, равным $k = 23$. Представили реализацию плотности распределения ресурса теплообменного аппарата и его параметры: математическое ожидание $m_T = 51,4$ тысячи часов и среднеквадратическое отклонение $\sigma_T = 19,6$ тысяч часов. Привели некоторые значения гамма-процентного ресурса. (Выводы) Разработали вероятностно-статистическую математическую модель, которая позволяет прогнозировать ресурс теплообменного аппарата в его вероятностном аспекте.

Ключевые слова: теплообменный аппарат, вероятностно-статистическая модель, режим работы, долговечность.

Probabilistic and Statistical Model for Estimating the Resource of Shell-and-Tube Heat Exchangers

Vladimir A. Butorin,
Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: butorin_chgau@list.ru;
Igor B. Tsarev,
Ph.D.(Eng.), associate professor;
Marina V. Andreeva,
applicant

South Ural State Agrarian University, Troitsk, Chelyabinsk region, Russian Federation

Abstract. Heat exchangers play an important role in various agricultural production technologies. Their durability is one of the key factors determining the reliability of the equipment. (Research purpose) The research purpose is developing a probabilistic-statistical model of reliability of shell-tube heat exchangers for use in agricultural production. (Materials and methods) The features of the functioning of the heat exchanger in two modes were taken into account: operational, when the heat exchanger is used for its intended purpose, and stand-by, in which its use is not provided. It was shown that the total hours to failure of the heat exchanger is due to the limiting values of corrosion wear, corrosion rates, as well as the constant characterizing the modes of operation of the heat exchanger. It was taken into account in obtaining the resource density of the heat exchanger that corrosion rates are random values with a normal distribution density. (Results and discussion) The initial data were established to determine the density of the distribution of the heat exchanger resource on the developed stand, these include: the mathematical expectation of the corrosion rate in the case of application for the purpose $m_1 = 0.0144$ micrometers per hour, the mathematical expectation of the corrosion rate in the stand-by mode $m_2 = 0.0300$ micrometers per hour, the average square deviation of the corrosion rate in the case of application for the purpose $\sigma_1 = 0.0043$ micrometers per hour, the average square deviation of the corrosion rate in the stand-by mode $\sigma_2 = 0.0097$ micrometers per hour. It was determined that corrosion wear should not exceed 1.5 millimeters. The ratio characterizing the operating mode of the heat exchanger is $k = 23$. Presented the realization of the resource density of the heat exchanger and its parameters: the mathematical expectation $m_T = 51.4$ thousand hours and the standard deviation $\sigma_T = 19.6$ thousand hours. Some gamma-percentage resource values were given. (Conclusions) We have developed a probability-statistical mathematical model that allows us to predict the life of a heat exchanger in its probabilistic aspect.

Keywords: heat exchanger, probabilistic-statistical model, operating mode, durability.

For citation: Butorin V.A., Tsarev I.B., Andreeva M.V. Probabilistic and statistical model for estimating the resource of shell-and-tube heat exchangers. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 63-68 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-63-68. EDN: PYPYZJ.

EDN: BJZSUK Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-69-79 УДК 338.43:637.1

Цифровые решения для управления молочными фермами: сравнительный анализ современных российских систем

Виктор Владимирович Рыкунов,
ассистент, e-mail: RykunovVV@mpei.ru;
Николай Ильич Гребенщиков,
старший преподаватель;
Дмитрий Александрович Шестов,
кандидат технических наук, старший преподаватель

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Российская Федерация

Реферат. Рассматриваются современные российские цифровые решения для управления молочными фермами и их соответствие глобальным тенденциям. Акцентируется внимание на значимости молочного животноводства для российского агропромышленного комплекса, а также на проблемах традиционных методов управления и преимуществах цифровизации, поддерживаемой государственными программами. (Цель исследования) Провести сравнительный анализ современных российских систем управления молочными фермами (Musoft, АРКА, М-Complex, «МОЛОКО 2.0», «Умная ферма 4.0») для определения их функциональных возможностей, уровня автоматизации и применимости для хозяйств различного масштаба, а также сравнить с глобальными аналогами для оценки конкурентоспособности. (Материалы и методы) Выполнили анализ описаний систем, научных публикаций и открытых источников о мировых платформах (Afimilk, DeLaval DelPro, VAS DairyComp 305, UNIFORM-Agri, GEA DairyNet Herd, MilkingCloud, AgriWebb). (Результаты и обсуждение) Привели обзор каждой российской системы: Musoft – универсальна для любого масштаба, но не интегрирована с роботами; АРКА – использует искусственный интеллект для мониторинга здоровья и рисков, ориентирована на средние и крупные фермы; М-Complex – модульная, с акцентом на планирование и управление ресурсами; «МОЛОКО 2.0» – облачная система с удобным вводом данных и функцией генеалогии; «Умная ферма 4.0» – интегрирована с роботизированными доильными установками, подходит для небольших автоматизированных ферм. Установили, что сравнение с международными системами выявляет их превосходство в области интернета вещей и автоматизации (например, DeLaval DelPro и Afimilk), однако российские системы выделяются доступностью и адаптацией к местным условиям. (Выводы) Показали, что российские системы конкурентоспособны для малых ферм, но нуждаются в модернизации с целью соответствия глобальным стандартам. Рекомендовали выбирать систему, исходя из масштаба и ресурсов конкретного хозяйства.

Ключевые слова: цифровизация сельского хозяйства, управление молочными фермами, сравнительный анализ, ИИ в животноводстве, роботизированное оборудование, российские системы управления, глобальные аналоги.

Для цитирования: Рыкунов В.В., Гребенщиков Н.И., Шестов Д.А. Цифровые решения для управления молочными фермами: сравнительный анализ современных российских систем // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №2. С. 69-79. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-69-79. EDN: BJZSUK.

Scientific article

Digital Solutions for Dairy Farm Management: a Comparative Analysis of Modern Russian Systems

Viktor V. Rykunov,

assistant, e-mail: RykunovVV@mpei.ru;

Nikolay I. Grebenshchikov,

senior lecturer;

Dmitriy A. Shestov,

Ph.D.(Eng.), senior lecturer

National Research University «MEI», Moscow, Russian Federation

Abstract. Modern Russian digital solutions for dairy farm management and their compliance with global trends are considered. Attention is focused on the importance of dairy farming for the Russian agro-industrial complex, as well as on the problems of traditional management methods and the advantages of digitalization supported by government programs. (Research purpose) The research purpose is conducting a comparative analysis of modern Russian dairy farm management systems (Musoft, ARKA, M-Complex, MILK 2.0, Smart Farm 4.0) to determine their functionality, level of automation and applicability for farms of various scales, as well as comparing with global counterparts to assess competitiveness. (Materials and methods) We analyzed the descriptions of systems, scientific publications and open sources about global platforms (Afimilk, DeLaval DelPro, VAS DairyComp 305, UNIFORM-Agri, GEA DairyNet Herd, MilkingCloud, AgriWebb). (Results and discussion) They gave an overview of each Russian system: Musoft – universal for any scale, but not integrated with robots; ARKA – uses artificial intelligence to monitor health and risks, focused on medium and large farms; M-Complex – modular, with an emphasis on resource planning and management; MOLOKO 2.0 – cloud system with convenient data entry and genealogy function; Smart Farm 4.0 – integrated with robotic milking machines, suitable for small automated farms. It has been established that comparison with international systems reveals their superiority in the field of the Internet of Things and automation (for example, DeLaval DelPro and Afimilk), however, Russian systems stand out for their accessibility and adaptation to local

conditions. (Conclusions) We have shown that Russian systems are competitive for small farms, but need to be modernized in order to meet global standards. It was recommended to choose a system based on the scale and resources of a particular farm.

Keywords: digitalization of agriculture, dairy farm management, comparative analysis, AI in livestock, robotic equipment, Russian management systems, global analogs.

For citation: Rykunov V.V., Grebenshchikov N.I., Shestov D.A. Digital solutions for dairy farm management: a comparative analysis of modern Russian systems. *Electrical Technologies and Equipment in the Agro-industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 69-79 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-69-79. EDN: BJZSUK.

EDN: GHNFIUI Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-80-92 УДК 631.171

Удлинение производственной структуры животноводческих комплексов в условиях внедрения искусственного интеллекта: рыночные и энергетические эффекты региональной интеграции

Татьяна Васильевна Мамонтова,

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник,
e-mail: mamontova.2024@inbox.ru;

Алексей Семенович Дорохов,

доктор технических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник;

Владимир Вячеславович Кирсанов,

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник;

Дмитрий Юрьевич Павкин,

кандидат технических наук, старший научный сотрудник;

Сергей Сергеевич Юрочка,

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Специфика сельского хозяйства и животноводства превращает производство животноводческой продукции в объект управления исключительной сложности. Рассматривается построение каузальной петлевой диаграммы, описывающей усиливающие и балансирующие контуры, возникающие при внедрении искусственного интеллекта в социально-трудовую и производственную систему животноводства. (Цель исследования) Изучить существующий опыт и вектор масштабного применения технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве в рамках пятой промышленной революции; возможные способы включения искусственного интеллекта в систему разделения труда; описать объемы обрабатываемой информации, а также уровень энергопотребления, необходимый для обучения и применения искусственного интеллекта. (Материалы и методы) Обработали фоновую аналитическую информацию, обобщили мнения отраслевых и академических экспертов в области цифровизации сельского хозяйства, животноводства и внедрения искусственного интеллекта в производственные и социально-трудовые системы. (Результаты и обсуждение) Показали, что усиливающие контуры формируются за счет роста объема структурированных данных, снижения управленческой неопределенности и увеличения стадийности производственного контура, тогда как балансирующие петли отражают технологические, энергетические и организационные барьеры внедрения. Рассмотрели трансформацию стадийной структуры производства животноводческой продукции в условиях внедрения искусственного интеллекта, межферменной агрегации данных и региональной координации решений. (Выводы) Использовали для анализа структурных изменений аппарат нормированных единиц капитала, позволяющий концептуально отразить перераспределение и прирост производственного потенциала без привязки к конкретным ценовым параметрам. Произвели оценку энергетического измерения цифровизации животноводства. Установили на основе оценок объема данных, генерируемых на уровне фермы, и потребностей региональной вычислительной инфраструктуры, что искусственный интеллект выступает в качестве капитального блага высших порядков, требующего дополнительных энергетических ресурсов на дальних стадиях производства.

Ключевые слова: животноводство, овцеводство, стадийная структура производства, искусственный интеллект, энергетический баланс, энергопотребление, цифровизация АПК.

Для цитирования: Мамонтова Т.В., Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Юрочка С.С. Удлинение производственной структуры животноводческих комплексов в условиях внедрения искусственного интеллекта: рыночные и энергетические эффекты региональной интеграции // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N2. С. 80-92. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-80-92. EDN: GHNFUL.

Extending the Production Structure of Livestock Farms in the Context of Artificial Intelligence Implementation: Market and Energy Effects of Regional Integration

Tatyana V. Mamontova,

Ph.D.(Agri.), senior researcher, e-mail: mamontova.2024@inbox.ru;

Aleksey S. Dorokhov,

Dr.Sc.(Eng.), professor, member of the RAS, chief researcher;

Vladimir V. Kirsanov,

Dr.Sc.(Eng.), professor, corresponding member of the RAS, chief researcher;

Dmitriy Yu. Pavkin,

Ph.D.(Eng.), senior researcher;

Sergey S. Yurochka,

Ph.D.(Eng.), senior researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** The specifics of agriculture and livestock breeding make the production of livestock products an object of exceptional complexity. The article considers the construction of a causal loop diagram describing the reinforcing and balancing contours that arise when introducing artificial intelligence into the social, labor and production system of livestock breeding. (Research purpose) The research purpose is studying the existing experience and vector of large-scale application of artificial intelligence technologies in agriculture in the framework of the fifth industrial revolution; possible ways to include artificial intelligence in the division of labor; describing the amount of information processed, as well as the level of energy consumption necessary for training and application of artificial intelligence. (Materials and methods) We processed background analytical information, summarized the opinions of industry and academic experts in the field of digitalization of agriculture, livestock and the introduction of artificial intelligence in production and social and labor systems. (Results and discussion) They showed that reinforcing loops are formed by increasing the volume of structured data, reducing managerial uncertainty and increasing the stage of the production circuit, while balancing loops reflect technological, energy and organizational barriers to implementation. We considered the transformation of the stage structure of livestock production in the context of the introduction of artificial intelligence, inter-farm data aggregation and regional coordination of solutions. (Conclusions) To analyze structural changes, the apparatus of rationed capital units was used, which allows to conceptually reflect the redistribution and increase in production potential without reference to specific price parameters. The energy dimension of livestock digitalization was assessed. Based on estimates of the amount of data generated at the farm level and the needs of the regional computing infrastructure, artificial intelligence acts as a capital good of the highest order, requiring additional energy resources in the long-term stages of production.*

***Keywords:** animal husbandry, sheep breeding, stage production structure, artificial intelligence, energy balance, energy consumption, digitalization of the agro-industrial complex.*

For citation: Mamontova T.V., Dorokhov A.S., Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Yurochka S.S. Extending the production structure of livestock farms in the context of artificial intelligence implementation: market and energy effects of regional integration. *Electrical Technology and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 80-92 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-80-92. EDN: GHNFUL.

EDN: TVEJVT Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-93-99 УДК 621.314.26

Разработка программно-аппаратного комплекса для определения передаточной функции преобразователя частоты

Никита Андреевич Левченко,

ассистент, e-mail: nikitalevchenko46@gmail.com;

Сергей Сергеевич Ястребов,
кандидат физико-математических наук, доцент;
Андрей Иванович Адошев,
кандидат технических наук, доцент;
Геннадий Юрьевич Колесников,
кандидат технических наук, доцент

Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Российская Федерация

Настоящая статья подготовлена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2025-591) в рамках реализации мероприятий программы развития научного центра мирового уровня «Агроинженерия будущего» Ставропольского ГАУ, утвержденной протоколом заседания президиума Комиссии по научно-технологическому развитию Российской Федерации от 29.05.2025 № 3.

Реферат. В современных системах электропривода в промышленности и сельском хозяйстве для осуществления технологического процесса широко применяется частотное скалярное и векторное управление асинхронным электродвигателем при помощи преобразователя частоты. Для поддержания заданных параметров технологического процесса используются различные системы автоматического управления и регуляторы. Построение системы управления основывается на технологических требованиях и условиях работы механизма, по которым составляется ее математическая модель, в структуре которой каждый элемент представлен в виде звена со своей передаточной функцией. (Цель исследования) Разработать и реализовать методику для определения передаточной функции преобразователя частоты. (Материалы и методы) Использовали для определения передаточной функции преобразователя частоты спектральное «изображение» переходного процесса преобразователя частоты совместно с асинхронным электродвигателем, получаемое по результатам физического моделирования. Показали, что спектральное «изображение» переходного процесса создавали с использованием быстрого преобразования Фурье с «движущимся» прямоугольным окном, реализованное на языке программирования Python с применением программных библиотек NumPy, Matplotlib. Сравнили спектральное «изображение» переходного процесса преобразователя частоты с искусственно созданным «изображением» переходного процесса для звена с известной передаточной функцией. Провели сравнение по евклидовому расстоянию и расстоянию Хэмминга. (Результаты и обсуждение) Применили разработанную методику к преобразователю частоты, при этом выявили время начала переходного процесса по входному аналоговому сигналу. Приняли размер «движущегося» прямоугольного окна как один период минимальной частоты выходного напряжения преобразователя частоты. Установили в результате применения методики передаточную функцию преобразователя частоты как апериодическое звено 1-го порядка с задержкой. (Выводы) Констатировали, что разработанная методика позволяет определять передаточную функцию преобразователя частоты в частотной области при его представлении звеном с практически любой передаточной функцией.
Ключевые слова: преобразователь частоты, передаточная функция, переходный процесс, комплексное быстрое преобразование Фурье, гармонические составляющие.

Для цитирования: Левченко Н.А., Ястребов С.С., Адошев А.И., Колесников Г.Ю. Разработка программно-аппаратного комплекса для определения передаточной функции преобразователя частоты // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №2. С. 93-99. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-93-99. EDN: TVEJVT.

Scientific article

Development of a Hardware and Software Complex for Determining the Transfer Function of a Frequency Converter

Nikita A. Levchenko,
assistant, e-mail: nikitalevchenko46@gmail.com;
Sergey S. Yastrebov,
Ph.D.(Phys.-Math.), associate professor;
Andrey I. Adoshev,
Ph.D.(Eng.), associate professor;

Gennadiy Yu. Kolesnikov,
Ph.D.(Eng.), associate professor

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russian Federation

This article was prepared with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2025-591) as part of the implementation of the world-class Agroengineering of the Future Scientific center development program at Stavropol State Agrarian University, approved by the minutes of the meeting of the Presidium of the Commission for Scientific and Technological Development of the Russian Federation dated 05/29/2025 No. 3.

Abstract. *In modern electric drive systems in industry and agriculture, frequency scalar and vector control of an asynchronous electric motor using a frequency converter is widely used to implement the technological process. To maintain the set parameters of the technological process, various automatic control systems and regulators are used. The construction of the control system is based on the technological requirements and operating conditions of the mechanism, according to which its mathematical model is compiled, in the structure of which each element is represented as a link with its own transfer function. (Research purpose) The research purpose is developing and implementing a methodology for determining the transfer function of a frequency converter. (Materials and methods) Used to determine the transfer function of the frequency converter, a spectral «image» of the transient process of the frequency converter together with an asynchronous electric motor obtained from the results of physical modeling. It was shown that the spectral «image» of the transient process was created using a fast Fourier transform with a «moving» rectangular window, implemented in the Python programming language using the NumPy and Matplotlib software libraries. The spectral «image» of the transient process of the frequency converter was compared with an artificially created «image» of the transient process for a link with a known transfer function. Make a comparison of the Euclidean distance and the Hamming distance. (Results and discussion) We applied the developed technique to the frequency converter, while revealing the start time of the transient process using the input analog signal. The size of the «moving» rectangular window was taken as one period of the minimum frequency of the output voltage of the frequency converter. It was found as a result of the application of the technique that the transfer function of the frequency converter was determined as an aperiodic link of the 1st order with a delay. (Conclusions) It was stated that the developed technique makes it possible to determine the transfer function of a frequency converter in the frequency domain when it is represented by a link with almost any transfer function.*

Keywords: *frequency converter, transfer function, transient, complex fast Fourier transform, harmonic components.*

For citation: Levchenko N.A., Yastrebov S.S., Adoshev A.I., Kolesnikov G.Yu. Development of a hardware and software complex for determining the transfer function of a frequency converter. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 93-99 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-93-99. EDN: TVEJVT.

EDN: UKMISC Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-100-114

УДК 502.174.3

Анализ применения гибридных систем возобновляемой энергетики для электроснабжения потребителей в сельской местности России

Сергей Иванович Белов,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: sbelov_@mail.ru;

Олег Валерьевич Лештаев,

кандидат технических наук, доцент

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Развитие сельского хозяйства в России невозможно без совершенствования систем энергоснабжения сельских потребителей. Одно из эффективных решений – использование распределенной генерации с участием возобновляемых источников энергии и, в первую очередь, солнечной генерации, которая в последнее время успешно развивается, особенно в сельской местности южных регионов России. За рубежом в сельской местности активно применяются гибридные системы возобновляемой энергетики, которые сочетают в себе несколько разных источников возобновляемой энергии, что позволяет повысить показатели*

надежности и экономичности энергоснабжения сельских потребителей электроэнергии. Внедрение и развитие управляемых микросетей с максимальным использованием местных природных ресурсов даст возможность обеспечить надежное и эффективное энергоснабжение потребителей в сельскохозяйственных регионах России. (Цель исследования) Изучить зарубежный опыт и научные исследования по развитию систем электроснабжения сельских потребителей с участием разнообразных источников возобновляемой энергии, оценить преимущества, проблемы и перспективы развития гибридных микросистем для использования этого опыта с целью развития распределенной возобновляемой энергетики в сельскохозяйственных регионах России. (Материалы и методы) Проанализировали литературные источники по внедрению гибридных микросистем возобновляемой энергетики в сельской местности, в том числе материалы Международного энергетического агентства (IEA), Международного агентства по возобновляемой энергии (IRENA) и Международного альянса по сельской электрификации (ARE). (Результаты и обсуждение) Установили, что электрификация сельских потребителей с применением гибридных систем возобновляемой энергетики и созданием управляемых микросетей позволяет обеспечить надежное и качественное электроснабжение сельскохозяйственных потребителей, включая домохозяйства, фермерские производства и сельские социальные и инфраструктурные организации. (Выводы) Показали, что успешное внедрение гибридной микрогенерации с возобновляемыми источниками энергии в России должно сопровождаться поддержкой государства в разнообразных формах: законодательной, финансовой, научно-технической, обучающей, просвещающей и прочими способами поддержки новой технологической платформы в системе энергообеспечения конечных потребителей в сельской местности.

Ключевые слова: распределенная возобновляемая энергия, микросеть, гибридные системы возобновляемой энергетики, система энергоменеджмента, сельские интеллектуальные электросети.

Для цитирования: Белов С.И., Лештаев О.В. Анализ применения гибридных систем возобновляемой энергетики для электроснабжения потребителей в сельской местности России // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №2. С. 100-114. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-100-114. EDN: UKMISC.

Scientific article

Analysis of the use of hybrid renewable energy systems for power supply to consumers in rural areas of Russia

Sergey I. Belov,

Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: sbelov_@mail.ru;

Oleg V. Leshtaev,

Ph.D.(Eng.), associate professor

Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The development of agriculture in Russia is impossible without improving the energy supply systems of rural consumers. One of the effective solutions is the use of distributed generation with the participation of renewable energy sources and, first of all, solar generation, which has been successfully developing recently, especially in rural areas of the southern regions of Russia. Abroad, hybrid renewable energy systems are actively used in rural areas, which combine several different sources of renewable energy, which makes it possible to increase the reliability and efficiency of energy supply to rural electricity consumers. The introduction and development of controlled microgrids with the maximum use of local natural resources will make it possible to provide reliable and efficient energy supply to consumers in the agricultural regions of Russia. (Research purpose) The research purpose is studying foreign experience and scientific research on the development of power supply systems for rural consumers with the participation of various sources of renewable energy, assessing the advantages, problems and prospects for the development of hybrid microsystems to use this experience for the development of distributed renewable energy in agricultural regions of Russia. (Materials and methods) Analyzed literature sources on the introduction of hybrid microsystems of renewable energy in rural areas, including materials from the International Energy Agency (IEA), the International Renewable Energy Agency (IRENA) and the International Alliance for Rural Electrification (ARE). (Results and discussion) It has been found out that the electrification of rural consumers using hybrid renewable energy systems and the creation of controlled microgrids makes it possible to provide reliable and high-quality power supply to agricultural consumers, including households, farm production and rural social and infrastructure organizations. (Conclusions) It has been shown that the successful implementation of hybrid microgeneration with renewable energy sources in Russia should be accompanied by state support in various forms: legislative, financial,*

scientific and technical, educational, enlightening and other ways to support a new technological platform in the energy supply system of end-users in rural areas.

Keywords: distributed renewable energy, microgrid, hybrid renewable energy systems, energy management system, rural smart grids.

For citation: Belov S.I., Leshtaev O.V. Analysis of the use of hybrid renewable energy systems for power supply to consumers in rural areas of Russia. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 100-114 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-100-114. EDN: UKMISC

EDN: UZDSGW Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-115-122

УДК 620.9:62-93:631

Анализ применения способов и устройств для повышения энергоэффективности фотоэлектрических преобразователей

Алим Мансурович Арифов¹,

аспирант, e-mail: arifov.alim@inbox.ru;

Эскендер Алимович Бекиров¹,

доктор технических наук, профессор, e-mail: bekirov.e.a@cfuv.ru;

Леонид Юрьевич Юферев²,

доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник,

e-mail: leouf@yandex.ru

¹Физико-технический институт «КФУ им. В.И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация;

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация.

Реферат. При эксплуатации фотоэлектрических станций, обеспечивающих электрическое питание потребителей агропромышленного комплекса, нередко происходит покрытие их поверхностей слоем льда и снега, а также они подвергаются непрерывному воздействию потенциально-индуцированной деградации. Данные эффекты, в том числе и климатические, оказывают существенное негативное влияние на энерговыработку фотоэлектрических модулей, тем самым ограничивая возможности потребителя. Для анализа экономического фактора предложенных способов и устройств проведена оценка снижения объема недовыработки фотоэлектрических преобразователей, оправдывающих затраченные ресурсы. (Цель исследования) Оценить энергоэффективность предложенных способов и устройств, направленных на поддержание эффективной работы фотоэлектрических модулей, обеспечивающих электрическое питание зернового терминала. (Материалы и методы) Проведен анализ предложенных способов и устройств, повышающих энергетическую эффективность работы фотопреобразователей. (Результаты и обсуждение) Проведена оценка величины ущерба, нанесенного зерновому терминальному комплексу, из-за отсутствия генерации вследствие попадания снега на поверхности фотоэлектрических модулей, а также – оценка ущерба от эффекта потенциально-индуцированной деградации фотоэлектрических модулей с 2015 по 2040 год. (Выводы) Полученные результаты показали значительную эффективность предложенных способов и устройств автоматической очистки снега и регенерации фотоэлектрических модулей, пострадавших от негативного воздействия потенциально-индуцированной деградации.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, энергоэффективность, нагрев фотоэлектрического модуля, деградация.

Для цитирования: Арифов А.М., Бекиров Э.А., Юферев Л.Ю. Анализ применения способов и устройств для повышения энергоэффективности фотоэлектрических преобразователей // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N2. С. 115-122. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-115-122. EDN: UZDSGW.

Scientific article

Analysis of the Application of Methods and Devices to Improve the Energy Efficiency of Photovoltaic Converters

Alim M. Arifov¹,

postgraduate, e-mail: arifov.alim@inbox.ru;
Eskender A. Bekirov¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: bekirov.e.a@cfuv.ru;
Leonid Yu. Yuferev²,
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, chief researcher³,
e-mail: leouf@yandex.ru

¹Physics and Technology Institute «KFU V.I. Vernadsky», Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation;

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. During the operation of photovoltaic power plants providing electrical power to consumers of the agro-industrial complex, their surfaces are often covered with a layer of ice and snow, and they are also exposed to continuous exposure to potentially induced degradation. These effects, including climatic ones, have a significant negative impact on the energy output of photovoltaic modules, thereby limiting the consumer's capabilities. To analyze the economic factor of the proposed methods and devices, an assessment was made of reducing the amount of under-production of photovoltaic converters justifying the resources expended. (Research Purpose) The research purpose is evaluating the energy efficiency of the proposed methods and devices aimed at maintaining the efficient operation of photovoltaic modules providing electrical power to the grain terminal. (Materials and methods) The analysis of the proposed methods and devices that increase the energy efficiency of photoconverters is carried out. (Results and discussion) An assessment of the damage caused to the grain terminal complex due to the lack of generation due to snow on the surface of the photovoltaic modules was carried out, as well as damage from the effect of potentially induced degradation of photovoltaic modules from 2015 to 2040. (Conclusions) The results obtained showed the significant effectiveness of the proposed methods and devices for automatic snow cleaning and regeneration of photovoltaic modules affected by the negative effects of potentially induced degradation.

Keywords: photovoltaic module; energy efficiency; heating of the photovoltaic module; degradation.

For citation: Arifov A.M., Bekirov E.A., Yuferev L.Yu. Analysis of the application of methods and devices to improve the energy efficiency of photovoltaic converters. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 115-122 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-115-122. EDN: UZDSGW.

EDN: VVFVIY Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-123-129

УДК 621.31

Компьютерное моделирование многофазной ветроэнергетической установки для электроснабжения объектов агропромышленного комплекса

Артур Валерьевич Махиянов¹,

ассистент, e-mail: artur28061998@mail.ru;

Роберт Радилович Саттаров¹,

доктор технических наук, профессор;

Айнур Иршатович Азнагулов²,

кандидат технических наук, младший научный сотрудник

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация;

²Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Российская Федерация

Реферат. Современная энергетика агропромышленного комплекса отличается устойчивой тенденцией к интеграции возобновляемых источников энергии, среди которых ветроэнергетика занимает одно из ключевых мест как средство снижения затрат и повышения энергетической независимости сельскохозяйственных предприятий. Представлены результаты моделирования в среде MATLAB Simulink многофазной ветроэнергетической установки, предназначенной для электроснабжения объектов агропромышленного комплекса (фермы, теплицы, насосные станции орошения и другие). (Цель исследования) Изучить возможность стабилизации выходного напряжения многофазной ветроэнергетической установки при низких скоростях ветра. (Материалы и методы) Использовали в качестве основного метода исследования компьютерное моделирование в среде MATLAB Simulink, что дает возможность проанализировать различные режимы работы как при низких, так и нормальных скоростях ветра.

(Результаты и обсуждение) Разработали и смоделировали ветроустановку, позволяющую стабилизировать выходное напряжение к текущему ветровому потенциалу и уровню нагрузки потребителей агропромышленного комплекса. Показали при моделировании три основных режима работы: при нормальной скорости ветра используется параллельное соединение трех выпрямителей; при снижении скорости в два раза схема переключается на последовательное соединение двух выпрямителей; при снижении скорости в четыре раза задействуется последовательное соединение трех выпрямителей. Подтвердили результатами моделирования, что предложенная конфигурация ветроустановки с реконфигурируемой схемой выпрямления позволяет эффективно стабилизировать напряжение в широком диапазоне изменений скорости ветра, повышая надежность и энергоэффективность автономных энергосистем агропромышленного комплекса для корректной работы электроприводов, систем вентиляции, доильного оборудования, насосов и холодильных установок. (Выводы) Констатировали перспективность применения ветроэнергетических установок для уменьшения зависимости сельскохозяйственных предприятий от сетевого электроснабжения и традиционных видов топлива.

Ключевые слова: энергоэффективность, возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, ветроэнергетическая установка, стабилизация напряжения, магнитоэлектрический генератор, агропромышленный комплекс.

Для цитирования: Махиянов А.В., Саттаров Р.Р., Азнагулов А.И. Компьютерное моделирование многофазной ветроэнергетической установки для электроснабжения объектов агропромышленного комплекса // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N2. С. 123-129. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-123-129. EDN: VVFIY.

Scientific article

Computer Simulation of a Multiphase Wind Power Plant for Power Supply of Agro-Industrial Facilities

Arthur V. Makhyanov¹,

assistant, e-mail: artur28061998@mail.ru;

Robert R. Sattarov¹,

Dr.Sc.(Eng.), professor;

Aynur I. Aznagulov²,

Ph.D.(Eng), research assistant

¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation;

²Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation

Abstract. *The modern energy sector of the agro-industrial complex is characterized by a steady trend towards the integration of renewable energy sources, among which wind energy occupies one of the key places as a means of reducing costs and increasing the energy independence of agricultural enterprises. The results of modeling in the MATLAB Simulink environment of a multiphase wind power plant intended for power supply of agro-industrial facilities (farms, greenhouses, irrigation pumping stations, etc.) are presented. (Research purpose) The research purpose is studying the possibility of stabilizing the output voltage of a multiphase wind power plant at low wind speeds. (Materials and methods) Used computer simulation in the MATLAB Simulink environment as the main research method, which makes it possible to analyze various operating modes both at low and normal wind speeds. (Results and discussion) We have developed and modeled a wind turbine that allows us to stabilize the output voltage to the current wind potential and the load level of consumers of the agro-industrial complex. Three main operating modes were shown during simulation: at normal wind speed, a parallel connection of three rectifiers is used; when the speed is reduced by two times, the circuit switches to a serial connection of two rectifiers; when the speed is reduced by four times, a serial connection of three rectifiers is activated. Confirmed by the simulation results that the proposed configuration of a wind turbine with a reconfigurable rectification circuit makes it possible to effectively stabilize the voltage in a wide range of wind speed changes, increasing the reliability and energy efficiency of autonomous power systems of the agro-industrial complex for the correct operation of electric drives, ventilation systems, auxiliary equipment, pumps and refrigeration units. (Conclusions) The prospects of using wind power plants to reduce the dependence of agricultural enterprises on mains power supply and traditional fuels were described.*

Keywords: energy efficiency, renewable energy sources, wind energy, wind power plant, voltage stabilization, magnetolectric generator, agro-industrial complex.

For citation: Makhyanov A.V., Sattarov R.R., Aznagulov A.I. Computer simulation of a multiphase wind power plant for power supply of agro-industrial facilities. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N2. 123-129 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-2-123-129. EDN: VVFIY.

