

Оптимизация параметров стенда для фотолюминесцентной диагностики молока, загрязненного антибиотиками

Геннадий Николаевич Самарин¹,

доктор технических наук, заведующий лабораторией, e-mail: samaringn@yandex.ru;

Михаил Владимирович Беляков¹,

доктор технических наук, главный научный сотрудник;

Александр Вячеславович Соколов¹,

кандидат технических наук, старший научный сотрудник;

Сергей Александрович Катченков²,

доктор технических наук, профессор;

Игорь Юрьевич Ефременков¹,

младший научный сотрудник

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

²Филиал Псковского государственного университета в г. Великие Луки Псковской области, г. Великие Луки, Российская Федерация

Реферат. Для получения молока высокого качества систематически проводится его анализ на молочнотоварных фермах, эта информация используется при управлении производством, диагностики заболеваний и корректировки рационов кормления животных. Технические решения экспресс-анализаторов молока работают как измерительные приборы, позволяющие получить фактические данные по каждой пробе путем сбора сведений посредством датчиков. Применяются приборы анализа молока, основанные на оптических методах (поверхностный плазмонный резонанс, колориметрия, флуоресценция, рамановская спектроскопия и другие). Разработан метод фотолюминесцентного анализа молока с помощью свето- и фотодиодов. (Цель исследования) Оптимизировать расположение источника и приемника излучения, а также временных параметров работы стенда для фотолюминесцентной диагностики молока. (Материалы и методы) Показали, что исследуемый стенд включает восемь светодиодов и четыре фотодиода в светонепроницаемом корпусе. Использовали в качестве объекта измерений молоко агрофирмы «Мичурино», имеющего жирность 2,5 процента; объем пробы соответствовал объему кюветы 13-15 миллилитров. (Результаты и обсуждение) Провели для оптимизации работы лабораторного стенда его настройку, включающую регулирование высоты источников и приемников излучения относительно измеряемого объекта, подбор длительности импульса светодиода для возбуждения исследуемого молока, подбор задержки включения фотодиода для регистрации люминесценции молока. Представили критерии оптимизации – минимальный темновой сигнал, минимальную погрешность определения потока излучения, минимальное время измерения. (Выводы) Определили, что оптимальное расстояние между источниками, приемниками излучения и измеряемыми объектами составляет для светодиодов 4,5 сантиметра, для фотодиодов 2,3 сантиметра. Установили, что оптимальная длительность импульса равняется 19 микросекундам, благодаря чему удалось минимизировать паразитный темновой сигнал. Выявили, что оптимальная задержка перед включением фотодиода составляет 1 микросекунду.

Ключевые слова: светодиоды, фотодиоды, оптимизация, люминесценция, математическая обработка.

Для цитирования: Самарин Г.Н., Беляков М.В., Соколов А.В., Катченков С.А., Ефременков И.Ю. Оптимизация параметров стенда для фотолюминесцентной диагностики молока, загрязненного антибиотиками // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №1. С. 3-9. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-3-9. EDN: ABGHIC.

Scientific article

Optimization of the Parameters of the Stand for Photoluminescent Diagnostics of Milk Contaminated with Antibiotics

Gennadiy N. Samarin¹,

Dr.Sc.(Eng.), head of the laboratory, e-mail: samaringn@yandex.ru;

Mikhail V. Belyakov¹,

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

Aleksandr V. Sokolov¹,
Ph.D.(Eng.), senior researcher;
Sergey A. Katchenkov²,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Igor Yu. Efremenkov¹,
junior researcher

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

²Branch of Pskov State University in Velikiye Luki, Pskov region, Velikiye Luki, Russian Federation

Abstract. To obtain high-quality milk, its analysis is systematically carried out on dairy farms, this information is used in production management, disease diagnosis and adjustment of animal feeding diets. Technical solutions of express milk analyzers work as measuring instruments that allow obtaining actual data on each sample by collecting information through sensors. Milk analysis devices based on optical methods (surface plasmon resonance, colorimetry, fluorescence, Raman spectroscopy and others) are used. A method of photoluminescent analysis of milk using light and photodiodes has been developed. (Research purpose) The research purpose is optimization of the location of the radiation source and receiver, as well as the time parameters of the stand for photoluminescent diagnostics of milk. (Materials and methods) It was shown that the test bench includes eight LEDs and four photodiodes in a light-tight enclosure. The milk of the Michurino agrofirma, having a fat content of 2.5 percent, was used as an object of measurement; the sample volume corresponded to the cuvette volume of 13–15 milliliters. (Results and discussion) In order to optimize the operation of the laboratory stand, its adjustment was carried out, including adjusting the height of radiation sources and receivers relative to the measured object, selecting the pulse duration of the LED to excite the milk under study, selecting the turn-on delay of the photodiode to register the luminescence of milk. Optimization criteria were: the minimum dark signal, the minimum error in determining the radiation flux, and the minimum measurement time. (Conclusions) It was determined that the optimal distance between radiation sources, receivers and measured objects is 4.5 centimeters for LEDs and 2.3 centimeters for photodiodes. It was found that the optimal pulse duration is 19 microseconds, thanks to which it was possible to minimize the parasitic dark signal. It was found that the optimal delay before switching on the photodiode is 1 microsecond.

Keywords: LEDs, photodiodes, optimization, luminescence, mathematical processing.

For citation: Samarin G.N., Belyakov M.V., Sokolov A.V., Katchenkov S.A., Efremenkov I.Yu. Optimization of the parameters of the stand for photoluminescent diagnostics of milk contaminated with antibiotics. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 3-9 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-3-9. EDN: ABGHIC.

EDN: APUHAM Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-10-17 УДК 631.365.036.3:621.365.55

Обоснование разработки оборудования управления переносными установками активного вентилирования

Федор Денисович Дерен,

аспирант, e-mail: deren-fedja@rambler.ru;

Дмитрий Александрович Будников,

доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: dimm13@inbox.ru;

Александр Вячеславович Соколов,

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: alexndr.v.sokolov@gmail.com

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Разработка эффективных режимов работы зерносушильного оборудования требует всестороннего учета динамики нагрева, общей эффективности работы данного оборудования по скорости влагоудаления, энергоемкости сушки, возможных потерь при недостаточной производительности применяемой технологии и ее надежности. Приведены данные анализа энергетической эффективности зерносушильного оборудования различных конструкций и производительности; патентного поиска систем управления зерносушильным оборудованием, в том числе с применением электрофизических воздействий и в модульном исполнении; разработанный алгоритм для исследования и разработки эффективных режимов работы зерносушильным

оборудованием (лабораторные мобильные и переносные установки). (Цель исследования) Обосновать необходимость разработки оборудования и управления зерносушильным оборудованием. (Материалы и методы) Представили результаты анализа энергоёмкости зерносушильного оборудования, рассчитанные на основе заводских и паспортных данных рассмотренных моделей, а также результаты патентных исследований оборудования для управления зерносушильной техникой, показавшие перспективность разработок в данном направлении. (Результаты и обсуждение) Провели анализ работы зерносушильного оборудования различной производительности и энергоёмкости процесса сушки зерна. Привели результаты сравнения и анализа систем управления зерносушильным оборудованием, в том числе с применением электрофизических воздействий. Создан алгоритм функционирования системы контроля и управления экспериментальной зерносушильной установкой для исследования и разработки режимов работы оборудования. (Выводы) Анализ результатов патентного поиска систем управления зерносушильным оборудованием выявил недостаток энергоэффективных режимов работы в существующих технических решениях и подтвердил высокую энергоёмкость процесса сушки – 3,6-7,0 мегаджоулей. В связи с этим стала актуальной задача сокращения энергопотребления в процессе сушки зерна за счет разработки нового оборудования и алгоритмов его работы.

Ключевые слова: активное вентилирование, микроволновое воздействие, аппаратура управления, электрофизические воздействия, послеуборочная обработка, равномерность обработки, энергоэффективность, режим работы.

Для цитирования: Дерен Ф.Д., Будников Д.А., Соколов А.В. Обоснование разработки оборудования управления переносными установками активного вентилирования // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2026. Т. 73. N1. С. 10-17. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-10-17. EDN: APUHAM.

Scientific article

Rationale for the Development of Control Equipment for Portable Active Ventilation Units

Fedor D. Deren,

postgraduate, e-mail: deren-fedja@rambler.ru;

Dmitriy A. Budnikov,

Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, e-mail: dimm13@inbox.ru;

Aleksandr V. Sokolov,

Ph.D.(Eng), leading researcher, e-mail: alexndr.v.sokolov@gmail.com

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The development of effective modes of operation of grain drying equipment requires comprehensive consideration of the dynamics of heating, the overall efficiency of this equipment in terms of moisture removal rate, drying energy intensity, possible losses in case of insufficient productivity of the applied technology and its reliability. The data of the analysis of the energy efficiency of grain drying equipment of various designs and performance; patent search for grain drying equipment control systems, including those using electrophysical effects and in modular design; developed algorithm for the study and development of effective modes of operation of grain drying equipment (laboratory mobile and portable installations). (Research Purpose) The research purpose is substantiating the need for equipment development and management of grain drying equipment. (Materials and methods) Presented the results of the analysis of the energy intensity of grain drying equipment, calculated on the basis of factory and passport data of the models considered, as well as the results of patent studies of equipment for controlling grain drying equipment, which showed the prospects of developments in this direction. (Results and discussion) An analysis of the operation of grain drying equipment of various capacities and energy intensity of the grain drying process was carried out. The results of comparison and analysis of control systems of grain drying equipment, including those using electrophysical influences, are presented. An algorithm for the functioning of the control system of an experimental grain drying plant for the research and development of equipment operating modes has been created. (Conclusions) Analysis of the results of the patent search for grain drying equipment control systems revealed a lack of energy-efficient operating modes in existing technical solutions and confirmed the high energy intensity of the drying process - 3.6-7.0 megajoules. In this regard, the task of reducing energy consumption in the process of drying grain through the development of new equipment and algorithms for its operation has become urgent.*

Keywords: active ventilation, microwave exposure, control equipment, electrophysical effects, post-harvest processing, uniformity of processing, energy efficiency, operating mode.

For citation: Deren F.D., Budnikov D.A., Sokolov A.V. Rationale for the development of control equipment for portable active ventilation units. *Electrical Technology and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 10-17 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-10-17. EDN: APUHAM.

EDN: BBYYCU Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-18-24 УДК 631.3

Исследование качества работы многопрофильного компактного фитотрона

Сергей Иосифович Юран,
доктор технических наук, профессор;
Евгений Николаевич Гусенников,
аспирант, e-mail: ujhuf99@gmail.com

Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Российская Федерация

Реферат. Современное развитие агропромышленного комплекса сопровождается возрастающей потребностью в компактных и высокотехнологичных устройствах для контролируемого выращивания растений. При разработке новых технических решений возникает проблема объективной оценки их работоспособности, поскольку важна не только способность поддерживать заданные параметры микроклимата, но и конечный агрономический результат. Актуальность исследования обусловлена необходимостью проведения опытных испытаний, подтверждающих как работоспособность оригинальной конструкции многопрофильного компактного фитотрона, так и его агрономическую эффективность, выраженных в числовых величинах. (Цель исследования) Получить численные показатели работоспособности разработанного фитотрона при выращивании небольших растений. Поставили для достижения цели задачи: разработать методику проведения исследования и выполнить эксперимент с последующей обработкой и анализом полученных данных. (Материалы и методы) Исследовали разработанный многопрофильный компактный фитотрон с оригинальной конструкцией разделения воздушного объема камеры на зону нагрева почвы и зону роста зелени. Выбрали в качестве выращиваемых растений микрозелень амаранта овощного сорта Крепыш (*Amaranthus hypochondriacus* L.) и ростки портулака крупноцветкового сорта Королевский (*Portulaca grandiflora*). Применили для сравнения традиционные схемы выращивания в рассадных горшках с использованием фитоламп сине-красного и белого спектров. Оценили агрономическую эффективность по морфометрическим показателям ростков. (Результаты и обсуждение) Выполнили экспериментальные исследования, которые включали параллельные недельные циклы выращивания в фитотроне и в обычных условиях. Получили значения совокупной агрономической эффективности: 213 процентов для микрозелени амаранта и 273 процента для ростков портулака. Установили, что технические показатели продемонстрировали устойчивое поддержание температурных режимов со статической ошибкой и колебаниями, не превышающими ± 5 процентов. (Выводы) Подтвердили проведенными исследованиями агрономическую эффективность и приемлемое качество регулирования микроклимата в разработанном фитотроне, что обосновывает возможность его применения для выращивания малогабаритной растительной продукции.

Ключевые слова: фитотрон, выращивание растений, амарант, портулак, создание микроклимата, ускорение роста, нагрев.

Для цитирования: Юран С.И., Гусенников Е.Н. Исследование качества работы многопрофильного компактного фитотрона // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N1. С. 18-24. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-18-24. EDN: BBYYCU.

Scientific article

Study of the Work Quality of a Multi-Purpose Compact Phytotron

Sergey I. Yuran,
Dr.Sc.(Eng.), professor;

Evgeniy N. Gusennikov,

postgraduate, e-mail: ujhuf99@gmail.com

Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russian Federation

Abstract. *The modern development of the agro-industrial complex is accompanied by an increasing need for compact and high-tech devices for controlled plant cultivation. When developing new technical solutions, the problem of an objective assessment of their performance arises, since not only the ability to maintain the specified microclimate parameters is important, but also the final agronomic result. The relevance of the study is due to the need to conduct experimental tests confirming both the operability of the original design of the multi-purpose compact phytotron and its agronomic efficiency, expressed in numerical values. (Research purpose) The research purpose is obtaining numerical performance indicators of the developed phytotron when growing small plants. We set the following tasks to achieve the goal: to develop a research methodology and perform an experiment with subsequent processing and analysis of the data obtained. (Materials and methods) The developed multi-profile compact phytotron with an original design of dividing the air volume of the chamber into a soil heating zone and a green growth zone was investigated. The microgreens of amaranth of the vegetable variety Krepysh (*Amaranthus hypochondriacus* L.) and purslane sprouts of the large-flowered Royal variety (*Portulaca grandiflora*) were chosen as cultivated plants. Traditional schemes of growing in seedling pots using phytolamps of blue-red and white spectra were applied for comparison. Agronomic efficiency was assessed by morphometric indicators of sprouts. (Results and discussion) Experimental studies were performed, which included parallel weekly growing cycles in a phytotron and under normal conditions. The values of total agronomic efficiency were obtained: 213 percent for amaranth microgreens and 273 percent for purslane sprouts. It was established that the technical indicators demonstrated stable maintenance of temperature conditions with static error and fluctuations not exceeding ± 5 percent. (Conclusions) The conducted studies have confirmed the agronomic efficiency and acceptable quality of microclimate regulation in the developed phytotron, which substantiates the possibility of its use for growing small-sized plant products.*

Keywords: *phytotron, plant cultivation, amaranth, purslane, microclimate creation, growth acceleration, heating.*

For citation: Yuran S.I., Gusennikov E.N. Study of the work quality of a multi-purpose compact phytotron. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 18-24 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-18-24. EDN: BBYUCU.

EDN: CMKJMR Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-25-34 УДК 621.311

Методика расчета заземляющего устройства трансформаторной подстанции питания сельскохозяйственных потребителей от сетей железных дорог

Сергей Викторович Кириллов^{1,2},

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

Александр Владимирович Виноградов^{3,4},

доктор технических наук, доцент, профессор

¹Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Российская Федерация;

²Мичуринская дистанция электроснабжения ОАО «РЖД», г. Мичуринск, Российская Федерация;

³Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

⁴Орловский государственный аграрный университет, г. Орел, Российская Федерация

Реферат. *С целью обеспечения электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог, во время регламентных работ на рельсовых путях имеется возможность перевода трансформаторных подстанций 25/0,4 киловольт системы «два дополнительных провода – рельс» в режим с использованием земли в качестве фазного проводника высокого напряжения. Это требует пересмотра методики расчета заземляющего устройства таких подстанций. (Цель исследования) Усовершенствовать методику расчета контура заземления с учетом особенностей эксплуатации электрических сетей железных дорог и разработать конструкцию контура заземления трансформаторных подстанций 25/0,4 киловольт системы «два дополнительных провода – рельс». (Материалы и методы) Применили общенаучные методы исследования, обзор литературных источников, методы расчета и проектирования заземляющих устройств. (Результаты и обсуждение) Усовершенствовали методику расчета контура заземления*

подстанций 25/0,4 киловольт, питающих сельских потребителей от электрической сети железной дороги. Предложили в методике при расчетах применять эквивалентное удельное сопротивление многослойной земли полосы отвода железной дороги. Представили техническое решение для изготовления контура заземления подстанции 25/0,4 киловольт с использованием земли в качестве фазного проводника высокого напряжения. (Выводы) Обосновали технические и электрические параметры предлагаемого заземляющего устройства подстанции, которые смогут обеспечить необходимый режим работы подстанции. Показали, что при расчете сопротивления растеканию заземляющего устройства землю необходимо рассматривать как многослойную структуру и в дальнейшем применять эквивалентное удельное сопротивление многослойной земли. Усовершенствовали методику расчета сложных комбинированных заземлителей за счет использования в расчете более точных характеристик земли.

Ключевые слова: заземляющее устройство, электробезопасность, «два дополнительных провода – рельс», удельное сопротивление земли, эквивалентное удельное сопротивление многослойной земли, расчет заземляющего устройства, вертикальный заземлитель, горизонтальный заземлитель.

Для цитирования: Кириллов С.В., Виноградов А.В. Методика расчета заземляющего устройства трансформаторной подстанции питания сельскохозяйственных потребителей от сетей железных дорог // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N1. С. 25-34. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-25-34. EDN: CMKJMR.

Scientific article

Methodology for Calculating the Grounding Device of a Transformer Substation for Supplying Agricultural Consumers from Railway Grids

Sergey V. Kirillov^{1,2},

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

Aleksandr V. Vinogradov^{3,4},

Dr.Sc.(Eng.), associate professor

¹Michurinsky State Agrarian University, Michurinsk, Russian Federation;

²Michurinsk Power supply distance of JSC Russian Railways, Michurinsk, Russian Federation;

³Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

⁴Orel State Agrarian University, Orel, Russian Federation

Abstract. *In order to provide power supply to rural consumers powered by electric grids of railways, during routine maintenance on rail tracks, it is possible to transfer transformer substations of 25/0.4 kilovolts of the «two additional wires – rail» system to a mode using the earth as a high-voltage phase conductor. This requires a revision of the methodology for calculating the grounding device of such substations. (Research purpose) The research purpose is improving the methodology for calculating the grounding circuit, taking into account the specifics of the operation of electric railway grids, and developing the design of the grounding circuit of transformer substations of 25/0.4 kilovolts of the «two additional wires – rail» system. (Materials and methods) Applied general scientific research methods, a review of literature sources, methods of calculation and design of grounding devices. (Results and discussion) The methodology for calculating the grounding circuit of the 25/0.4 kilovolt substation feeding rural consumers from the railway power grid has been improved. It was proposed in the methodology to use the equivalent resistivity of the multilayer earth of the side way of the railway in the calculations. A technical solution was presented for the manufacture of a 25/0.4 kilovolt substation grounding circuit using earth as a high-voltage phase conductor. (Conclusions) The technical and electrical parameters of the proposed grounding device of the substation were substantiated, which will be able to provide the necessary operating mode of the substation. It has been shown that when calculating the spreading resistance of the grounding device, the earth must be considered as a multilayer structure and subsequently apply the equivalent resistivity of the multilayer earth. The methodology for calculating complex combined earthing devices has been improved by using more accurate characteristics of the earth in the calculation.*

Keywords: *grounding device, electrical safety, «two additional wires – rail», earth resistivity, equivalent resistivity of multilayer earth, calculation of grounding device, vertical earthing device, horizontal earthing device.*

For citation: Kirillov S.V., Vinogradov A.V. Methodology for calculating the grounding device of a transformer substation for supplying agricultural consumers from railway grids. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 25-34 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-25-34. EDN: CMKJMR.

Зависимость между периодичностью проверок и упреждающим допуском на параметр технического состояния обмоток электродвигателя

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

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

Реферат. Анализ условий эксплуатации электродвигателей в сельском хозяйстве указывает на их низкую надежность. Один из путей повышения работоспособности электродвигателей – совершенствование режима профилактических работ при использовании стратегии обслуживания по техническому состоянию. (Цель исследования) Определить зависимость периода между диагностическими проверками электродвигателей и упреждающим допуском на их параметр технического состояния. (Материалы и методы) Применили наряду с функцией распределения наработки на отказ апостериорную информацию о текущем состоянии рассматриваемых электродвигателей. Учили при обосновании взаимосвязи между параметрами стратегии обслуживания по состоянию воздействие значительного числа факторов, оказывающих стохастическое влияние на определяющий параметр состояния электродвигателей, что дало возможность применения предельной теоремы А.И. Ляпунова, на основании которой отказы электродвигателей не противоречат описанию нормальных законов распределения. Показали, что вторым условием выбора взаимосвязи между параметрами стратегии обслуживания стала неизменность закона распределения параметра состояния электродвигателей в течение их наработки. Апробировали разработанную зависимость взаимосвязи на электродвигателях АИР80А4, используемых для торцевой вентиляции птичников Челябинской птицефабрики. (Результаты и обсуждение) Установили исходные данные для определения взаимосвязи между параметрами стратегии обслуживания по состоянию на разработанном стенде ускоренных испытаний электродвигателей и из технической литературы. (Выводы) Отметили, что установленная зависимость между периодом диагностических проверок и значением упреждающего допуска на контролируемый параметр технического состояния при заданной вероятности безотказной работы обеспечивает внедрение в систему технической эксплуатации электродвигателей современную стратегию их обслуживания по техническому состоянию. Констатировали, что использование стратегии приводит к увеличению надежности электродвигателей и сокращению количества ненужных сборок и разборок.

Ключевые слова: надежность электродвигателей, вероятность безотказной работы, упреждающий допуск, контролируемый параметр.

Для цитирования: Буторин В.А., Царев И.Б., Плешакова А.Ю. Зависимость между периодичностью проверок и упреждающим допуском на параметр технического состояния обмоток электродвигателя // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №1. С. 35-41. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-35-41. EDN: DFPRRW.

Scientific article

The relationship between the frequency of inspections and the proactive tolerance for the parameter of the technical condition of the windings of the electric motor

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

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

Abstract. Analysis of the operating conditions of electric motors in agriculture indicates their low reliability. One of the ways to improve the efficiency of electric motors is to improve the preventive maintenance when using a maintenance strategy based on technical condition. (Research purpose) The research purpose is determining the dependence of the period between diagnostic checks of electric motors and the pre-emptive tolerance for their technical condition parameter. (Materials and methods) Applied, along with the failure time distribution function, a posteriori information about the current state of the electric motors under consideration. When substantiating the relationship between the parameters of the maintenance strategy according to the condition, we took into account the impact of a significant number of factors that have a stochastic effect on the determining parameter of the state of electric motors, which made it possible to apply A.I. Lyapunov's limit theorem, on the basis of which the failures of electric motors do not contradict the description of normal distribution laws. It was shown that the second condition for choosing the relationship between the parameters of the maintenance strategy was the invariance of the distribution law of the state parameter of electric motors during their operation. The developed relationship dependence was tested on AIR80A4 electric motors used for end ventilation of poultry houses of the Chelyabinsk poultry farm. (Results and discussion) The initial data were established to determine the relationship between the parameters of the maintenance strategy as of the developed stand of accelerated testing of electric motors and from the technical literature. (Conclusions) It was noted that the established relationship between the period of diagnostic checks and the value of the proactive admission to the controlled parameter of the technical condition for a given probability of fail-free operation ensures the introduction into the system of technical operation of electric motors of a modern strategy for their maintenance according to the technical condition. It was stated that the use of the strategy leads to an increase in the reliability of electric motors and a reduction in the number of unnecessary assemblies and disassembly.

Keywords: reliability of electric motors, probability of fail-free operation, proactive tolerance, technical condition parameter.

For citation: Butorin V.A., Tsarev I.B., Pleshakova A.Yu. The relationship between the frequency of inspections and the proactive tolerance for the parameter of the technical condition of the windings of the electric motor. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 35-41 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-35-41. EDN: DFPRRW.

EDN: EMDROE Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-42-50 УДК 631.365.3/4:633.88

Повышение энергоэффективности сушки растительного сырья электронагревателем

Евгений Александрович Четвериков,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: e.chetverikov@rgau-msha.ru;

Виталий Николаевич Беленов,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: v.belenov@rgau-msha.ru;

Евгений Адимович Шабает,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: e.shabaev@rgau-msha.ru;

Роман Вадимович Буранов,

инженер, e-mail: buranov.roman2015@gmail.com

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

Реферат. Повышение энергоэффективности сушки сельскохозяйственной продукции, в том числе семян зернобобовых культур, с сохранением их биологической ценности – актуальная задача агропромышленного комплекса. Существующие методы сушки, включая конвективные и микроволновые, нередко приводят к перегреву, высоким энергозатратам или повреждению структуры семян. Перспективным направлением является применение инфракрасного излучения, эффективность которого определяется спектральным согласованием излучателя и материала. (Цель исследования) Разработка научно обоснованных рекомендаций по выбору оптимального температурного режима трубчатых электронагревателей для инфракрасной сушки семян зернобобовых культур на основе анализа их спектральных характеристик. (Материалы и методы) Исследования проводились на семенах зернобобовых культур. Методика включала

совместный анализ спектральных характеристик инфракрасных излучателей и поглощательной способности семян. Эффективность процесса оценивалась, используя эффективный коэффициент полезного действия, рассчитываемый на основе интеграла от произведения спектральной энергетической светимости излучателя и относительной спектральной чувствительности семян в диапазоне длин волн 2,5-5,0 микрометров. Были экспериментально сняты спектральные характеристики трубчатого электронагревателя при различных температурах. (Результаты и обсуждение) Сравнительный анализ показал, что трубчатый электронагреватель при температуре 964 Кельвина имеет длину волны максимума излучения 3 микрометра, что соответствует области максимальной поглощательной способности семян. При этом спектральная плотность энергетической светимости достигает $12000 \cdot 10^{-4}$ Вт/(микрометр·метр²). Изотермы при более низких температурах (557-827 Кельвинов) демонстрировали энергетическую светимость в 2-3 раза ниже, а при высокой температуре (1584 Кельвина) длина волны максимума излучения смещалась в область 2,5 микрометра, выходя за границы эффективного поглощения, что может привести к риску перегрева и потери энергии. (Выводы) Установлено, что для сушки семян зернобобовых культур оптимальным является температурный режим трубчатого электронагревателя 964 Кельвина, обеспечивающий спектральное согласование в интервале 3-4 микрометра. Данный режим позволяет достичь максимальной эффективности энергопередачи, сократить время сушки и минимизировать энергозатраты, сохраняя качество семян.

Ключевые слова: сушка, спектральная характеристика, инфракрасный излучатель, длина волны, эффективный поток, трубчатый электронагреватель.

Для цитирования: Четвериков Е.А., Беленов В.Н., Шабаяев Е.А., Буранов Р.В. Повышение энергоэффективности сушки растительного сырья электронагревателем // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №1. С. 42-50. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-42-50. EDN: EMDROE.

Scientific article

Increasing the Energy Efficiency of Drying Vegetable Raw Materials with an Electric Heater

Evgeniy A. Chetverikov,

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

Vitaliy N. Belenov,

Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: v.belenov@rgau-msha.ru;

Evgeniy A. Shabaev,

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

Roman V. Buranov,

engineer, e-mail: buranov.roman2015@gmail.com

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

Abstract. Improving the energy efficiency of drying agricultural products, including leguminous seeds, while preserving their biological value is an urgent task of the agro-industrial complex. Existing drying methods, including convective and microwave, often lead to overheating, high energy consumption or damage to the seed structure. A promising direction is the use of infrared radiation, the effectiveness of which is determined by the spectral matching of the emitter and the material. (Research purpose) The research purpose is developing scientifically based recommendations for choosing the optimal temperature regime of tubular electric heaters for infrared drying of leguminous seeds based on the analysis of their spectral characteristics. (Materials and methods) The studies were carried out on seeds of leguminous crops. The technique included a joint analysis of the spectral characteristics of infrared emitters and the absorption capacity of seeds. The efficiency of the process was evaluated using the effective efficiency factor calculated on the basis of the integral of the product of the spectral energy luminosity of the emitter and the relative spectral sensitivity of the seeds in the wavelength range of 2.5-5.0 micrometers. The spectral characteristics of a tubular electric heater at various temperatures were experimentally read. (Results and discussion) Comparative analysis has shown that the tubular electric heater at a temperature of 964 Kelvin has a maximum radiation wavelength of 3 micrometers, which corresponds to the region of maximum absorption capacity of seeds. At the same time, the spectral density of the energy luminosity reaches $12000 \cdot 10^{-4}$ Watts/ (micrometer-meter²). Isotherms at lower temperatures (557-827 Kelvin) showed an energy luminosity 2-3 times lower, and at high

temperatures (1584 Kelvin) the wavelength of the maximum radiation shifted to the region of 2.5 micrometers, going beyond the limits of effective absorption, which can lead to the risk of overheating and energy loss. (Conclusions) It has been found out that the optimal temperature regime for drying leguminous seeds is a tubular electric heater of 964 Kelvin, which provides spectral matching in the range of 3-4 micrometers. This mode allows you to achieve maximum energy transfer efficiency, reduce drying time and minimize energy consumption while maintaining seed quality.

Keywords: drying, spectral characteristic, infrared emitter, wavelength, effective flow, tubular electric heater.

For citation: Chetverikov E.A., Belenov V.N., Shabaev E.A., Buranov R.V. Increasing the energy efficiency of drying vegetable raw materials with an electric heater. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 42-50 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-42-50. EDN: EMDROE.

EDN: ETIXPT Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-51-58 УДК 621.365.036.27:595.782.082.26

Моделирование конвекционного нагрева устройства для цикла культивирования и сортировки личинок *G. mellonella*

Владислав Васильевич Соколов¹,

преподаватель-исследователь, e-mail: vladislav-sokolov-92@mail.ru;

Владимир Вениаминович Касаткин¹,

доктор технических наук, профессор;

Нина Федоровна Свинцова²,

кандидат технических наук, доцент

¹Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Российская Федерация;

²Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Российская Федерация

Реферат. Технология культивирования и сортировки личинок большой восковой моли *G. mellonella* с помощью метода конвекционного нагрева отработана на опытных конструкциях их воспроизводства и содержания. С целью апробации конструкторской модели с двумя отсеками для жизнедеятельности личинок и их сортировки необходимо оценить абиотические условия (температуру и относительную влажность), влияющие на процессы жизнедеятельности. (Цель исследования) Смоделировать устройство с непрерывным технологическим циклом культивирования и сортировки личинок *G. mellonella* при дальнейшем применении в агропромышленном комплексе для увеличения продуктивности птиц и рыб, а также получения биологически активной добавки к пище. (Материалы и методы) Провели исследования имаго личинки в количестве самцов и самок по 20 особей контрольной и экспериментальной групп. Смоделировали опытное устройство конструкции биореактора для культивирования и сортировки личинок. Описали схему конвективного теплообмена в биореакторе с указанием эквивалентных тепловых схем устройств с прилегающими к стенке пластинами, с плотно прилегающими к стенке пластинами, расширенным промежутком между пластинами и перегородкой. (Результаты и обсуждение) Выполнили сравнение для культивирования контрольной и экспериментальной групп личинок. Показали, что технология культивирования в контрольной и экспериментальной конструкции при равных абиотических условиях отличалась пространственным фактором расположения личинок. Определили по результатам культивирования достоверное увеличение массы, длины личинок и размера головной капсулы в экспериментальной группе. Выявили по итогам экспериментальных данных, что оптимальная температура для сортировки составляет 55 градусов Цельсия при экспозиции воздействия 20 минут, при этом все личинки переходят в холодное отделение вне зависимости от их количества. (Выводы) Установили, что полученные экспериментальные данные позволяют обосновать технологические режимы работы устройства, подтвердить корректность моделирования конвективного нагрева для процесса культивирования и сортировки личинок. Доказали, что разработанная модель дает возможность создать оптимальные режимы нагрева для культивирования и сортировки личинок.

Ключевые слова: личинки, *G. mellonella*, конвекционный нагрев, сортировка, культивирование, температура, относительная влажность.

Simulation of Convection Heating of a Device for the Cycle of Cultivation and Sorting of *G. Mellonella* Larvae

Vladislav V. Sokolov¹,

teacher-researcher, e-mail: vladislav-sokolov-92@mail.ru;

Vladimir V. Kasatkin¹,

Dr.Sc.(Eng.), professor;

Nina F. Svintsova²,

Ph.D.(Eng.), associate professor

¹Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russian Federation;;

²Udmurt State University, Izhevsk, Russian Federation

Abstract. *The technology of cultivation and sorting of larvae of the large wax moth *G. mellonella* using the method of convection heating has been worked out on experimental designs of their reproduction and maintenance. In order to test the design model with two compartments for the vital activity of larvae and their sorting, it is necessary to assess the abiotic conditions (temperature and relative humidity) affecting the vital processes. (Research purpose) The research purpose is simulating a device with a continuous technological cycle of cultivation and sorting of *G. mellonella* larvae for further use in the agro-industrial complex to increase the productivity of birds and fish, as well as obtaining a biologically active food additive. (Materials and methods) Larval imago studies were conducted in the number of males and females of 20 individuals of the control and experimental groups. An experimental device for the construction of a bioreactor for the cultivation and sorting of larvae was modeled. A scheme of convective heat transfer in a bioreactor was described with an indication of equivalent thermal schemes of devices with plates adjacent to the wall, with plates tightly adjacent to the wall, a widened gap between the plates and the partition. (Results and discussion) A comparison were performed for the cultivation of control and experimental groups of larvae. It was shown that the cultivation technology in the control and experimental design, under equal abiotic conditions, differed in the spatial factor of the location of the larvae. Based on the results of cultivation, a significant increase in the mass, length of larvae and size of the head capsule in the experimental group was determined. Based on the results of experimental data, it was found that the optimal temperature for sorting is 55 degrees Celsius with an exposure of 20 minutes, while all larvae go into the cold compartment regardless of their number. (Conclusions) It was established that the obtained experimental data make it possible to substantiate the technological modes of operation of the device, to confirm the correctness of modeling convective heating for the process of cultivation and sorting of larvae. It has been proved that the developed model makes it possible to create optimal heating modes for the cultivation and sorting of larvae.*

Keywords: larvae, *G. mellonella*, convection heating, sorting, cultivation, temperature, relative humidity.

For citation: Sokolov V.V., Kasatkin V.V., Svintsova N.F. Simulation of convection heating of a device for the cycle of cultivation and sorting of *G. mellonella* larvae. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 51-58 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-51-58. EDN: ETIXPT.

EDN: HXTRSA Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-59-66 УДК 631.371

Аналитическое представление физической модели сельскохозяйственных животных для оценки поверхности теплообмена

Алексей Васильевич Кузьмичев,

научный сотрудник, e-mail: alkumkuzm@mail.ru;

Дмитрий Анатольевич Тихомиров,

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

Алексей Викторович Хищенко,

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
e-mail: education.science@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Теплообмен между организмом животного и окружающей средой – сложный процесс, зависящий от ряда факторов, а его моделирование способствует изучению закономерностей и оптимизации условий содержания сельскохозяйственных животных. В местах содержания сельскохозяйственных животных важно создавать оптимальные тепловые условия, а интенсивность лучистого и конвективного теплообмена зависит от геометрических параметров животных. Существует отображение между геометрическими параметрами различных животных, их возраста и веса. (Цель исследования) Разработка дополнительных формализмов, связанных с аналитическим представлением физических моделей сельскохозяйственных животных, и оценка возможности их интегрирования в современные вычислительные комплексы. (Материалы и методы) Приведены способы представления геометрических параметров различных видов сельскохозяйственных животных. Рассмотрены модели, отображающие связь между весом животного и его геометрическими параметрами. Предложена физическая модель животного в виде цилиндрического или сферического тел. Рассмотрен способ аналитического представления физической модели сельскохозяйственных животных методом наименьших квадратов при обработке количественных измерений. Применение статистических методов позволяет более полно использовать информацию, приобретаемую из практических наблюдений. Применительно к рассматриваемой задаче аппроксимацию функции двух переменных методом наименьших квадратов представили в виде произведения степенных функций. (Результаты и обсуждение) Получили аналитическое представление физической модели теленка для оценки его массы и площади поверхности теплообмена. Определили численные значения коэффициентов, входящих в аппроксимирующую функцию. (Выводы) Показали функциональную связь массы животного и его геометрических размеров, включая поверхность теплообмена. Подчеркнута возможность описания массы сельскохозяйственных животных в зависимости от их геометрических показателей на основе единого методологического подхода. Предложена физическая модель расчетного животного в виде сферического или цилиндрического тел и определены его характеристические размеры, позволяющие аналитически рассчитать массу животного и поверхность его тела, участвующую в теплообмене.
Ключевые слова: физическая модель, теплообмен, вес животного, геометрические параметры животных, поверхность теплообмена, аналитическое представление, телята.

Для цитирования: Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Хименко А.В. Аналитическое представление физической модели сельскохозяйственных животных для оценки поверхности теплообмена // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N1. С. 59-66. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-59-66. EDN: HXTRSA.

Scientific article

Analytical Representation of a Physical Model of Farm Animals for Assessing the Heat Exchange Surface

Aleksey V. Kuzmichev,

researcher, e-mail: alkumkuzm@mail.ru;

Dmitriy A. Tikhomirov,

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

Aleksey V. Khimenko,

Ph.D.(Eng.), senior researcher, e-mail: education.science@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Heat exchange between the animal's organism and the environment is a complex process depending on a number of factors, and its modeling contributes to the study of patterns and optimization of the conditions of keeping farm animals. In places where agricultural animals are kept, it is important to create optimal thermal conditions, and the intensity of radiant and convective heat exchange depends on the geometric parameters of animals. There is a mapping between the geometric parameters of different animals, their age and weight. (Research purpose) The research purpose is developing additional formalisms related to the analytical representation of physical models of agricultural animals, and assessing the possibility of their integration into modern computing complexes. (Materials and methods) The ways of representing the geometric parameters of various types of agricultural animals are given. Models showing the relationship between the weight of an animal and its geometric parameters are considered. A

physical model of an animal in the form of a cylindrical or spherical body is proposed. The method of analytical representation of the physical model of farm animals by the method of least squares in the processing of quantitative measurements is considered. The use of statistical methods makes it possible to more fully use the information acquired from practical observations. In relation to the problem under consideration, the approximation of the function of two variables by the least squares method was presented as a product of power functions. (Results and discussion) An analytical representation of the physical model of the calf was obtained to estimate its mass and the surface area of the heat exchange. The numerical values of the coefficients included in the approximating function were determined. (Conclusions) The functional relationship between the mass of the animal and its geometric dimensions, including the surface of the heat exchange, was shown. The possibility of describing the mass of agricultural livestock depending on their geometric indicators based on a single methodological approach is emphasized. A physical model of the calculated animal in the form of a spherical or cylindrical body is proposed and its characteristic dimensions are determined, which make it possible to analytically calculate the mass of the animal and the surface of its body involved in heat exchange.

Keywords: *physical model, heat exchange, animal weight, geometric parameters of animals, analytical representation, calves.*

For citation: Kuzmichev A.V., Tikhomirov D.A., Khimenko A.V. Analytical representation of a physical model of farm animals for assessing the heat exchange surface. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 59-66 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-59-66. EDN: HXTRSA.

EDN: PSFOZY Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-67-73 УДК [631.311.86+621.384.3:631.462]:519.8

Разработка математической модели инфракрасного нагрева при обеззараживании почвосмеси

Павел Владимирович Дородов¹,

доктор технических наук, доцент, e-mail: pvd80@mail.ru;

Ирина Геннадиевна Поспелова¹,

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

Иван Владимирович Возмищев²,

старший преподаватель, e-mail: vozm-ivan@yandex.ru;

Роман Иванович Гаврилов¹,

старший преподаватель, e-mail: romanfildef@gmail.com;

Лев Алексеевич Торопов³,

директор;

Ренат Равилевич Шакиров¹,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: renmar@yandex.ru

¹Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Российская Федерация;

²Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Российская Федерация;

³ООО ПК «СОЮЗ», г. Ижевск, Российская Федерация

Реферат. *Необходимость обеззараживания почвосмесей в защищённом грунте обусловлена рядом ключевых факторов: предотвращение заболеваний растений; улучшение условий для их роста; стандартизация и экологическая безопасность; борьба с опасными микроорганизмами; обеспечение повторной и рациональной эксплуатации почвы. Обеззараживание почвосмесей в защищенном грунте предложено проводить инфракрасным облучением. Изучение распространения температуры при инфракрасном нагреве – важная часть оптимизации процессов тепловой обработки, которая обеспечивает эффективное ими управление, повышает качество конечного результата и способствует развитию новых технологий в области инфракрасных систем. (Цель исследования) Разработка математической модели температурного поля при инфракрасном нагреве и обеззараживании почвосмеси на ленте конвейера. (Материалы и методы) Для математического моделирования температурного поля при обеззараживании почвосмеси термическим способом применяются различные численные методы, учитывающие множество факторов, влияющих на теплоперенос, – метод конечных элементов, метод конечных разностей. Кроме того, применяются*

статистические методы моделирования для определенных случаев, когда требуется учитывать неопределённости, такие как изменение внешних условий или нестабильность потока воздуха. (Результаты и обсуждение) Для разработки математической модели инфракрасного нагрева при обеззараживании почвосмеси применен аналитический метод решения (разделения переменных) уравнения конвективного теплообмена Навье-Стокса. Построен график температурного поля и его линии уровня в среде пакета программ Maple. Полученное решение может быть использовано для разработки системы автоматического контроля и управления процессом инфракрасной обработки при различных физико-геометрических параметрах устройства для обеззараживания почвосмеси. (Выводы) Разработана математическая модель температурного поля в рабочей камере, которая может быть использована в системе контроля и управления при проектировании установок инфракрасным облучением почвосмеси в тонком слое на конвейере различных типоразмеров, обеспечивающей равномерный ее нагрев (не превышающий температуру 95 ± 5 градусов Цельсия) и максимальное обеззараживание.

Ключевые слова: обеззараживание почвосмеси, инфракрасный нагрев, математическая модель, температурное поле, теплообмен, конвейер.

Для цитирования: Дородов П.В., Пospelova И.Г., Возмичев И.В., Гаврилов Р.И., Торопов Л.А., Шакиров Р.Р. Разработка математической модели инфракрасного нагрева при обеззараживании почвосмеси // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N1. С. 67-73. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-67-73. EDN: PSFOZY.

Scientific article

Development of a Mathematical Model of Infrared Heating when Disinfecting the Soil Mixture

Pavel V. Dorodov¹,

Dr.Sc.(Eng), associate professor, e-mail: pvd80@mail.ru;

Irina G. Pospelova¹,

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

Ivan V. Vozmishchev²,

senior lecturer, e-mail: vozm-ivan@yandex.ru;

Roman I. Gavrilov¹,

senior lecturer, e-mail: romanfildef@gmail.com;

Lev A. Toropov³,

director;

Renat R. Shakirov¹,

Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: renmar@yandex.ru

¹Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russian Federation;

²Izhevsk State Technical University named after I.I. M.T. Kalashnikov, Izhevsk, Russian Federation;

³LLC PC «SOYU», Izhevsk, Russian Federation

Abstract. *The need to disinfect soil mixtures in protected ground is due to a number of key factors: prevention of plant diseases; improvement of conditions for their growth; standardization and environmental safety; control of dangerous microorganisms; ensuring repeated and rational use of the soil. Disinfection of soil mixtures in protected ground is proposed to be carried out by infrared irradiation. The study of temperature propagation during infrared heating is an important part of optimizing heat treatment processes, which ensures their effective management, improves the quality of the final result and contributes to the development of new technologies in the field of infrared systems. (Research purpose) The research purpose is developing a mathematical model of the temperature field during infrared heating and disinfection of soil mixtures on a conveyor belt. (Materials and methods) Various numerical methods are used for mathematical modeling of the temperature field during disinfection of the soil mixture by the thermal method, taking into account many factors affecting heat transfer – the finite element method, the finite difference method. In addition, statistical modeling methods are used for certain cases when it is necessary to take into account uncertainties, such as changes in external conditions or instability of the air flow. (Results and discussion) To develop a mathematical model of infrared heating during soil mixture disinfection, an analytical method for solving (separation of variables) the Navier-Stokes convective heat transfer equation was applied. A graph of the temperature field and its level line in the Maple software package is constructed. The obtained solution can be used to develop a system for automatic monitoring and control of the infrared treatment process at various physical and geometric parameters of the device for disinfection of soil mixtures. (Conclusions) A mathematical model of the temperature field in the working chamber has been developed, which can be used in the monitoring and control system*

when designing installations by infrared irradiation of soil mixture in a thin layer on a conveyor of various sizes, ensuring its uniform heating (not exceeding the temperature of 95 ± 5 degrees Celsius) and maximum disinfection.

Keywords: soil mixture disinfection, infrared heating, mathematical model, temperature field, heat exchange, conveyor.

For citation: Dorodov P.V., Pospelova I.G., Vozmishchev I.V., Gavrilov R.I., Toropov L.A., Shakirov R.R. Development of a mathematical model of infrared heating when disinfecting the soil mixture. *Electrical technology and electrical equipment in Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 67-73 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-67-73. EDN: PSFOZY.

EDN: QJPXLR Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-74-79 УДК 621.9:628.4.043

Разработка системы автоматического управления энергетической установкой по переработке птичьего помета

Илдар Исмагилович Габитов,

доктор технических наук, профессор;

Андрей Владимирович Неговора,

доктор технических наук, профессор;

Денис Фаилевич Балтиков,

кандидат технических наук, e-mail: baltikov21@gmail.com

Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Российская Федерация

Реферат. Рассмотрена актуальная проблема утилизации птичьего помета, представляющего серьезную экологическую угрозу. Пиролиз птичьего помета представляет собой перспективный метод переработки органических отходов животноводческих хозяйств. Этот процесс позволяет преобразовывать отходы в полезные продукты, такие как биотопливо, удобрения и химические соединения. Управление пиролизом птичьего помета требует особого внимания к деталям и соблюдения определенных принципов. Автоматизация пиролизных установок направлена на улучшение эксплуатационных характеристик, повышение безопасности и снижение издержек производства. (Цель исследования) Обеспечить стабильное, безопасное и энергоэффективное протекание технологического процесса пиролиза птичьего помета за счет разработки комплексной системы автоматического управления энергетической установкой. (Материалы и методы) Применены методы компьютерного программирования, основные законы теплового баланса и математики. Предложили в качестве решения использование пиролиза – термического разложения в бескислородной среде. Уделили основное внимание разработке системы автоматического управления для энергетической установки пиролиза. (Результаты и обсуждение) Описали типовую функциональную схему автоматизации, ключевые контролируемые параметры и управляющие воздействия. Провели сравнительное исследование работоспособности установки до и после внедрения системы автоматического управления, продемонстрировавшее значительное повышение эффективности, безопасности и стабильности технологического процесса. (Выводы) Показали, что дальнейшим развитием системы может стать внедрение подсистемы предиктивного анализа и оптимизации на основе методов искусственного интеллекта для адаптации к изменяющимся характеристикам сырья. Определили, что внедрение системы автоматического управления позволяет обеспечить стабильность технологического режима, улучшить качество целевой продукции, достичь энергетической автономности установки и существенно повысить уровень промышленной безопасности.

Ключевые слова: пиролиз, птичий помет, утилизация, система автоматического управления, энергетическая установка, биоуголь, синтез-газ, экология.

Для цитирования: Габитов И.И., Неговора А.В., Балтиков Д.Ф. Разработка системы автоматического управления энергетической установкой по переработке птичьего помета // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N1. С. 74-79. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-74-79. EDN: QJPXLR.

Scientific article

Development of an Automatic Control System for an Energy Plant for Processing Bird Droppings

Ildar I. Gabitov,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Andrey V. Negovora,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Denis F. Baltikov,
Ph.D.(Eng.), e-mail: baltikov21@gmail.com

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation

Abstract. *The paper considers the actual problem of disposal of bird droppings, which poses a serious environmental threat. Pyrolysis of bird droppings is a promising method of processing organic waste from livestock farms. This process allows waste to be converted into useful products such as biofuels, fertilizers and chemical compounds. The management of pyrolysis of bird droppings requires special attention to detail and adherence to certain principles. Automation of pyrolysis plants is aimed at improving operational characteristics, increasing safety and reducing production costs. (Research purpose) The research purpose is creating the stable, safe and energy-efficient technological process of pyrolysis of bird droppings through the development of an integrated automatic control system for the power plant. (Materials and methods) Computer programming methods, basic laws of thermal balance and mathematics were applied. The use of pyrolysis, thermal decomposition in an oxygen-free environment, was proposed as a solution. We focused on the development of an automatic control system for a pyrolysis power plant. (Results and discussion) A typical functional automation scheme, key controlled parameters and control actions were described.*

A comparative study of the plant's operability was conducted before and after the introduction of the automatic control system, which showed a significant increase in the efficiency, safety and stability of the technological process. (Conclusions) It has been shown that the further development of the system may be the introduction of a subsystem of predictive analysis and optimization based on artificial intelligence methods to adapt to changing characteristics of raw materials. It was determined that the introduction of an automatic control system makes it possible to ensure the stability of the technological regime, improve the quality of the target products, achieve the energy autonomy of the installation and significantly increase the level of industrial safety.

Keywords: *pyrolysis, poultry manure, recycling, automatic control system, power plant, biocoal, syngas, ecology.*

For citation: Gabitov I.I., Negovora A.V., Baltikov D.F. Development of an automatic control system for an energy plant for processing bird droppings. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 74-79 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-74-79. EDN: QJPXLR.

EDN: QNUFFV Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-80-87 УДК 631.544.45:004.94

Компьютерное моделирование системы автоматического поддержания температуры в камерах фитотрона

Евгений Николаевич Гусенников,
аспирант, e-mail: ujhuf99@gmail.com;
Сергей Иосифович Юран,
доктор технических наук, профессор

Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Российская Федерация

Реферат. *Тепло – один из ключевых факторов роста растений, влияющий на активность зелени и корневой системы. При проектировании устройств для выращивания растений в закрытом грунте, в том числе фитотронов, необходимо соответствующим образом настроить систему автоматического регулирования температуры. На настоящий момент нет универсального метода определения параметров настройки системы автоматического регулирования температуры, поэтому для разрабатываемого фитотрона требуется проведение исследования по настройке его автоматической системы. (Цель исследования) Выполнить первичную проверку работоспособности разрабатываемой нагревательной системы. (Материалы и методы) Указали, что в основе системы автоматического регулирования лежит ПИД-*

регулятор, его коэффициенты настройки определили в процессе исследования. Использовали для моделирования тепловых и воздушных процессов программное обеспечение COMSOL Multiphysics с интерфейсами Laminar Flow и Heat Transfer. (Результаты и обсуждение) Показали, что основные параметры компьютерной модели, включая мощность электронагревателя, геометрические размеры и применяемые материалы, соответствуют разрабатываемому прототипу. Получили при моделировании графики изменения температуры воздуха и почвы для трех вариантов настройки ПИД-регулятора. Проанализировали параметры качества системы автоматического регулирования температуры воздуха и температуры почвы при трех вариантах настройки ПИД-регулятора. (Выводы) Установили, что моделирование продемонстрировало работоспособность системы автоматического регулирования температуры воздуха и почвы. Выбрали в ходе анализа приемлемый вариант настройки ПИД-регулятора со следующими коэффициентами: для пропорциональной и интегральной составляющих 0,2, для дифференциальной составляющей 0,4. Выявили, что данный вариант имеет высокую точность регулирования с уровнем статической ошибки 8 процентов для почвы, 6 процентов для воздуха и уровнем относительных статических колебаний 1 процент для почвы, 4 процента для воздуха, что значительно меньше относительной установленной зоны нечувствительности системы автоматического регулирования.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, термодинамика, фитотрон, COMSOL Multiphysics, автоматика.

Для цитирования: Гусеников Е.Н., Юран С.И. Компьютерное моделирование системы автоматического поддержания температуры в камерах фитотрона // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N1. С. 80-87. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-80-87. EDN: QNUFFV.

Scientific article

Computer Modeling of the Automatic Temperature Maintenance System in the Phytotron Chambers

Evgeniy N. Gusennikov,
postgraduate, e-mail: ujhuf99@gmail.com;

Sergey I. Yuran,
Dr.Sc.(Eng.), professor

Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russian Federation

Abstract. Heat is one of the key factors of plant growth, affecting the activity of greenery and the root system. When designing devices for growing plants indoors, including phytotrons, it is necessary to adjust the automatic temperature control system accordingly. At the moment, there is no universal method for determining the settings of the automatic temperature control system, therefore, a study on tuning its automatic system is required for the phytotron being developed. (Research purpose) The research purpose is performing a primary health check of the heating system being developed. (Materials and methods) Indicated that the automatic control system is based on a PID controller, its tuning coefficients were determined during the study. COMSOL Multiphysics software with Laminar Flow and Heat Transfer interfaces was used to simulate thermal and air processes. (Results and discussion) It was shown that the main parameters of the computer model, including the power of the electric heater, the geometric dimensions and the materials used, correspond to the prototype being developed. Obtained by modeling graphs of changes in air and soil temperature for three options for setting the PID controller. The quality parameters of the automatic air temperature and soil temperature control system were analyzed with three options for setting the PID controller. (Conclusions) It was established that the simulation demonstrated the working ability of the automatic air and soil temperature control system. During the analysis, we selected an acceptable option for setting the PID controller with the following coefficients: for the proportional and integral components 0.2, for the differential component 0.4. It was found that this option has a high adjustment accuracy with a static error level of 8 percent for soil, 6 percent for air and a relative static oscillation level of 1 percent for soil, 4 percent for air, which is significantly less than the relative insensitivity zone of the automatic control system.

Keywords: computer modeling, thermodynamics, phytotron, COMSOL Multiphysics, automation.

For citation: Gusennikov E.N., Yuran S.I. Computer modeling of the automatic temperature maintenance system in the phytotron chambers. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 80-87 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-80-87. EDN: QNUFFV.

Цифровые технологии и их влияние на механизацию сельского хозяйства

Борис Федорович Тарасенко¹,

доктор технических наук, доцент, e-mail: b.tarasenko@inbox.ru;

Александр Александрович Букарев¹,

аспирант;

Эрик Хавьяримана¹,

аспирант;

Ирина Павловна Трояновская²,

доктор технических наук, профессор;

Сергей Александрович Войнаш³

ассистент

¹Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Российская Федерация;

²Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Российская Федерация;

³Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Российская Федерация

Реферат. В настоящее время цифровизация проникает во все сферы деятельности человека и агропромышленный комплекс не исключение. Применение цифровых технологий в разных секторах сельского хозяйства различно. Например, если в животноводстве наблюдается наибольший интерес к роботизации ферм, то в растениеводстве большое внимание уделяется использованию беспилотных систем. Для полной трансформации сельскохозяйственной отрасли необходимо эффективное использование различных инструментов цифровизации. (Цель исследования) Выбрать наиболее рациональные элементы цифровых технологий в соответствии с потенциальными потребностями аграрного сектора на примере технологического процесса растениеводства. (Материалы и методы) Провели анализ технологического цикла производства растительной сельскохозяйственной продукции для определения наиболее рациональных инструментов цифровых технологий для каждого его этапа. (Результаты и обсуждение) Рассмотрели ключевые инструменты цифровых технологий. Выявили, что на этапе предпосевной обработки наибольший эффект имеет применение беспилотных тракторных агрегатов (описаны их основные достоинства и преимущества). Определили, что при посеве большую помощь может оказать использование искусственного интеллекта, позволяющего обрабатывать значительный объем данных. Установили, что на этапе ухода за растениями предпочтение отдается беспилотным летательным аппаратам (дана их классификация и рекомендации по применению). Показали, что на стадии уборки урожая хорошо зарекомендовали себя агроботы с техническим зрением (приведена информация по технологии Agro-Iot и внедрению программного обеспечения для полной роботизации процесса). (Выводы) Отметили, что анализ технологического процесса выявил, что на разных этапах производства растительной сельскохозяйственной продукции существуют потребности в различных инструментах цифровых технологий. Констатировали, что полная цифровая трансформация агропромышленного комплекса позволит значительно повысить эффективность производства сельскохозяйственной продукции.

Ключевые слова: беспилотный трактор, агробот, беспилотный летательный аппарат, искусственный интеллект, Agro-Iot технология, автоматизация и роботизация.

Для цитирования: Тарасенко Б.Ф., Букарев А.А., Хавьяримана Э., Трояновская И.П., Войнаш С.А. Цифровые технологии и их влияние на механизацию сельского хозяйства // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. №1. С. 88-96. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-88-96. EDN. QUSAAE.

Scientific article

Digital Technologies and Their Impact on Agricultural Mechanization

Boris F. Tarasenko¹,

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

Aleksandr A. Bukarev¹,
postgraduate;
Eric Havyarimana¹,
postgraduate;
Irina P. Troyanovskaya²,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Sergey A. Voynash³
assistant

¹Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation;

²South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russian Federation;

³Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Currently, digitalization is penetrating into all spheres of human activity and the agro-industrial complex is no exception. The use of digital technologies in different sectors of the agro-industrial complex is different. For example, if in animal husbandry there is the greatest interest in robotization of farms, then in crop production much attention is paid to the use of unmanned systems. Effective use of various digitalization tools is necessary for the complete transformation of the agricultural sector. (Research purpose) The research purpose is selecting the most rational elements of digital technologies in accordance with the potential needs of the agricultural sector using the example of the technological process of crop production. (Materials and methods) Carried out an analysis of the technological cycle of production of plant agricultural products to determine the most rational tools of digital technologies for each of its stages. (Results and discussion) We reviewed the main tools of digital technologies. It was found that at the stage of pre-sowing processing, the use of unmanned tractor units has the greatest effect (their main advantages are described). It was determined that the use of artificial intelligence, which allows processing a significant amount of data, can be of great help when sowing. It was established that at the stage of plant care, preference is given to unmanned aerial vehicles (their classification and recommendations for use are given). It has been shown that agrobots with technical vision have proven themselves well at the harvesting stage (information on Agro-Iot technology and software implementation for complete robotization of the process is provided). (Conclusions) It was noted that the analysis of the technological process revealed that at different stages of the production of plant agricultural products there are needs for various digital technology tools. It was stated that the complete digital transformation of the agro-industrial complex will significantly improve the efficiency of agricultural production.*

Keywords: *unmanned tractor, agrobot, unmanned aerial vehicle, artificial intelligence, Agro-Iot technology, automation and robotics.*

For citation: Tarasenko B.F., Bukarev A.A., Havyarimana E., Troyanovskaya I.P., Voynash S.A. Digital technologies and their impact on agricultural mechanization. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 88-96 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-88-96. EDN. QUSAAE.

EDN: SEEZJU Научная статья
DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-97-108 УДК 631.171

Концепция поточного анализа качества молока: многопараметрический подход и модульная архитектура интеллектуального устройства

Артем Рустамович Хакимов¹,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: arty.hv@gmail.com;
Дмитрий Юрьевич Павкин¹,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
Сергей Сергеевич Юрочка¹,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
Федор Евгеньевич Владимиров¹,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
Дмитрий Николаевич Игнатенко²,
кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник;
Семен Сергеевич Рузин¹,

Реферат. Современное молочное животноводство характеризуется высокой технологической сложностью, в которой качество молока формируется под влиянием многомерных биологических и технологических процессов. Существующие методы анализа молока ориентированы преимущественно на лабораторные условия и не учитывают поведение молоковоздушной смеси в динамическом потоке. (Цель исследования) Провести оценку ключевых концептуальных пробелов: отсутствия физико-математической модели фотолюминесценции казеиновых мицелл, недостаточной теоретической базы по взаимодействию оптических, электрохимических и гидродинамических процессов, а также отсутствия интегральной рамки, способной описать поток молоковоздушной смеси как нелинейную, турбулентную и структурно неоднородную систему. (Материалы и методы) Применили классические методы сбора, изучения, систематизации и обработки научной информации, экспертных оценок, методических руководств, рекомендаций, материалов специализированных выставок, патентно-лицензионных источников, инновационных разработок ведущих производителей техники и оборудования для молочного животноводства, опыта использования современных технологий и инновационной техники в передовых хозяйствах России и зарубежных стран. (Результаты и обсуждение) Предложили концептуальную модель поточного анализатора качества молока, основанную на модульной архитектуре и многопараметрическом подходе. Описали три аналитических модуля, связывающих оптические, электрохимические и биологические технологии в единую систему оперативной оценки качества молока. Рассмотрели применимость интеллектуального устройства в различных технологических конфигурациях доения, а также особенности его интеграции в цифровые системы управления стадом. Показали, что с использованием адаптированного подхода австрийской школы экономики предложена концептуальная модель производственной структуры животноводческой фермы, демонстрирующая влияние технологий поточного анализа на перераспределение капитала между стадиями производства. (Выводы) Определили, что внедрение анализатора удлиняет производственную структуру, увеличивает суммарный технологический, управленческий и мониторинговый капитал и повышает потенциальное предложение молока за счет улучшения принятия решений и снижения оборотных издержек. Констатировали, что предлагаемая концепция формирует теоретическую основу для создания высокоточных потоковых анализаторов и дальнейших исследований в области цифровизации молочного животноводства.

Ключевые слова: поточный анализ молока, спектроскопия, кондуктометрия, энергоэффективность, многопараметрическая модель, модульная архитектура, цифровизация животноводства, производственная структура.

Для цитирования: Хакимов А.Р., Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Владимиров Ф.Е., Игнатенко Д.Н., Рузин С.С. Концепция поточного анализа качества молока: многопараметрический подход и модульная архитектура интеллектуального устройства // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N1. С. 97-108. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-97-108. EDN: SEEZJU.

Scientific article

The Concept of In-Line Analysis of Milk Quality: a Multiparametric Approach and Modular Architecture of an Intelligent Device

Artem R. Khakimov¹,

Ph.D.(Eng.), senior researcher, e-mail: arty.hv@gmail.com;

Dmitriy Yu. Pavkin¹,

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

Sergey S. Yurochka¹,

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

Fedor E. Vladimirov¹,

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

Dmitriy N. Ignatenko²,

Ph.D.(Phys.-Math.), junior researcher,

Semen S. Ruzin¹,

Ph.D.(Eng.), senior researcher

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

²A.M. Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Abstract. Modern dairy farming is characterized by high technological complexity, in which the quality of milk is formed under the influence of multidimensional biological and technological processes. The existing methods of milk analysis are focused mainly on laboratory conditions and do not take into account the behavior of the milk-air mixture in a dynamic flow. (Research purpose) The research purpose is assessing key conceptual gaps: the absence of a physical and mathematical model of the photoluminescence of casein micelles, insufficient theoretical basis for the interaction of optical, electrochemical and hydrodynamic processes, as well as the absence of an integral framework capable of describing the flow of milk-air mixture as a nonlinear, turbulent and structurally heterogeneous system. (Materials and methods) Applied classical methods of collecting, studying, systematizing and processing scientific information, expert assessments, methodological manuals, recommendations, materials of specialized exhibitions, patent and licensing sources, innovative developments of leading manufacturers of machinery and equipment for dairy farming, experience in the use of modern technologies and innovative equipment in advanced farms of Russia and foreign countries. (Results and discussion) A conceptual model of a milk quality flow analyzer based on a modular architecture and a multiparametric approach has been proposed. Three analytical modules have been described that link optical, electrochemical and biological technologies into a single system for operational evaluation of milk quality. The applicability of the intelligent device in various technological configurations of milking was considered, as well as the features of its integration into digital herd management systems. It was shown that using the adapted approach of the Austrian School of Economics, a conceptual model of the production structure of a livestock farm was proposed, demonstrating the influence of flow analysis technologies on the redistribution of capital between production stages. (Conclusions) It was determined that the introduction of the analyzer lengthens the production structure, increases the total technological, managerial and monitoring capital and increases the potential supply of milk by improving decision-making and reducing working costs. It was stated that the proposed concept forms the theoretical basis for the creation of high-precision streaming analyzers and further research in the field of digitalization of dairy farming.

Keywords: in-line milk analysis, spectroscopy, conductometry, energy efficiency, multiparameter model, modular architecture, digitalization of animal husbandry, production structure.

For citation: Khakimov A.R., Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Vladimirov F.E., Ignatenko D.N., Ruzin S.S. The concept of in-line analysis of milk quality: a multiparametric approach and modular architecture of an intelligent device. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 97-108 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-97-108. EDN: SEEZJU.

EDN: VHXHDE Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-109-114

УДК 621.865.8:629.113

Расчет усилителя рулевого управления с шаговым электродвигателем для беспилотного машинно-тракторного агрегата

Загир Ришатович Юлмухаметов,

преподаватель-исследователь, e-mail: ylmuck@mail.ru;

Рустам Рифович Галиуллин,

доктор технических наук, профессор

Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Российская Федерация

Реферат. Существующие системы рулевого управления на основе гидравлических и стандартных электромеханических усилителей не в полной мере отвечают требованиям по точности позиционирования и быстрдействию для беспилотных машинно-тракторных агрегатов в условиях точного земледелия. (Цель исследования) Разработка методики расчета и обоснование применения шагового электродвигателя в качестве высокоточного усилителя рулевого управления для беспилотных машинно-тракторных агрегатов на основе модификации существующих теоретических подходов. (Материалы и методы) Теоретический анализ на основе законов механики и теории автоматического управления с использованием и развитием методик, предложенных в работах Огороднова С.М., Стеблова К.Д. и других авторов. Проведено компьютерное моделирование в MATLAB/Simulink. (Результаты и обсуждение) Получены аналитические зависимости для расчета момента шагового электродвигателя и угла корректировки. Показано, что

шаговый электродвигатель превосходит традиционные приводы по точности позиционирования в системах с разомкнутым контуром. Разработана модифицированная модель суммарного момента сопротивления для условий работы машинно-тракторного агрегата. Результаты моделирования подтвердили возможность обеспечения точности позиционирования ± 3 сантиметра при скорости движения до 10 километров в час. (Выводы) Применение шагового электродвигателя является перспективным направлением для создания высокоточных и энергоэффективных систем автоматического вождения машинно-тракторного агрегата. Предложенная методика расчета позволяет корректно определить параметры усилителя на этапе проектирования.

Ключевые слова: беспилотный машинно-тракторный агрегат, шаговый электродвигатель, усилитель рулевого управления, точное земледелие, угол коррекции, момент сопротивления, математическое моделирование.

Для цитирования: Юлмухаметов З.Р., Галиуллин Р.Р. Расчет усилителя рулевого управления с шаговым электродвигателем для беспилотного машинно-тракторного агрегата // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N1. С. 109-114. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-109-114. EDN: VHXHDE.

Scientific article

Calculation of Power Steering with a Stepper Motor for Unmanned Machine-tractor Unit

Zagir R. Yulmukhametov,

lecturer-researcher, e-mail: ylmuck@mail.ru;

Rustam R. Galiullin,

Dr.Sc.(Eng), associate professor

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation

Abstract. *The existing steering systems based on hydraulic and standard electromechanical amplifiers do not fully meet the requirements for positioning accuracy and speed for unmanned machine-tractor units in precision farming conditions. (Research purpose) The research purpose is development of calculation methodology and justification of the use of a stepper motor as a high-precision power steering for unmanned machine-tractor units based on the modification of existing theoretical approaches. (Materials and methods) Theoretical analysis based on the laws of mechanics and the theory of automatic control with the use and development of techniques proposed in the works of Ogorodnov S.M., Steblou K.D. and other authors. Computer simulation was performed in MATLAB/Simulink. (Results and discussion) Analytical dependences are obtained for calculating the torque of a stepper motor and the correction angle. It is shown that the stepper motor surpasses traditional drives in positioning accuracy in open-loop systems. A modified model of the total moment of resistance for the operating conditions of a machine-tractor unit has been developed. The simulation results confirmed the possibility of ensuring positioning accuracy of ± 3 centimeters at a speed of up to 10 kilometers per hour. (Conclusions) The use of a stepper motor is a promising direction for creating high-precision and energy-efficient automatic driving systems for a machine-tractor unit. The proposed calculation method allows to correctly determine the parameters of the amplifier at the design stage.*

Keywords: *unmanned machine-tractor unit, stepper electric motor, steering booster, precision agriculture, correction angle, resistance moment, mathematical modeling.*

For citation: Yulmukhametov Z.R., Galiullin R.R. Calculation of power steering with a stepper motor for unmanned machine-tractor unit. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 109-114 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-109-114. EDN: VHXHDE.

EDN: WXCTMF Научная статья

DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-115-121

УДК 620.9:62-93

Удаление льда и снега с поверхности фотоэлектрических модулей

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 модулей в суровых климатических условиях нередко возникает ситуация покрытия их поверхностей слоем льда и снега. В связи с этим было проведено исследование факторов, оказывающих влияние на длительность плавления льда и снега для удаления снежного покрова с поверхности фотоэлектрических модулей. Был выбран необходимый температурный режим солнечных модулей, при котором снежный покров не задерживается на их поверхности при отрицательной температуре окружающей среды. Выполнили ряд натурных экспериментов с двумя идентичными фотоэлектрическими панелями для оценки времени плавления льда и снега на их поверхности. (Цель исследования) Изменить температурный режим накрытой слоем снега и льда поверхности фотоэлектрического модуля при его включении в электрическую цепь с напряжением прямой полярности при фиксированных величинах тока и напряжения. Осуществить автоматический процесс плавления льда и снега в течение суток. (Материалы и методы) Проведены натурные испытания и разработаны алгоритмы автоматической очистки от снежного покрова и автоматики для оснащения фотогоальванических модулей и инверторов (преобразователей постоянного тока в переменный с промышленной частотой 50 герц) при создании условий, не позволяющих длительное время задерживаться на поверхности модулей снежным массам, препятствующим протеканию основного процесса – фотоэлектрического эффекта. (Результаты и обсуждение) Получены результаты натурных испытаний, проведенных на опытных образцах и свидетельствующих, что нагрев поверхностей солнечных модулей, накрытых снегом при отрицательных температурах окружающей среды, возможен без ограничений (в стопроцентном объеме). При этом нагрев не снижает эксплуатационные параметры, заявленные заводом-изготовителем. (Выводы) Полученные параметры показали очевидное преимущество предложенного алгоритма автоматической очистки и непосредственно автоматики, которая повышает эффективность работы и снижает объемы недовыработки, а также минимизирует экономические потери. Отметим, что предложенный способ подтвержден экспериментальными результатами.

Ключевые слова: снежный покров, фотоэлектрический модуль, инвертор, фотоэлектрический эффект.

Для цитирования: Арифов А.М., Бекиров Э.А., Юферев Л.Ю. Удаление льда и снега с поверхности фотоэлектрических модулей // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2026. Т. 73. N1. С. 115-121. DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-115-121. EDN: WXCTMF.

Scientific article

Removing Ice and Snow from the Surface of Photovoltaic Modules

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 researcher, 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. When using photovoltaic modules in harsh climatic conditions, the situation of covering their surfaces with a layer of ice and snow often arises. In this regard, a study was conducted on the factors influencing the duration of melting of ice and snow to remove snow cover from the surface of photovoltaic modules. The necessary temperature regime of the solar modules was chosen, in which the snow cover does not linger on their surface at a below-zero ambient temperature. A number of field experiments were performed with two identical photovoltaic panels to estimate the melting time of ice and snow on their surface. (Research Purpose) The research purpose is changing the temperature regime of the surface of the photovoltaic module covered with a layer of snow and ice when it is connected to an electrical circuit with a voltage of direct polarity at fixed values of current and voltage, carrying out the automatic process of melting ice and snow during the day. (Materials and methods) Field tests were carried out and

algorithms for automatic cleaning of snow cover and automation were developed to equip photovoltaic modules and inverters (DC-to-AC converters with an industrial frequency of 50 hertz) while creating conditions that do not allow snow masses to linger on the surface of the modules for a long time, preventing the main process – the photoelectric effect. (Results and discussion) The results of field tests carried out on prototypes have been obtained, indicating that heating of the surfaces of solar modules covered with snow at negative ambient temperatures is possible without restrictions (in one hundred percent volume). At the same time, heating does not reduce the operating parameters declared by the manufacturer. (Conclusions) The obtained parameters showed the obvious advantage of the proposed algorithm of automatic cleaning and automation itself, which increases the efficiency of work and reduces the amount of underwork, as well as minimizes economic losses. It was noted that the proposed method is confirmed by experimental results.

Keywords: *snow cover; photovoltaic module; inverter; photoelectric effect.*

For citation: Arifov A.M., Bekirov E.A., Yuferev L.Yu. Removing ice and snow from the Surface of photovoltaic modules. *Electrical Technology and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2026. Vol. 73. N1. 115-121 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2026-73-1-115-121. EDN: WXCTMF.