

Разработка и исследование параметров сверхвысокочастотной установки для термообработки субпродуктов

Дмитрий Витальевич Поручиков¹,

научный сотрудник;

Ирина Георгиевна Ершова¹,

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: eig85@yandex.ru;

Сергей Владимирович Соловьёв^{2,3},

кандидат технических наук, доцент

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

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

³Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Москва, Российская Федерация

Реферат. В России наблюдается рост производства мяса: в 2024 году объем производства составил 12,22 миллионов тонн, что на 2-3 процента больше предыдущего года. Производство мяса птицы в сельскохозяйственных организациях достигло 5,53 миллиона тонн (в живом весе) за январь-октябрь 2023 года, с прогнозом роста до 6,7 миллионов тонн по итогам года. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения рентабельности производства мясных субпродуктов путем их реализации в переработанном виде. Работа направлена на разработку инновационной СВЧ-установки для термообработки и массирования субпродуктов в рассоле. (Цель исследования) Разработать радиогерметичную СВЧ-установку для термообработки субпродуктов в процессе массирования в рассоле, позволяющую улучшить потребительские свойства мясного продукта при сниженных энергетических затратах. (Материалы и методы) Провели анализ физических процессов при электромагнитном воздействии, разработали технологию совмещения термообработки и массирования, создали трехмерную модель резонатора-барабана. (Результаты и обсуждение) Показали основные параметры разработанной установки – производительность: 10 килограммов в час, удельная мощность: 1,6 ватт на грамм, продолжительность обработки: 60 минут (в базовом исполнении 90 минут), концентрация соли: 12,88 процента; энергетические затраты: 0,185 киловатт-час на килограмм, частота вращения: 23 оборота в минуту. Выявили, что результаты внедрения технологии дали ускорение термообработки на 33 процента и получение продукта с улучшенными потребительскими характеристиками. (Выводы) Исследовали мощности потока излучений СВЧ-установки с целевым резонатором-барабаном в экранирующем корпусе с открывающимся люком для загрузки сырья и выгрузки продукта. Определили, что длительность пребывания персонала в зонах влияния источника излучения оценивалась по энергетической экспозиции. Констатировали, что разработанную СВЧ-установку по безопасной норме СВЧ-излучения можно обслуживать на расстоянии 0,5 метра в течение рабочего дня.

Ключевые слова: субпродукты, термообработка в электромагнитном поле сверхвысокой частоты, целевой резонатор, массирование, эндогенный нагрев.

Для цитирования: Поручиков Д.В., Ершова И.Г., Соловьёв С.В. Разработка и исследование параметров сверхвысокочастотной установки для термообработки субпродуктов // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №3. С. 3-10. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-3-10. EDN: FXDZZW.

Scientific article

Development and Study of Parameters of Ultra-High-Frequency Installation for Heat Treatment of By-Products

Dmitriy V. Poruchikov¹,

researcher;

Irina G. Ershova¹,

Dr.Sc.(Eng.), leading researcher, e-mail: eig85@yandex.ru;

Sergey V. Solovyov^{2,3}

Ph.D.(Eng.), associate professor

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

Abstract. In Russia, there is an increase in meat production: in 2024, the production amounted to 12.22 million tons, which is 2-3 percent more than the previous year. Poultry meat production in agricultural organizations reached 5.53 million tons (live weight) in January-October 2023, with a forecast of growth to 6.7 million tons for the year. The relevance of the study is due to the need to increase the profitability of the production of meat by-product by selling them in a processed form. The work is aimed at developing an innovative microwave plant for heat treatment and massaging of by-products in brine. (Research purpose) The research purpose is developing a radio-isolated microwave unit for heat treatment of offal during massaging in brine, which allows to improve the consumer properties of the meat product at reduced energy costs. (Materials and methods) We analyzed physical processes under electromagnetic influence, developed a technology for combining heat treatment and massaging, created a three-dimensional model of the resonator-drum. (Results and discussion) They showed that the main parameters of the developed unit: performance: 10 kilograms per hour, specific power: 1.6 watts per gram, processing duration: 60 minutes (in the basic version 90 minutes), salt concentration: 12.88 percent; energy costs: 0.185 kilowatt-hour per kilogram, rotation frequency: 23 revolutions per minute. It was found that the results of the technology implementation gave an acceleration of heat treatment by 33 percent and the production of a by-product with improved consumer characteristics. (Conclusions) We studied the radiation flux capacity of the microwave plant with a slot resonator-drum in the shielding case, with an opening hatch for loading raw materials and unloading the product. It was determined that the duration of staff stay in the areas of influence of the radiation source was estimated by energy exposure. It was stated that the developed microwave plant at a safe rate of microwave radiation can be serviced at a distance of 0.5 meters during the working day.

Keywords: by-products, heat treatment in an electromagnetic field of ultrahigh frequency, slot resonator, massaging, endogenous heating.

For citation: Poruchikov D.V., Ershova I.G., Solovyov S.V. Development and study of parameters of ultra-high-frequency installation for heat treatment of by-products. *Electrical Technologies and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. 73. N3. 3-10 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-3-10. EDN: FXDZZW.

EDN: BDFYVR Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-11-21 УДК 621.311.243

Адаптация релейной защиты сельских распределительных сетей 6-10 кВ к интеграции фотоэлектрических станций

Дарья Андреевна Коновалова,
аспирант, e-mail: darya.shagdyr@mail.ru;

Иван Алексеевич Коновалов,
аспирант;

Дмитрий Николаевич Карамов,
кандидат технических наук, доцент

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

Реферат. В связи с реализацией программ электрификации удаленных и сельских территорий в распределительные сети напряжением 6-10 киловольт, изначально выполненные по радиальному принципу с однонаправленным питанием, интегрируются фотоэлектрические станции. Появление обратных потоков активной мощности, порождаемых солнечной генерацией, вступает в противоречие с алгоритмами традиционных устройств релейной защиты и автоматики, создавая угрозу надежности электроснабжения сельских потребителей. Объект исследования – сельские распределительные сети 6-10 киловольт, содержащие фотоэлектрические станции; комплекс релейной защиты и автоматики, обеспечивающий их устойчивое функционирование. (Цель исследования) Проанализировать специфические вызовы, возникающие при интеграции фотоэлектрических станций в распределительные сети 6-10 киловольт сельских территорий; предложить научно обоснованные подходы к адаптации релейной защиты и автоматики, учитывающие особенности данного типа сетей. (Материалы и методы) Указали, что методика исследования основана на анализе физических процессов в электрических сетях,

систематизации дестабилизирующих сценариев и обобщении отечественного и зарубежного опыта эксплуатации распределительных сетей 6-10 и 35 кВ с распределенной генерацией, в том числе в сельской местности. (Результаты и обсуждение) Установили пять типовых сценариев нарушения функционирования защит: потеря селективности ненаправленными токовыми защитами; неразличение рабочего и аварийного обратного тока направленными защитами; ошибочное регулирование напряжения устройствами регулирования под нагрузкой; частотный разгон в непреднамеренных островных режимах; деградация параметров настройки защит от однофазных замыканий на землю. Предложили для каждого сценария технические меры, включающие переход к направленным защитами, внедрение реле скорости изменения частоты, коррекцию уставок с привлечением данных реальных измерений и адаптацию логики автоматических регуляторов напряжения. (Выводы) Показали, что полученные результаты ориентированы на применение электросетевыми организациями и проектными институтами при модернизации релейной защиты сельских распределительных сетей в условиях масштабного присоединения фотоэлектрических станций. Констатировали, что необходимы обновление нормативно-технической документации и повышение квалификации эксплуатационного персонала.

Ключевые слова: фотоэлектрическая станция, сельская распределительная сеть 6-10 кВ, обратная мощность, релейная защита, максимальная токовая защита, направленная защита, РПН, дугогасящий реактор, однофазное замыкание на землю, частотный разгон, электрификация сельских территорий.

Для цитирования: Коновалова Д.А., Коновалов И.А., Карамов Д.Н. Адаптация релейной защиты сельских распределительных сетей 6-10 кВ к интеграции фотоэлектрических станций // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №3. С. 11-21. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-11-21. EDN: BDFYVR.

Scientific article

Adaptation of Relay Protection of Rural 6-10 kV Distribution Grid to the Integration of Photovoltaic Stations

Darya A. Konvalova,
postgraduate, e-mail: darya.shagdyr@mail.ru;
Ivan A. Konvalov,
postgraduate;
Dmitriy N. Karamov,
Ph.D.(Eng.), associate professor

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. In connection with the implementation of electrification programs for remote and rural areas, photovoltaic stations are integrated into distribution grids with a voltage of 6-10 kilovolts, originally made on a radial principle with a unidirectional power supply. The emergence of reverse overflows of active power generated by solar generation contradicts the algorithms of traditional relay protection devices and automation, creating a threat to the reliability of electricity supply to rural consumers. The object of the research is rural distribution grids of 6-10 kilovolts containing photovoltaic stations; a complex of relay protection and automation that ensures their stable functioning. (Research purpose) The research purpose is analyzing specific challenges arising from the integration of FPPs into distribution grids of 6-10 kilovolts rural areas; proposing scientifically based approaches to the adaptation of relay protection and automation, taking into account the features of this type of grids. (Materials and methods) The research methodology is based on the analysis of physical processes in electrical grids, systematization of destabilizing scenarios and generalization of domestic and foreign experience in the operation of 6-10 and 35 kilovolt distribution grids with distributed generation, including in rural areas. (Results and discussion) Five typical scenarios of violation of the functioning of protections were established: loss of selectivity by undirected current protections; non-distinguishment of working and emergency reverse current by directed protections; erroneous regulation of voltage by control devices under load; frequency acceleration in unintentional island regimes; degradation of the parameters of protection settings against single-phase circuits on the ground. For each scenario, technical measures were proposed, including the transition to directed protection, the introduction of a frequency change rate relay, the correction of settings with the involvement of real measurement data and the adaptation of the logic of automatic voltage regulators. (Conclusions) They showed that the obtained results are focused on the use of electric grid organizations and design institutes in the modernization of relay protection of rural distribution grids in

the conditions of large-scale connection of photovoltaic stations. It was noted that it is necessary to update the regulatory and technical documentation and improve the skills of operational personnel.

Keywords: photovoltaic power plant, rural distribution grids of 6-10 kV, reverse power, relay protection, maximum current protection, directional protection, RPN, arc extinguishing reactor, single-phase earth fault, frequency acceleration, electrification of rural areas.

For citation: Konovalova D.A., Konovalov I.A., Karamov D.N. Adaptation of relay protection of rural 6-10 kV distribution grid to the integration of photovoltaic stations. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N3. 11-21 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-11-21. EDN: BDFYVR.

EDN: BFGLVR Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-22-28 УДК 621.311.1:004.89

Комплексные нечеткие модели и механизмы логического вывода в локальных экспертных системах электросетевого обслуживания

Шамсудин Зелимович Зиниев¹,

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

Николай Иванович Гданский^{2,3},

доктор технических наук, профессор;

Виталий Александрович Каргин^{2,4},

доктор технических наук, доцент

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

²Российский биотехнологический университет, Москва, Российская Федерация;

³Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Российская Федерация;

⁴Московский технический университет связи и информатики, Москва, Российская Федерация

Реферат. Переход электрических сетей к обслуживанию по фактическому техническому состоянию вместо жестких межремонтных интервалов осложняется стохастичностью дефектов и множеством влияющих факторов. Классические аналитические модели в таких условиях работают плохо, поэтому востребованы гибридные интеллектуальные подходы, сочетающие обработку экспертных знаний и численных данных. (Цель исследования) Выполнить синтез математических моделей и специализированных алгоритмов логического вывода, позволяющих трансформировать данные о текущих повреждениях конструктивных элементов территориальных электрических сетей в обоснованные рекомендации по выбору ремонтных стратегий. (Материалы и методы) Использовали аппарат нечеткой логики на базе максиминной алгебры Л. Заде для формализации продукционных правил в виде дизъюнктивных нормальных форм. Показали, что входные переменные – это технологические дефекты подсистем опор, проводников и подстанционного оборудования, их текущие значения и краткосрочный прогноз получают через искусственные нейронные сети с последующей нормировкой на отрезок $[0; 1]$. Реализовали механизм вывода по модифицированной схеме Сугено первого порядка, однофазный контур для однородных подсистем и двухфазный – для смешанных, где учитывается возможность замены совокупности локальных ремонтов одним капитальным. (Результаты и обсуждение) Разработали двухфазный алгоритм логического вывода, представленный в виде BPMN-диаграммы; на первой фазе оценивается необходимость капитального ремонта по отдельному правилу: если порог ($\delta = 0,7$) превышен, система дает директивную рекомендацию; в противном случае запускается вторая фаза, где определяется вектор актуальности локальных ремонтов, сортируется и вычисляется интегральный эффект накопленных дефектов. Выявили, что при критическом множестве мелких повреждений итоговый показатель достигает единицы, что делает локальные ремонты нецелесообразными. Установили порог отбора локальных мероприятий эмпирически. (Выводы) Предложили математический аппарат, который переводит качественные регламенты обслуживания сетей в формализованные вычислительные алгоритмы. Определили, что сочетание нейросетевого прогноза и нечеткой логики повышает адаптивность оценок; двухфазный механизм позволяет объективно определять границу, за которой накопление мелких дефектов требует не локального, а капитального ремонта, что дает оптимизацию затрат.

Ключевые слова: нейро-нечеткий вывод, сеть Сугено, искусственная нейронная сеть, максиминные операции, планирование ремонтов, локальная экспертная система, техническое состояние электрооборудования, электрические сети, надежность электроснабжения, прогнозирование аварийности.

Для цитирования: Зиниев Ш.З., Гданский Н.И., Каргин В.А. Комплексные нечеткие модели и механизмы логического вывода в локальных экспертных системах электросетевого обслуживания // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. С. 22-28. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-22-28. EDN: BFGLVR.

Scientific article

Complex Fuzzy Models and Inference Mechanisms in Local Expert Systems for Electric Grid Maintenance

Shamsudin Z. Ziniev¹,

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

Nikolay I. Gdanskiy^{2,3},

Dr.Sc.(Eng.), professor;

Vitaliy A. Kargin^{2,4},

Dr.Sc.(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;

³National Research University «MPEI», Moscow, Russian Federation;

⁴Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The transition of power grids to service on the actual technical condition instead of rigid repair intervals is complicated by stochasticity of defects and many influencing factors. Classic analytical models work poorly in such conditions, so hybrid intellectual approaches combining the processing of expert knowledge and numerical data are in demand. (Research purpose) The research purpose is performing a synthesis of mathematical models and specialized algorithms of logical inference, which allow transforming data on current damage to structural elements of territorial power grids into reasonable recommendations for choosing repair strategies. (Materials and methods) The apparatus of fuzzy logic based on the maximal algebra of L. Zadeh was used to formalize production rules in the form of disjunctive normal forms. It was shown that input variables are technological defects of subsystems of supports, conductors and substation equipment, their current values and short-term forecast are obtained through artificial neural networks with subsequent normalization by a segment [0; 1]. The output mechanism according to the modified Sugeno scheme of the first order, a single-phase circuit for homogeneous subsystems and a two-phase one for mixed ones were implemented, which takes into account the possibility of replacing a set of local repairs with one capital one. (Results and discussion) A two-phase logical inference algorithm was developed, presented in the form of a BPMN diagram; in the first phase, the need for overhaul is estimated according to a separate rule: if the threshold ($\delta = 0.7$) is exceeded, the system gives a directive recommendation; otherwise, the second phase is launched, where the vector of relevance of local repairs is determined, the integral effect of accumulated defects is sorted and calculated. It was revealed that with a critical set of minor damages, the final indicator reaches one, which makes local repairs inexpedient. We set the threshold for selecting local events empirically. (Conclusions) We proposed a mathematical apparatus that translates high-quality rules of grid maintenance into formalized computational algorithms. It was determined that the combination of neural network forecast and fuzzy logic increases the adaptability of estimates; the two-phase mechanism allows to objectively determine the boundary beyond which the accumulation of small defects requires not local, but major repairs, which provides cost optimization.*

Keywords: *neuro-fuzzy inference, Sugeno network, artificial neural network, maximin operations, repair planning, local expert system, technical condition of electrical equipment, electrical grids, power supply reliability, failure forecasting.*

For citation: Ziniev Sh.Z., Gdanskiy N.I., Kargin V.A. Complex fuzzy models and inference mechanisms in local expert systems for electric grid maintenance. *Electrotechnologies and Electrical Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. 22-28 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-22-28. EDN: BFGLVR.

Разработка лабораторного стенда и оценка работы водородного топливного элемента для обеспечения электроэнергией бортовой сети БВС

Максим Алексеевич Литвинов,

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: litvvinov.max@yandex.ru;

Станислав Иванович Кривко,

инженер

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России FGUN-2025-0015.

Реферат. В условиях развития цифрового точного земледелия и мониторинга сельскохозяйственных угодий увеличение полетного времени беспилотных воздушных судов ограничивается удельной энергоемкостью традиционных литий-полимерных аккумуляторов. Водородные топливные элементы обеспечивают до пяти раз более высокую энергоемкость, однако отсутствие серийных миниатюрных контроллеров питания и нестабильность выходных параметров ВТЭ при динамических нагрузках требуют предварительного моделирования. (Цель исследования) Разработать лабораторный стенд для оценки рабочих характеристик PEM-мембран и методом масштабирования обосновать параметры энергоустановки БВС с размером рамы 750 миллиметров. (Материалы и методы) Разработали лабораторный стенд, включающий PEM-электролизер, лабораторную ячейку с PEM-мембраной, электродвигатель и измерительные приборы. Выполнили на основе вольтамперных характеристик PEM-мембраны масштабирование показателей для определения параметров топливной установки под целевые требования аккумуляторной батареи беспилотных воздушных судов. (Результаты и обсуждение) Установили линейную зависимость электрических показателей ячейки от интенсивности обдува. Показали, что при площади продувочного окна 149,76 квадратных миллиметров достигнуто напряжение 0,6 вольт. Определили в ходе расчета, что для питания бортовой сети беспилотных воздушных судов напряжением 25,2 вольт необходима сборка из 42 последовательно соединенных ячеек суммарной площадью 0,19 квадратных метра. Выявили, что площадь обдува одной ячейки составляет $4,49 \cdot 10^{-3}$ квадратных метра для обеспечения максимальной токоотдачи 40 ампер; при плотности тока 0,89 ампер на квадратный сантиметр необходим расход водорода $1,95 \cdot 10^{-4}$ кубический метр в секунду. (Выводы) Разработали лабораторный стенд, который позволяет оценить работу водородного топливного элемента и его способность обеспечивать электроэнергией компоненты беспилотных воздушных судов методом масштабирования показателей лабораторной PEM-мембраны. Констатировали, что полученные параметры топливного элемента формируют основу для проектирования контроллера питания бортовой сети питания. **Ключевые слова:** БВС, водородные топливные элементы, лабораторные исследования, лабораторный стенд, вольтамперные характеристики, PEM-мембраны.

Для цитирования: Литвинов М.А., Кривко С.И. Разработка лабораторного стенда и оценка работы водородного топливного элемента для обеспечения электроэнергией бортовой сети БВС // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №3. С. 29-35. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-29-68. EDN: BPAZTI.

Scientific article

Development of a Laboratory Test Bench and Evaluation of the Performance of a Hydrogen Fuel Cell for Powering the Onboard Electrical System of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Maksim A. Litvinov,

Ph.D.(Eng.), senior researcher, e-mail: litvvinov.max@yandex.ru;

Stanislav I. Krivko,

engineer

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia, project FGUN-2025-0015.

Abstract. In the context of the development of digital precision agriculture and monitoring of agricultural land, the increase in the flight time of unmanned aircraft is limited by the specific energy intensity of traditional lithium-polymer batteries. Hydrogen fuel cells provide up to five times higher energy intensity, but the absence of serial miniature power controllers and the instability of HFC output parameters under dynamic loads require preliminary modeling. (Research purpose) The research purpose is developing a laboratory stand to assess the performance of PEM membranes and, by scaling, substantiate the parameters of a UAV power plant with a frame size of 750 mm. (Materials and methods) A laboratory stand was developed, including a PEM electrolyser, a laboratory cell with a PEM membrane, an electric motor and measuring instruments. Based on the voltage-current characteristics of the PEM membrane, scaling of indicators was performed to determine the parameters of the fuel plant for the target requirements of the battery of unmanned aircraft. (Results and discussion) We have established a linear dependence of the electrical parameters of the cell on the intensity of the blowing. It was shown that with a purge window area of 149.76 square millimeters, a voltage of 0.6 V was achieved. It was determined during the calculation that to power the onboard network of unmanned aircraft with a voltage of 25.2 Volts, an assembly of 42 consecutively connected cells with a total area of 0.19 square meters is necessary. It was found that the area of blowing one cell is 4.49×10^{-3} square meters to ensure maximum current output of 40 amperes; with a current density of 0.89 amperes per square centimeter, hydrogen consumption is required 1.95×10^{-4} cubic meters per second. (Conclusions) We have developed a laboratory stand that allows us to evaluate the operation of the hydrogen fuel cell and its ability to provide electricity to the components of unmanned aircraft by scaling the laboratory PEM membrane. It was stated that the obtained parameters of the fuel cell form the basis for the design of the power controller of the onboard power supply network. **Keywords:** UAV, hydrogen fuel cells, laboratory studies, laboratory test bench, voltage-current characteristics of a PEM membrane.

For citation: Litvinov M.A., Krivko S.I. Development of a laboratory test bench and evaluation of the performance of a hydrogen fuel cell for powering the onboard electrical system of an unmanned aerial vehicle (UAV). *Electrical Technology and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N3. 29-35 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-29-35. EDN: BPAZTI.

EDN: IZEPWL Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-36-40 УДК 621.311

Способ гашения дуги с синхронизацией в предохранителе и дугогасительной камере КРУН 35 кВ

Роберт Султанович Ахметшин¹,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: zoia_2007@inbox.ru;

Тамара Борисовна Лещинская,

доктор технических наук, профессор;

Евгений Владимирович Попрядухин²,

магистрант

¹Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Набережные Челны, Российская Федерация;

²Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, г. Орел, Российская Федерация

Реферат. Основной элемент комплектных распределительных устройств – коммутационная аппаратура, служащая для коммутации и гашения дуги при переключениях и отключениях в случае коротких замыканий. Комплектные распределительные устройства наружной установки 35 киловольт подстанций 35/0,4 киловольт оснащаются предохранителями и выключателями нагрузки. Актуальным остается вопрос совершенствования защиты от коротких замыканий трансформаторов данных подстанций за счет реализации способа гашения дуги с синхронизацией в предохранителе и дугогасительной камере комплектного распределительного устройства 35 киловольт. (Цель исследования) Повысить надежность и эффективность работы электрооборудования на примере предлагаемого варианта монтажа комплектного распределительного устройства напряжением 35-110 киловольт; изучить вариант гашения (отключения) тока аварии путем синхронизации процессов в патронах кварцевых предохранителей напряжением 35 киловольт и во внешних дугогасящих камерах. (Материалы и методы) Использовали сведения из литературных источников об имеющихся решениях по изготовлению и освоению отечественных и зарубежных комплектных распределительных устройств 35 киловольт для трансформаторных подстанций

35/0,4 киловольт. Применили общенаучные методы исследования, анализ существующих решений и синтез новых знаний в части совершенствования защит в комплектных распределительных устройствах 35 киловольт. (Результаты и обсуждение) Разработали способ гашения дуги с синхронизацией в предохранителе и дугогасительной камере комплектного распределительного устройства 35 киловольт. Привели в предлагаемом техническом решении пример исполнения КРУН 35 киловольт, в состав которого входит применение предохранителей для защиты силовых трансформаторов мощностью до 630 киловольт-ампер. Предложили метод гашения дуги в дугогасительной камере и использование микропроцессорной релейной защиты для сокращения времени срабатывания размыкающего контакта. (Выводы) Представили решения по совершенствованию защиты от аварийных режимов и варианты комплектного распределительного устройства с их реализацией, которые способствуют развитию системы электроснабжения подстанций напряжением 35/0,4 киловольт, и позволяют повысить надежность электроснабжения сельских потребителей.

Ключевые слова: силовой трансформатор, электрический предохранитель, комплектное распределительное устройство наружной установки, комплектная трансформаторная подстанция, выключатель нагрузки, комплекты микропроцессорной защиты.

Для цитирования: Ахметшин Р.С., Лещинская Т.Б., Попрыдухин Е.В. Способ гашения дуги с синхронизацией в предохранителе и дугогасительной камере КРУН 35 кВ // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №3. С. 36-40. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-36-40. EDN: IZEPWL.

Scientific article

A Method of Extinguishing an Arc with Synchronization in a Fuse and an Arc Extinguishing Chamber of Complete Switchgear of 35 Kv

Robert S. Akhmetshin¹,

Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: zoia_2007@inbox.ru;

Tamara B. Leshchinskaya,

Dr.Sc.(Eng.) professor;

Evgeniy V. Popryadukhin²,

master's student

¹Naberezhnochelninsky Institute (branch) of Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russian Federation;

²Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Oryol, Russian Federation

Abstract. The main element of complete switchgear is switching equipment, which serves for switching and extinguishing the arc during switching and disconnecting in the case of short circuits. Complete switchgears of the outdoor installation 35 kilovolts of substations 35/0.4 kilovolts are equipped with fuses and load switches. The issue of improving protection against short circuits of transformers of these substations by implementing a method of extinguishing the arc with synchronization in the fuse and arc-extinguishing chamber of a complete switchgear of 35 kilovolts remains relevant. (Research Purpose) The research purpose is increasing the reliability and efficiency of electrical equipment on the example of the proposed option of mounting a complete switchgear with a voltage of 35-110 kilovolts; studying the option of extinguishing the current of the accident by synchronizing processes in the cartridges of quartz fuses with a voltage of 35 kilovolts and in external arc-extinguishing chambers. (Materials and methods) We used information from literary sources about available solutions for the manufacture and development of domestic and foreign complete switchgear 35 kV for transformer substations 35/0.4 kV. We applied general scientific research methods, analysis of existing solutions and synthesis of new knowledge in terms of improving protections in complete switchgear 35 kilovolts. (Results and discussion) Developed a way to extinguishing the arc with synchronization in the fuse and arc chamber of the complete switchgear of 35 kilovolts. In the proposed technical solution, an example of complete switchgear 35 kilovolts was given, which includes the use of fuses to protect power transformers with a power of up to 630 kilovolt-amperes. A method of extinguishing the arc in the arc chamber and the use of microprocessor relay protection to reduce the time of operation of the opening contact was proposed. (Conclusions) We presented solutions to improve protection against emergency modes and options for a complete switchgear with their implementation, which contribute to the development of a power supply system for substations with a voltage of 35/0.4 kilovolts, and allow to increase the reliability of power supply to rural consumers.

Keywords: power transformer, electric fuse, complete switchgear, complete transformer substation, load switch, microprocessor protection kits.

For citation: Akhmetshin R.S., Leshchinskaya T.B., Popryadukhin E.V. A method of extinguishing an arc with synchronization in a fuse and an arc extinguishing chamber of complete switchgear of 35 kV. *Electrical Technology and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N3. 36-40 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-36-40. EDN: IZEPWL.

EDN: MBDCRF Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-41-47 УДК 697.278:631.22

Режимы работы комбинированной системы электрического теплоаккумуляционного обогрева животноводческих помещений

Алексей Викторович Хименко,

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: avmkh87@gmail.com;

Дмитрий Анатольевич Тихомиров,

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

Алексей Васильевич Кузьмичев,

научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ФГБНУ ФНАЦ ВИМ FGUN-2025-0004.

Реферат. При выборе способа тепло- и воздухораспределения животноводческих помещений необходимо обеспечить заданный воздушно-тепловой режим в рабочей зоне расположения животных. В качестве источника обогрева помещений телятника различного назначения возможно использовать электрические теплоаккумуляционные установки конвективного типа. (Цель исследования) Изучить эффективность системы теплообеспечения на базе комбинированного электрического теплоаккумуляционного обогревателя и потолочного вентилятора для обогрева животноводческого помещения. (Материалы и методы) Разработали общую методику проведения экспериментальных исследований теплового режима рассматриваемого помещения с характеристикой контролируемых параметров при его обогреве электрической системой на базе комбинированного электрического теплоаккумуляционного обогревателя совместно с потолочным вентилятором. (Результаты и обсуждение) Привели выражения для расчета теплофизических характеристик помещения при его обогреве комбинированным электрическим теплоаккумуляционным обогревателем совместно с потолочным вентилятором и выбор его мощности для обеспечения колебания температуры помещения в пределах ± 2 градуса Цельсия. (Выводы) Выявили эффективность дополнительного дневного заряда комбинированного электрического теплоаккумуляционного обогревателя в течение 2-4 часов после 6-8 часов работы в режиме отдачи теплоты. Показали, что это позволит уменьшить суммарное время работы встроенного калорифера блока дополнительного нагрева воздуха комбинированного электрического теплоаккумуляционного обогревателя в вечернее и ночное время как минимум на 20-30 процентов, а также обеспечит температуру теплоаккумулирующего сердечника комбинированного электрического теплоаккумуляционного обогревателя в конце режима заряда 600-650 градусов Цельсия для эффективного теплосъема с сердечника в режиме отдачи теплоты. Констатировали, что использование комбинированного электрического теплоаккумуляционного обогревателя совместно с потолочным вентилятором для нагрева воздуха при условии учета электроэнергии по тарифу, дифференцированному в течение суток, приводит к снижению текущих годовых затрат у потребителя на оплату электроэнергии до 25 процентов, а также обеспечивает выравнивание температуры воздуха по высоте помещения и позволяет повысить температуру воздуха в рабочей зоне обогреваемого помещения на 2-3 градуса Цельсия.

Ключевые слова: электрический теплоаккумулятор, электрообогрев, тепловой режим помещения, потолочный вентилятор, режимы работы.

Operating Modes of a Combined Electric Thermal Storage Heating System in Livestock Premises

Aleksey V. Khimenko,

Ph.D.(Eng.), leading researcher, e-mail: avmkh87@gmail.com;

Dmitriy A. Tikhomirov,

Dr.Sc.(Eng.), Corresponding Member of RAS, chief researcher;

Aleksey V. Kuzmichev,

researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The work was performed within the framework of the State Task of the Ministry of Education and Science of Russia for FSBSI FSAC VIM FGUN-2025-0004.

Abstract. *When choosing the method of heat and air distribution of livestock premises, it is necessary to ensure the specified air-thermal regime in the working area of the animals. As a source of heating in the calf premises, it is possible to use electric heat storage units of convective type. (Research purpose) The research purpose is studying the efficiency of the heat supply system based on the combined electric heat storage heater and ceiling fan for heating the livestock room. (Materials and methods) We developed a general methodology for conducting experimental studies of the thermal regime of the room under consideration with the characteristics of the controlled parameters when it is heated by an electric system based on a combined electric heat storage heater together with a ceiling fan. (Results and discussion) Expressions were given for the calculation of the thermal physical characteristics of the room when it is heated by a combined electric heat storage heater together with a ceiling fan and the choice of its power to ensure the temperature fluctuations of the room in the range of ± 2 degrees Celsius. (Conclusions) The effectiveness of the additional daily charge of the combined electric heat storage heater for 2-4 hours after 6-8 hours of operation in the heat recovery mode was revealed. It was shown that this will reduce the total operating time of the built-in heater of the additional heating unit of the combined electric heat storage heater in the evening and night by at least 20-30 percent, and also provide the temperature of the heat storage core of the combined electric heat storage heater at the end of the charge mode of 600-650 degrees Celsius for effective heat removal from the core in the heat recovery mode. It was stated that the use of a combined electric heat-accumulation heater together with a ceiling fan for air heating, provided that electricity is taken into account at a tariff differentiated during the day, leads to a decrease in the current annual cost of electricity for the consumer up to 25 percent, and also ensures the leveling of air temperature in the height of the room and allows you to increase the temperature in the working area of the heated room by 2-3 degrees Celsius.*

Keywords: *electric thermal storage setup, electric heating, thermal regime for premises, animal, ceiling fan, operating modes.*

For citation: Khimenko A.V., Tikhomirov D.A., Kuzmichev A.V. Operating modes of a combined electric thermal storage heating system in livestock premises. *Electrical Technology and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N3. 41-47 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-41-47. EDN: MBDCRF.

EDN: ODPOOZ Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-48-55 УДК 631.22.01 / 636.2.034

Разработка алгоритмов функционирования лабораторного образца системы контроля параметров микроклимата

Игорь Мамедяревич Довлатов,

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: dovlatovim@mail.ru;

Илья Владимирович Комков,
аспирант, младший научный сотрудник, e-mail: ilyakomkov10@yandex.ru;
Дмитрий Александрович Будников,
доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: dimm13@inbox.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ФГБНУ ФНАЦ ВИМ FGUN-2025-0013

Реферат. Обеспечение стабильных параметров микроклимата в животноводческих комплексах – это фундаментальное условие сохранения физиологического гомеостаза, минимизации теплового стресса и максимизации молочной продуктивности крупного рогатого скота. Традиционные методы климат-контроля недостаточно оперативно реагируют на динамические изменения среды, требуя перехода к интеллектуальным адаптивным решениям. (Цель исследования) Разработать алгоритмы функционирования лабораторного образца автоматизированной системы контроля и регулирования параметров микроклимата животноводческих помещений для крупного рогатого скота. (Материалы и методы) Работа проводилась на базе специализированной лаборатории цифровых систем мониторинга ФНАЦ ВИМ с применением методов структурного моделирования, анализа нормативных документов и программной визуализации логики управления. (Результаты и обсуждение) В ходе исследования были спроектированы шесть последовательных режимов функционирования системы: экспресс-самодиагностики, циклического мониторинга датчиков, аналитической обработки данных, интеллектуального выбора исполнительных механизмов, их дифференцированного включения и критического реагирования. Интегрирована модернизированная модель расчёта температурно-влажностного индекса, дополненная коэффициентом влажности кормов, что позволило локализовать зоны теплового дискомфорта. Определены нормативные пороги срабатывания оборудования. Установлено, что предложенная алгоритмическая архитектура обеспечивает адаптивное управление микроклиматом. (Выводы) Разработанные алгоритмы обеспечивают многофакторную оптимизацию микроклимата, минимизируют ручной труд персонала и создают технологический фундамент для внедрения систем точного животноводства, гарантируя соответствие зоогигиеническим стандартам.

Ключевые слова: молочное животноводство, микроклимат, алгоритмы функционирования, управление оборудованием, крупный рогатый скот, точное животноводство, животноводческие помещения.

Для цитирования: Довлатов И.М., Комков И.В., Будников Д.А. Разработка алгоритмов функционирования лабораторного образца системы контроля параметров микроклимата // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №3. С. 48-55. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-48-55. EDN: ODPOOZ.

Scientific article

Development of Algorithms for the Functioning of a Laboratory Sample of a Microclimate Parameter Monitoring System

Igor M. Dovlatov,
Ph.D.(Eng.), senior researcher, e-mail: dovlatovim@mail.ru;
Ilya V. Komkov,
postgraduate, junior researcher, e-mail: ilyakomkov10@yandex.ru;
Dmitriy A. Budnikov,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, e-mail: dimm13@inbox.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The work was performed within the framework of the State Task of the Ministry of Education and Science of Russia for FSBSI FSAC VIM FGUN-2025-0013.

Abstract. Ensuring stable microclimate parameters in livestock complexes is a fundamental condition for maintaining physiological homeostasis, minimizing heat stress and maximizing the dairy productivity of cattle. Traditional methods of climate control do not respond quickly to dynamic changes in the environment, requiring a transition to intelligent adaptive solutions. (Research Purpose) The research purpose is developing algorithms for the functioning of a laboratory sample of an automated system for monitoring and managing the microclimate parameters of livestock

premises for cattle. (Materials and methods) The work was carried out on the basis of a specialized laboratory of digital monitoring systems of FSAC VIM using methods of structural modeling, analysis of regulatory documents and software visualization of management logic. (Results and discussion) In the course of the study, six sequential modes of functioning of the system were designed: express self-diagnostics, cyclic monitoring of sensors, analytical data processing, intelligent selection of actuators, their differentiated work and critical response. Integrated modernized model of calculation of temperature and humidity index, supplemented by feed humidity coefficient, which allowed to localize zones of thermal discomfort. Regulatory thresholds for the operation of equipment are defined. It is established that the proposed algorithmic architecture provides adaptive control of the microclimate. (Conclusions) The developed algorithms provide multifactorial optimization of the microclimate, minimize manual labor of personnel and create a technological foundation for the implementation of precision animal husbandry systems, ensuring compliance with zoohygienic standards.

Keywords: dairy farming, microclimate, functioning algorithms, equipment management, cattle, precision animal husbandry, livestock facilities.

For citation: Dovlatov I.M., Komkov I.V., Budnikov D.A. Development of algorithms for the functioning of a laboratory sample of a microclimate parameter monitoring system. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N3. 48-55 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-48-55. EDN: ODPOOZ.

EDN: OINHRI УДК 621:365.48

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-56-64 Научная статья

Теплофизическая модель вымени коровы как объекта термографического контроля

Иван Иванович Гирупкий¹,

доктор технических наук, доцент, e-mail: gir_50@mail.ru;

Андрей Григорьевич Сеньков²,

кандидат технических наук, доцент;

Денис Дмитриевич Слимаков¹,

аспирант

¹Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь;

²Центр радиотехники Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. Использование тепловизоров в технике и промышленности имеет многолетнюю историю. В последние годы проведены многочисленные исследования по применению термографии как неинвазивного метода диагностики воспалительных патологий у сельскохозяйственных животных. Измерение температуры в ветеринарии – важная технико-технологическая задача, которую необходимо решать, обязательно принимая во внимание биологические особенности сельскохозяйственных животных и области практической диагностики заболеваний, для которых должны проводиться такие измерения. Особое значение имеют вопросы диагностики мастита коров в условиях поточного производства молока. На результат анализа термографического снимка вымени с наличием и без воспалительной патологии влияют различного рода возмущения (помехи). (Цель исследования) Провести анализ и обобщение моделей теплообмена для биотехнических систем и синтезировать рациональную методику оценки изменения термодинамической температуры поверхности кожи вымени в зависимости от температурно-влажностных параметров производственного помещения с тепловизионной установкой. (Материалы и методы) Рассмотрели составляющие уравнения теплообмена основного ядра вымени через кожу с окружающей средой с возможностью количественной оценки вклада различных составляющих теплообмена на изменение термодинамической температуры поверхности кожи вымени коровы. (Результаты и обсуждение) Синтезировали в связи с отсутствием результатов экспериментальных исследований теплообмена вымени коровы в условиях производственного помещения, например, доильного зала, уравнение теплового баланса для вымени коровы путем обобщения существующих исследований, включая исследования по теплообмену человеческого организма. (Выводы) Получили зависимости и количественные оценки флуктуаций термодинамической температуры поверхности кожи вымени для учета в алгоритмах диагностики воспалительных заболеваний (мастит) на базе термографического метода. Определили, что

параметры модели необходимо уточнять путем накопления и статистической обработки данных для условий конкретного молочнотоварного комплекса.

Ключевые слова: теплообмен, вымя, корова, температура, термография.

Для цитирования: Гируцкий И.И., Сеньков А.Г., Слимаков Д.Д. Теплофизическая модель вымени коровы как объекта термографического контроля // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N3. С. 56-64. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-56-64. EDN: OINHRI.

Scientific article

Thermophysical Model of the Cow's Udder as an Object of Thermographic Control

Ivan. I. Girutskiy¹,

Dr.Sc.(Eng.), associate professor, e-mail: gir_50@mail.ru;

Andrey G. Senkov²,

Ph.D.(Eng.), associate professor;

Denis D. Slimakov¹,

postgraduate

¹Belarussian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus;

²Radio Engineering Center of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. *The use of thermal imagers in engineering and industry has a long history. In recent years, numerous studies have been conducted on the use of thermography as a non-invasive method of diagnosing inflammatory pathologies in farm animals. Temperature measurement in veterinary medicine is an important technical and technological task that must be solved, taking into account the biological characteristics of farm animals and the areas of practical diagnosis of diseases for which such measurements should be carried out. Of particular importance are the issues of diagnosing mastitis of cows in the conditions of stream milk production. The result of the analysis of the thermographic image of the udder with and without inflammatory pathology is affected by various kinds of disturbances (interference). (Research purpose) The research purpose is conducting an analysis and generalization of heat exchange models for biotechnical systems and synthesis a rational methodology for assessing the change in thermodynamic temperature of the udder skin surface depending on the temperature and humidity parameters of the production room with a thermal imaging installation. (Materials and methods) The components of the heat exchange equations of the main udder core through the skin with the environment were considered with the possibility of quantifying the contribution of various components of heat exchange to the change in thermodynamic temperature of the skin surface of the cow udder. (Results and discussion) In connection with the lack of results of experimental studies of heat exchange of cow udders in a production room, for example, a milking hall, the thermal balance equation for cow udders was synthesized by generalizing existing studies, including studies on heat exchange of the human body. (Conclusions) Dependencies and quantitative estimates of fluctuations of the thermodynamic temperature of the udder skin surface were obtained for accounting in the algorithms for diagnosing inflammatory diseases (mastitis) on the basis of the thermographic method. It was determined that the parameters of the model should be clarified by accumulating and statistically processing data for the conditions of a particular dairy complex.*

Keywords: heat exchange, udder, cow, temperature, thermography.

For citation: Girutskiy I.I., Senkov A.G., Slimakov D.D. Thermophysical model of the cow's udder as an object of thermographic control. *Electrical Technologies and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. 73. N3. 56-64 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-56-64. EDN: OINHRI.

EDN UVULEU Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-65-72 УДК 681.515

Повышение точности управления беспилотной сельскохозяйственной техникой на основе сплайнового интерполирования кривой нагрузки

Александр Викторович Карпов¹,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: avk1963@inbox.ru;

Николай Иванович Гданский^{2,3},

доктор технических наук, профессор, e-mail: al-kpp@mail.ru;

Виталий Александрович Каргин^{2,4},

доктор технических наук, доцент, e-mail: vakargin@mail.ru;

Владимир Александрович Стрельников⁵,

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

¹Московский политехнический университет, Москва, Российская Федерация;

²Российский биотехнологический университет, Москва, Российская Федерация;

³Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Российская Федерация;

⁴Московский технический университет связи и информатики, Москва, Российская Федерация;

⁵Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация

Реферат. В настоящее время внедрение автономных электрифицированных с адаптивными цифровыми системами управления транспортных средств, обеспечивающих беспилотную доставку и перемещение грузов, в том числе в ограниченных объемах складов и хранилищ, служит залогом революционного совершенствования логистики перевозок в сельскохозяйственных предприятиях и повышения эффективности отрасли в целом. Примером применения данных транспортных средств могут служить беспилотная доставка удобрений и средств защиты растений на поля, автоматизированный сбор урожая в садах и теплицах, транспортировка кормов на животноводческих комплексах. Для адекватного функционирования адаптивных цифровых систем управления транспортными средствами задача оптимального восстановления непрерывных кривых, например, траектории движения, нагрузки привода и др., по имеющимся дискретным значениям элементарно решается на основе алгоритмов сплайнового интерполирования функций. При этом показатели качества работы адаптивных цифровых систем управления транспортными средствами – точность, быстродействие – находятся в прямой зависимости от погрешности интерполирования (объема вычислительной работы) и определяются типом выбранных сплайнов. (Цель исследования) Определить тип сплайнов, обеспечивающий, при сопоставимой по объему вычислительной работе, минимальную погрешность и лучшую точность приближения полученных сплайновым интерполированием кривых к фактическим траекториям транспортных средств. (Материалы и методы) Предложены и численно исследованы, определяющие качество интерполирования, пять тестовых кривых для заданных и характерных в практике закономерностей движения транспортных средств. Представлен общий алгоритм расчета гарантированной точности интерполирования линейными, квадратичными и кубическими сплайнами. (Результаты и обсуждение) Сравнением показателей интерполирования по алгоритму гарантированной точности показано, что наименьшую погрешность результатов вычислений обеспечивают кубические интерполяционные сплайны Фергюссона. (Выводы) Показано, что интерполяция кусочной алгебраической кривой кубическими сплайнами Фергюссона повышает, в сравнении со сплайнами Лагранжа, гарантированную точность расчета, но предполагает увеличение ориентировочно в 1,7 раза вычислительных затрат на определение коэффициентов в сравнении с данным типом сплайнов.

Ключевые слова: адаптивная автоматизированная система управления, интерполяция, параметры модели, синтез управляющего воздействия, сплайн Лагранжа, сплайн Фергюссона, точное земледелие, беспилотные технологии, сельскохозяйственная робототехника, автоматизация сельского хозяйства, электропривод сельскохозяйственной техники.

Для цитирования: Карпов А.В., Гданский Н.И., Каргин В.А., Стрельников В.А. Повышение точности управления беспилотной сельскохозяйственной техникой на основе сплайнового интерполирования кривой нагрузки // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2026. Т. 73. №3. С. 65-72. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-65-72. EDN: UVULEU.

Scientific article

Improving the Control Accuracy of Unmanned Agricultural Vehicles Based on Spline Interpolation of the Load Curve

Aleksandr V. Karpov¹,

Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: avk1963@inbox.ru;

Nikolay I. Gdanskiy^{2,3},

Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: al-kpp@mail.ru;

Vitaliy A. Kargin^{2,4},
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, e-mail: vakargin@mail.ru;
Vladimir A. Strelnikov⁵,
Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: vladimirstrelnikov@yandex.ru

¹Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation;

²Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation;

³National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russian Federation;

⁴Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation;

⁵Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

Abstract. *Currently, the introduction of autonomous electrified vehicles with adaptive digital control systems that provide unmanned delivery and movement of goods, including in limited volumes of warehouses and storages, is the key to revolutionary improvement of transportation logistics in agricultural enterprises and increasing the efficiency of the industry as a whole. An example of the use of these vehicles can be the unmanned delivery of fertilizers and plant protection products to fields, automated harvesting in gardens and greenhouses, and the transportation of feed to livestock complexes. For the adequate functioning of adaptive digital vehicle control systems, the problem of optimal recovery of continuous curves, for example, motion trajectories, drive loads, etc., according to the available discrete values, is elementary solved on the basis of algorithms for spline interpolation of functions. At the same time, the performance indicators of adaptive digital vehicle control systems – accuracy, speed – are directly dependent on the interpolation error (amount of computational work) and are determined by the type of selected splines. (Research Purpose) The research purpose is determining the type of splines that provides, with a comparable amount of computational work, the minimum error and the best accuracy of approximating the curves obtained by spline interpolation to the actual trajectories of vehicles. (Materials and methods) Proposed and numerically investigated, determining the quality of interpolation, five test curves for the given and characteristic in practice patterns of movement of vehicles. A general algorithm for calculating the guaranteed accuracy of interpolation by linear, quadratic and cubic splines is presented. (Results and discussion) By comparing the interpolation indicators using the guaranteed accuracy algorithm, it is shown that the smallest error in the calculation results is provided by cubic Fergusson interpolation splines. (Conclusions) It is shown that the interpolation of a piecewise algebraic curve by cubic Fergusson splines increases, in comparison with Lagrange splines, the guaranteed accuracy of the calculation, but assumes an increase of approximately 1.7 times the computational costs for determining the coefficients in comparison with this type of splines.*

Keywords: *adaptive automated control system, interpolation, model parameters, control action synthesis, Lagrange spline, Ferguson spline, precision agriculture, unmanned technologies, agricultural robotics, agricultural automation, electric drives for agricultural machinery.*

For citation: Karpov A.V., Gdansky N.I., Kargin V.A., Strelnikov V.A. Improving the control accuracy of unmanned agricultural vehicles based on spline interpolation of the load curve. Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex. 2025. Vol. 72. N4. 65-72 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-65-72. EDN: UVULEU

EDN: WCKROV Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-73-80 УДК 631.3

Оценка эффективности моделирования параметров элеватора с интенсификатором картофелеуборочного комбайна

Имран Парвизович Гаджиев¹,
кандидат технических наук, e-mail: imgadjiev@mail.ru;

Николай Владимирович Лимаренко²,
доктор технических наук, доцент;

Иван Алексеевич Успенский³,
доктор технических наук, профессор;

Парвиз Имранович Гаджиев¹,
доктор технических наук, профессор;
Гюльбике Гудретдиновна Рамазанова¹,
кандидат технических наук, доцент

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

²Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация;

³Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Российская Федерация

Реферат. Цифровизация, моделирование элеватора с интенсификатором сепарации почвы дают возможность решения оценки потребляемой мощности сил транспортирования и сепарации пласта на картофелеуборочных комбайнах. Комплекс осуществляет автоматический расчет мощности и силовых характеристик на основе вводимых пользователем технологических параметров и наглядных графических моделей, разработанных по техническому заданию. (Цель исследования) Оценить эффективность моделирования параметров элеватора с интенсификатором картофелеуборочного комбайна. (Материалы и методы) Предусмотрели для решения задач моделирования интуитивно понятный графический интерфейс с полями ввода и кнопкой запуска вычислений. Установили, что система обеспечивает визуализацию результатов расчета в виде четырех аналитических графиков. Определили, что эффект от применения программного комплекса состоит в сокращении временных затрат на расчет параметров качества сепарации в 5-7 раз, повышении точности определения критических режимов работы оборудования, оперативном анализе влияния технологических параметров на энергетические показатели. (Результаты и обсуждение) Предложили цифровой продукт, реализующий функции ассистента по созданию и ведению базы данных, для оценки эффективности моделирования параметров элеватора с интенсификатором картофелеуборочного комбайна. (Выводы) Показали, что работа программы выстроена в соответствии с требованиями современного законодательства в сфере сельского хозяйства и экологии. Выявили, что предложенный вариант автоматизированного учета удобен и прост в использовании, применим для установки на смартфон, что позволяет экономить время специалиста, ведущего учет, повышая тем самым производительность труда, а также обеспечивая доступ к информации в любой момент времени. Показали, что в будущем программа может быть усовершенствована и дополнена функцией формирования и подачи online – отчетности в систему отчетов Министерства сельского хозяйства РФ.

Ключевые слова: цифровое моделирование, расчет параметров, интенсификатор, элеватор, сепарация почвы, эффективность моделирования.

Для цитирования: Гаджиев И.П., Лимаренко Н.В., Успенский И.А., Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г. Оценка эффективности моделирования параметров элеватора с интенсификатором картофелеуборочного комбайна // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №3. С. 73-80. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-73-80. EDN: WCKROV.

Scientific article

Evaluation of the Efficiency of Modeling the Parameters of an Elevator with a Potato Harvester Intensifier

Imran P. Gadzhiev¹,

Ph.D.(Eng.), e-mail: imgadjiev@mail.ru;

Nikolay V. Limarenko²,

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

Ivan A. Uspenskiy³,

Dr.Sc.(Eng.), professor;

Parviz I. Gadzhiev¹,

Dr.Sc.(Eng.), professor;

Gulbike G. Ramazanova¹,

Ph.D.(Eng.), associate professor

¹Russian State University of National Economy named after V.I. Vernadskiy, Balashikha, Russian Federation;

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation;

³Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russian Federation

Abstract. Digitalization, modeling of an elevator with a soil separation intensifier, make it possible to assess the power consumption of the transport and separation forces of the formation on potato harvesters. The complex automatically calculates power and power characteristics on the basis of user input technological parameters and visual graphical models developed according to the technical specification. (Research purpose) The research purpose is evaluating the

effectiveness of modeling the parameters of the elevator with a potato harvester intensifier. (Materials and methods) To solve modeling problems, an intuitively conceptual graphical interface with input fields and a start button for calculations was provided. The system provides visualization of the calculation results in the form of four analytical graphs. It was determined that the effect of the application of the software complex consists in reducing the time costs for calculating the parameters of the quality of separation by 5-7 times, increasing the accuracy of determining the critical modes of operation of the equipment, and promptly analyzing the impact of technological parameters on energy indicators. (Results and discussion) We proposed a digital product that implements the functions of an assistant for creating and maintaining a database to assess the effectiveness of modeling the parameters of an elevator with a potato harvester intensifier. (Conclusions) The work of the program was built in accordance with the requirements of modern legislation in the field of agriculture and ecology. We found that the proposed version of automated accounting is convenient and easy to use, applicable for installation on a smartphone, which saves time for a specialist who keeps records, thereby increasing labor productivity, as well as providing access to information at any time. In the future, the program can be improved and supplemented with the function of forming and submitting online reports to the reporting system of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation.

Keywords: digital modeling, parameter calculation, intensifier, elevator, soil separation, modeling effectiveness.

For citation: Gadzhiev I.P., Limarenko N.V., Uspenskiy I.A., Gadzhiev P.I., Ramazanov G.G. Evaluation of the efficiency of modeling the parameters of an elevator with a potato harvester intensifier. *Electrical Technologies and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N3. 73-80 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-73-80. EDN: WCKROV.

END: ZCEUBC Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-81-86 УДК 614.48: 614.94

Математическая модель движения роботизированной платформы для дезинфекции животноводческих помещений

Леонид Николаевич Прокопьев,

аспирант, e-mail: leonid_prokopen_2000@mail.ru;

Петр Леонидович Лекомцев,

доктор технических наук, профессор

Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Российская Федерация

Реферат. Высокая плотность содержания поголовья создает благоприятные условия для распространения патогенной микрофлоры, что становится причиной снижения продуктивности сельскохозяйственных животных на 15-20 процентов. В настоящее время традиционные стационарные системы санитарной обработки экономически нецелесообразны, в связи с этим в качестве эффективной альтернативы предлагаются мобильные роботизированные комплексы, генерирующие и равномерно распределяющие электроаэрозоли. (Цель исследования) Разработка математической модели движения роботизированной дезинфекционной платформы с учётом динамики разряда аккумуляторной батареи. (Материалы и методы) Модель построена на основе электромеханических уравнений тягового привода. Взаимосвязь электрических и механических параметров описывается без учёта индуктивности обмотки, через сопротивление, ток, константу противо-ЭДС и угловую скорость. Сила тяги на колёсах выражена через постоянную момента двигателя, радиус колеса и передаточное число редуктора. Ключевая особенность модели – интеграция обобщённого уравнения Пейкертта, описывающего процесс разряда аккумулятора, с уравнением движения робота. Напряжение батареи представлено в виде линейной аппроксимации в рабочем диапазоне. В результате получена система нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений. (Результаты и обсуждение) Испытания и расчёты показали, что платформа выходит на рабочую скорость 0,13-0,15 метров в секунду за 2-3 минуты, после чего режим стабилизируется. Известно, что наибольшую устойчивость и скорость обеспечивают литий-железо-фосфатные батареи (LiFePO₄), тогда как литий-ионные (Li-ion) демонстрируют несколько сниженные показатели. По мере продвижения платформы напряжение плавно снижается, что вызывает незначительное уменьшение скорости. При преодолении дистанции 80 метров падение напряжения не превышает 11-12 процентов, что подтверждает техническую достаточность выбранной ёмкости для полного цикла обработки. (Выводы) Внедрение автономных

роботизированных комплексов способствует рационализации технологических процессов, повышает коэффициент использования дезинфицирующих препаратов, минимизирует биологические риски для персонала и поголовья, а также создаёт условия для устойчивого развития отрасли. Разработанная модель подтверждает, что аккумулятор ёмкостью 2 Ампер-часа полностью покрывает энергетические потребности платформы.

Ключевые слова: роботизированная платформа, математическая модель, электроаэрозоль, дезинфекция животноводческих помещений, аккумуляторная батарея.

Для цитирования: Прокопьев Л.Н., Лекомцев П.Л. Математическая модель движения роботизированной платформы для дезинфекции животноводческих помещений // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N3. С. 81-86. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-81-86. EDN: ZCEUBC.

Scientific article

Mathematical Model of the Movement of a Robotic Platform for Disinfection of Livestock Facilities

Leonid N. Prokopiev,
postgraduate, e-mail: leonid_prokopiev_2000@mail.ru;
Petr L. Lekomtsev,
Dr.Sc.(Eng.), professor

Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russian Federation

Abstract. *The high density of livestock content creates favorable conditions for the spread of pathogenic microflora, which causes a decrease in the productivity of farm animals by 15-20 percent. Currently, traditional stationary sanitary treatment systems are economically impractical, in this regard, mobile robotic complexes that generate and evenly distribute electroaerosols are offered as an effective alternative. (Research Purpose) The research purpose is developing a mathematical model of the movement of a robotic disinfection platform taking into account the dynamics of the battery discharge. (Materials and methods) The model is based on electromechanical equations of traction drive. The relationship between electrical and mechanical parameters is described without taking into account the inductance of the winding, through resistance, current, counter-EMF constant and angular velocity. The traction force on the wheels is expressed through the constant torque of the engine, the radius of the wheel and the gear ratio of the gearbox. A key feature of the model is the integration of the generalized Paykert equation describing the process of battery discharge with the robot's equation of motion. The battery voltage is represented as a linear approximation in the operating range. The result is a system of nonlinear ordinary differential equations. (Results and discussion) Tests and calculations showed that the platform reaches an operating speed of 0.13-0.15 meters per second in 2-3 minutes, after which the mode stabilizes. It is known that the greatest stability and speed are provided by lithium-iron-phosphate batteries (LiFePO₄), while lithium-ion (Li-ion) show slightly reduced rates. As the platform moves, the voltage gradually decreases, which causes a slight decrease in speed. When overcoming the distance of 80 meters, the voltage drop does not exceed 11-12 percent, which confirms the technical sufficiency of the selected capacity for a full processing cycle. (Conclusions) The introduction of autonomous robotic systems contributes to the rationalization of technological processes, increases the utilization rate of disinfectants, minimizes biological risks for personnel and livestock, and creates conditions for sustainable development of the industry. The developed model confirms that the 2 Amp-hour battery fully covers the energy needs of the platform.*

Keywords: robotic platform, mathematical model, electroaerosol, disinfection of livestock facilities, and rechargeable battery.

For citation: Prokopyev L.N., Lekomtsev P.L. Mathematical model of the movement of a robotic platform for disinfection of livestock facilities. *Electrical Technology and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N3. 81-86 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-81-86. EDN: ZCEUBC.

EDN: XPRSBK Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-87-95 УДК 004.94

Моделирование и изготовление мобильного концентраторного
теплофотоэлектрического модуля с двусторонним фотоприемником

Владимир Анатольевич Панченко¹,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: pancheska@mail.ru;
Сергей Павлович Чирский²,
кандидат технических наук, доцент

¹Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация;

²Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Реферат. Комбинация солнечного коллектора и фотоэлектрического модуля имеет ряд положительных преимуществ при объединении этих двух устройств в одно комбинированное. В подобном рода устройстве происходит охлаждение фотоэлектрических преобразователей, что увеличивает их электрическую эффективность. Отводимое тепло повышает общую эффективность такого комбинированного модуля. Рассматриваются моделирование и изготовление складного солнечного теплофотоэлектрического модуля концентраторной конструкции с двусторонним фотоприемником. (Цель исследования) Создать трехмерную модель теплофотоэлектрического модуля с двусторонним фотоприемником в системе автоматизированного проектирования, смоделировать тепловой режим работы разработанной модели в системе конечно-элементного анализа и изготовить разработанный теплофотоэлектрический модуль. (Материалы и методы) Применили основные инструменты исследования – систему автоматизированного проектирования (Компас 3D) и систему конечно-элементного анализа (Ansys). Изготовили компоненты модуля с помощью быстрого прототипирования с использованием послойной печати полимерным материалом, герметизацию фотоэлектрических преобразователей выполнили посредством двухкомпонентного полисилоксанового компаунда. (Результаты и обсуждение) Разработали трехмерную модель складного солнечного теплофотоэлектрического модуля концентраторной конструкции с двусторонним фотоприемником; тепловое состояние, скорости теплоносителя и его линии течения визуализировали и проанализировали, после чего изготовили прототип разработанного складного солнечного теплофотоэлектрического модуля. (Выводы) Показали, что разработанный складной солнечный теплофотоэлектрический модуль концентраторной конструкции с двусторонним фотоприемником позволяет производить автономное и мобильное энергоснабжение потребителей вдали от централизованных сетей. Установили, что использование концентратора солнечного излучения и одновременно двух рабочих сторон фотоэлектрических преобразователей дает возможность экономить кремний высокой степени очистки, а двустороннее охлаждение фотоэлектрических преобразователей обеспечивает более качественное их охлаждение и получение на выходе тепловой энергии в виде нагретого теплоносителя (воды).

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, система конечно-элементного анализа, трехмерная модель, Компас 3D, Ansys, прототипирование, концентратор солнечного излучения, двусторонние фотоэлектрические преобразователи, солнечный теплофотоэлектрический модуль.

Для цитирования: Панченко В.А., Чирский С.П. Моделирование и изготовление мобильного концентраторного теплофотоэлектрического модуля с двусторонним фотоприемником // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №3. С. 87-95. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-87-95. EDN: XPRSBK.

Scientific article

Modeling and Manufacturing of a Mobile Concentrator Photovoltaic Thermal Module with a Two-Side Photoreceiver

Vladimir A. Panchenko¹,
Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: pancheska@mail.ru;
Sergey P. Chirskiy²,
Ph.D.(Eng.), associate professor

¹Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation;

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The combination of a solar collector and a photovoltaic module has a number of positive advantages when combining these two devices into one combined unit. In such a device, photovoltaic converters are cooled, which increases their electrical efficiency. The heat removed increases the overall efficiency of such a combined module. The modeling and manufacture of a folding solar thermal photovoltaic concentrator design module with a bilateral photodetector is considered. (Research purpose) The research purpose is creation of a three-dimensional model of a thermal photovoltaic module with a two-side photoreceiver in a computer-aided design system, simulating the thermal mode of operation of the developed model in a finite element analysis system and manufacturing the developed thermal photovoltaic module. (Materials and methods) The main research tools were used is the computer-aided design system (Compass 3D) and the finite element analysis system (Ansys). The components of the module were manufactured using rapid prototyping using layer-by-layer printing with a polymeric material, sealing of photoelectric converters was performed by two-component polysiloxane compound. (Results and discussion) A three-dimensional model of a folding solar thermal photovoltaic module of a concentrator design with a two-side photoreceiver was developed; the thermal state, the speed of the coolant and its flow lines were visualized and analyzed, after which a prototype of a folding solar thermal photovoltaic module was manufactured. (Conclusions) It was shown that the developed foldable solar thermal photovoltaic concentrator design module with a two-side photoreceiver allows to produce autonomous and mobile power supply to consumers away from centralized grids. It was established that the use of a solar radiation concentrator and at the same time two working sides of photovoltaic converters makes it possible to save silicon of a high purity, and two-side cooling of photovoltaic converters provides better cooling and obtaining thermal energy at the output in the form of a heated coolant (water).*

Keywords: *computer-aided design system, finite element analysis system, three-dimensional model, Kompas 3D, Ansys, prototyping, solar concentrator, two-side photovoltaic converters, solar photovoltaic thermal module.*

For citation: Panchenko V.A., Chirskiy S.P. Modeling and manufacturing of a mobile concentrator photovoltaic thermal module with a two-side photoreceiver. *Electrical Technology and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N3. 87-95 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-3-87-95. EDN: XPRSBK.