УДК 66.011 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-3-9

Математическое моделирование и экспериментальное изучение процесса электромагнитно-конвективной сушки растительных материалов

Станислав Павлович Рудобашта,

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

Реферат. *Проанализированы работы по электромагнитной сушке с подводом теплоты к высушиваемому материалу с применением токов высокой и сверхвысокой частоты и в инфракрасном диапазоне частот – при осциллирующем подводе энергии. (Цель исследования) Представить аналитические математические модели, развитые автором с сотрудниками, для описания осциллирующей электромагнитно-конвективной сушки материалов, а также способа сушки семян овощных культур, нетрадиционных и редких растений, вызывающих улучшение их посевных качеств. (Материалы и методы) Получили решения задач нагрева материала с помощью аналитического метода интегральных преобразований. Выполнили экспериментальные исследования по осциллирующей инфракрасной сушке на семенах овощных культур, нетрадиционных и редких растений. (Результаты и обсуждение) Рассмотрели комбинированную электромагнитно-конвективную сушку материалов, при которой энергия на сушку подводится с использованием электромагнитного поля и конвективно с помощью предварительно нагретого сушильного агента. Проанализировали математические модели, описывающие осциллирующий нагрев тел разной формы (неограниченная пластина, бесконечный цилиндр, шар) в условиях конвективной сушки. Привели результаты численного моделирования процесса осциллирующей инфракрасной сушки семян лука репчатого в псевдоожиженном слое, которые показывают, что методом численного моделирования на основе полученных моделей можно находить необходимый технологический режим сушки. (Выводы) Представили математические модели, которые позволяют осуществлять численное моделирование электромагнитно-конвективной сушки и находить требуемое аппаратурно-технологическое оформление процесса. Определили, что осциллирующая инфракрасная сушка семян овощных культур, нетрадиционных и редких растений при колебании температуры семян от* t_{min} *= 34 градусов Цельсия до* t_{max} *= 40 градусов Цельсия вызывает стимуляцию семян, которая проявляется в увеличении энергии прорастания и всхожести. Выявили, что у семян овощных культур всхожесть возрастает на 11-24 процента (от контроля), а энергия прорастания – на 12-73 процента, у семян нетрадиционных и редких растений соответственно на 13-24 процента и на 14-82 процента.*

Ключевые слова: *математическое моделирование, электромагнитный нагрев, инфракрасная сушка, стимуляция, семена.*

Для цитирования: Рудобашта С.П. Математическое моделирование и экспериментальное изучение процесса электромагнитно-конвективной сушки растительных материалов // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК.* 2023. Т. 70. N1(50). С. 3-9. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-3-9. EDN CBRWNB.

Mathematical Modeling and Experimental Study of the Process of Electromagnetic-Convective Drying of Plant Materials

Stanislav P. Rudobashta,

Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail; rudobashta@mail.ru

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

Abstract. *The work on electromagnetic drying with heat supply to the dried material using high and ultrahigh frequency currents and in the infrared frequency range – with oscillating energy supply is analyzed. (Research purpose) The research purpose is in analytical mathematical describing the oscillating electromagnetic-convective drying of materials, as well as the method of drying seeds of vegetable crops, non-traditional and rare plants that improve their sowing qualities. (Materials and methods) Obtained solutions to the problems of heating the material using the analytical method of integral transformations. Experimental studies were carried out on oscillating infrared drying on seeds of vegetable crops, non-traditional and rare plants. (Results and discussion) The combined electromagnetic-convective drying of materials was considered, in which the energy for drying is supplied using an electromagnetic field and convectively using a preheated drying agent. Mathematical models describing the digitizing heating of bodies of different shapes (unlimited plate, infinite cylinder, ball) under conditions of convective drying*

were analyzed. The results of numerical modeling of the process of oscillating infrared drying of onion seeds in a fluidized bed are presented, which show that the necessary technological drying mode can be found by numerical modeling based on the obtained models. (Conclusions) Presented mathematical models that allow numerical modeling of electromagnetic-convective drying and finding the required hardware and technological design of the process. It was determined that oscillating infrared drying of seeds of vegetable crops, non-traditional and rare plants when the seed temperature fluctuates from t_{min} = 34 degrees Celsius to t_{max} = 40 degrees Celsius causes seed stimulation, which manifests itself in an increase in germination energy and germination. It was found that the germination of vegetable seeds increases by 11-24 percent (from control), and the germination energy – by 12-73 percent, seeds of non–traditional and rare plants, respectively, by 13-24 percent and 14-82 percent.
Keywords: *mathematical modeling, electromagnetic heating, infrared drying, stimulation, seeds.*

For citation: Rudobashta S.P. Matematicheskoe modelirovanie i eksperimental'noe izuchenie protsessa elektromagnitno-konvektivnoy sushki rastitel'nykh materialov [Mathematical modeling and experimental study of the process of electromagnetic-

УДК 621.3 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-10-17

Научные основы проектирования переносной СВЧ-конвективной установки для сушки зерна при хранении насыпью

Дмитрий Александрович Будников,
доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: dimm13@inbox.ru;
Алексей Николаевич Васильев,
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник;
Антон Александрович Шарко,
ведущий инженер, аспирант

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Приведены данные анализа применения электрофизических воздействий и обоснован выбор использования микроволнового поля для интенсификации тепломассопереноса; результаты численного эксперимента по распространению микроволнового поля и рассеиваемой мощности в плотном зерновом слое при различной влажности материала при подводе микроволновой энергии через щелевые излучатели, совмещенные с воздуховодом вентиляционной установки. Разработка режимов комбинированной сушки зерна в плотном неподвижном слое требует учета предельных уровней допустимого нагрева и картины распространения тепловых полей в процессе воздействия. (Цель исследования) Разработать конструкцию переносной сверхвысокочастотно-конвективной установки для сушки зерна, хранящегося насыпью. (Материалы и методы) Представили модель переносной установки для комбинированной сверхвысокочастотно-конвективной обработки. Привели модель волновода-излучателя для проведения численного моделирования. (Результаты и обсуждение) Провели численный эксперимент по определению распространения микроволнового поля в слое пшеницы различной влажности. (Выводы) Выявили, что результаты моделирования распределения напряженности микроволнового поля в зерновой массе могут быть использованы для разработки режимов комбинированной сушки зерна с учетом особенностей распространения тепловых полей, рассеиваемой мощности и работы источников поля. Показали, что в качестве интенсифицирующего фактора процессов тепломассопереноса для неподвижного зернового слоя целесообразно применять микроволновое поле в импульсном режиме работы, совмещаемое с активным вентилированием. Установили, что с целью воздействия на зерновой слой необходимо использовать микроволновое поле частотой 915 Мегагерц, однако отсутствие серийно выпускаемых источников микроволнового поля мощностью 200-1000 ватт с воздушным охлаждением ограничивает эту возможность. Определили, что применение в качестве микроволнового поля источников, работающих на частоте 2,45 Гигагерц, возможно при учете разработки импульсных режимов подачи микроволнового поля. Констатировали, что использование воздуховода с щелевыми излучателями позволяет обеспечить подвод микроволновой энергии на требуемый уровень по высоте обрабатываемого слоя.*
Ключевые слова: *электрофизические воздействия, послеуборочная обработка, микроволновое поле, равномерность распространения.*

Для цитирования: Будников Д.А., Васильев А.Н., Шарко А.А. Научные основы проектирования переносной СВЧ-конвективной установки для сушки зерна при хранении насыпью // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 10-17. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-10-17. EDN CWYYNU.

Developing of a Portable Microwave Convective Drying Plant for Grain Stored in Bulk

Dmitriy A. Budnikov,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, e-mail: dimm13@inbox.ru;
Aleksey N. Vasil'ev,
Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher;
Anton A. Sharko,
leading engineer, postgraduate
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The data of the analysis of the application of electrophysical influences are presented and the choice of using a microwave field for the intensification of heat and mass transfer is justified; the results of a numerical experiment on the propagation of a microwave field and dissipated power in a dense grain layer at different material humidity when microwave energy is supplied through slit radiators combined with the duct of a ventilation installation. The development of combined grain drying modes in a dense stationary layer requires taking into account the maximum levels of permissible heating and the pattern of propagation of thermal fields during exposure. (Research purpose) The research purpose is developing the design of a portable ultra-high-frequency convective installation for drying grain stored in bulk. (Materials and methods) Presented a model of a portable installation for combined ultrahigh-frequency convective processing. A model of a waveguide-emitter was given for numerical simulation. (Results and discussion) A numerical experiment was conducted to determine the propagation of the microwave field in a layer of wheat of different humidity. (Conclusions) It was revealed that the results of modeling the distribution of the microwave field intensity in the grain mass can be used to develop modes of combined grain drying, taking into account the peculiarities of the propagation of thermal fields, power dissipation and the operation of field sources. It has been shown that as an intensifying factor of heat and mass transfer processes for a stationary grain layer, it is advisable to use a microwave field in a pulsed mode of operation combined with active ventilation. It was established that in order to influence the grain layer, it is necessary to use a microwave field with a frequency of 915 Megahertz, however, the absence of commercially available microwave field sources with a power of 200-1000 watts with air cooling limits this possibility. It was determined that the use of sources operating at a frequency of 2.45 Gigahertz as a microwave field is possible taking into account the development of pulsed modes of microwave field supply. It was stated that the use of an air duct with slit radiators allows for the supply of microwave energy to the required level in the height of the treated layer.*

Keywords: *electrophysical effects, post-harvest treatment, microwave field, uniform distribution.*

For citation: Budnikov D.A., Vasil'ev A.N., Sharko A.A. Nauchnye osnovy proektirovaniya perenosnoy SVCH-konvektivnoy ustanovki dlya sushki zerna pri khranenii nasyp'yu [Developing of a portable microwave convective drying plant for grain stored in bulk]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*

УДК 621.385.6 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-18-27

Научно-технические основы разработки установок с СВЧ-энергоподводом для переработки сырья агропредприятий

Галина Владимирова Новикова[1],
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник;
Владимир Федорович Сторчевой[2],
доктор технических наук, профессор;
Марьяна Валентиновна Просвирякова[2],
доктор технических наук, доцент;
Ирина Георгиевна Ершова[2],
кандидат технических наук, e-mail: eig85@yandex.ru;
Наталья Геннадьевна Горячева[3],
кандидат технических наук, доцент

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г. Княгинино, Российская Федерация;

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация;
Академия гражданской защиты МЧС России, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Описана разработанная методология проектирования установок со сверхвысокочастотным энергоподводом для термообработки сырья агропредприятий. Научная проблема – низкая энергоэффективность установок, предназначенных для термообработки сырья пароводяной смесью конвективным подводом тепла, отсутствие установок непрерывно-поточного действия для фермерских хозяйств, обеспечивающих сохранение потребительских свойств термообработанного продукта при сниженных эксплуатационных затратах. (Цель исследования) Разработать научно-технические основы установок со сверхвысокочастотным энергоподводом для переработки сырья агропредприятий. (Материалы и методы) Провели трехмерное моделирование конструкционного исполнения установок в программе Компас 20, определили электродинамические параметры системы «генератор-резонатор» в программе CST Microwave Studio. (Результаты и обсуждение) Разработали резонаторы разного конструкционного исполнения для разных видов сырья, в них электромагнитная безопасность обеспечивается запредельными волноводами, замедляющими системами в виде цепочки связанных резонаторов, гребенки, цилиндрической спирали, кольца-стержня, встречных штырей. Использовали в резонаторах с криволинейными поверхностями несколько магнетронов одинаковой частоты или работающие на близких частотах с диссекторами для изменения частоты генератора и увеличения числа видов колебаний, и перемешивающие, транспортирующие механизмы, позволяющие выдерживать скважность технологического процесса менее 0,5 и соблюдать размеры сырья в соответствии с глубиной проникновения волны. Установили, что при применении нескольких магнетронов концентрация энергии электромагнитного поля в объеме резонатора и уменьшение потерь на излучение достигаются с помощью керамических отражателей. Определили для оценки термического коэффициента полезного действия значения собственных добротностей резонаторов. (Выводы) Показали на примерах размораживателя молозива животных, мгновенного пастеризатора молока и трехсекционной хмелесушилки с магнетронами воздушного охлаждения реализацию научно-технических основ проектирования сверхвысокочастотной техники для переработки сырья агропредприятий. Выявили, что они предусматривают пути достижения непрерывного режима работы оборудования с соблюдением электромагнитной безопасности без экранирующего корпуса путем реализации металлодиэлектрических резонаторов с замедляющими системами и керамическими отражателями при оптимальном расположении волноводов с магнетронами воздушного охлаждения на криволинейной поверхности резонаторов.*

Ключевые слова: *методология и критерии проектирования, СВЧ-энергоподвод, собственная добротность резонатора, высокая напряженность электрического поля, непрерывный режим, радиогерметичность, размораживатель молозива животных, хмелесушилка, пастеризатор молока.*

Для цитирования: Новикова Г.В., Сторчевой В.Ф., Просвирякова М.В., Ершова И.Г., Горячева Н.Г. Научно-технические основы разработки установок с СВЧ-энергоподводом для переработки сырья агропредприятий // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 18-27. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-18-27. EDN DVVZVK.

Scientific and Technical Basis for the Development of Installations with Microwave Power Supply for Processing Raw Materials at Agricultural Enterprises

Galina V. Novikova[1],
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Vladimir F. Storchevoy[2],
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Mar'yana V. Prosviryakova[2],
Dr.Sc.(Eng.), associate professor;
Irina G. Ershova[2],
Ph.D.(Eng.), e-mail: eig85@yandex.ru;
Natalya G. Goryacheva[3],
Ph.D.(Eng.), associate professor

[1]Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russian Federation;
[2]RGAU – Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation;
[3]Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The developed methodology of designing installations with microwave power supply for heat treatment of raw materials of agricultural enterprises is described. The scientific problem is the low energy efficiency of*

installations designed for heat treatment of raw materials with steam–water mixture, convective heat supply, the absence of continuous-flow installations for farms that ensure the preservation of consumer properties of the heat-treated product at reduced operating costs. (Research purpose) The research purpose is developing the scientific and technical foundations of installations with microwave power supply for processing raw materials at agricultural enterprises. (Materials and methods) Carried out three-dimensional modeling of the structural design of the installations in the Compass 20 program, determined the electrodynamic parameters of the "generator-resonator" system in the CST Microwave Studio program. (Results and discussion) Resonators of different structural designs have been developed for different types of raw materials, in which electromagnetic safety is ensured by forbidden waveguides, decelerating systems in the form of a chain of connected resonators, comb, cylindrical spiral, rod ring, counter pins. In resonators with curved surfaces, several magnetrons of the same frequency or operating at close frequencies with dissectors were used to change the frequency of the generator and increase the number of types of vibrations, and mixing, transporting mechanisms that allow maintaining the well of the technological process less than 0.5 and observing the dimensions of the raw materials in accordance with the depth of penetration of the wave. It was found that when using several magnetrons, the concentration of the electromagnetic field energy in the resonator volume and the reduction of radiation losses are achieved using ceramic reflectors. The values of the intrinsic Q-values of the resonators were determined to evaluate the thermal efficiency coefficient. (Conclusions) Using the examples of an animal colostrum defroster, instant milk pasteurizer and a three-section hop dryer with air-cooled magnetrons, the implementation of the scientific and technical fundamentals of designing microwave equipment for processing raw materials of agricultural enterprises was shown. It was revealed that they provide ways to achieve a continuous mode of operation of the equipment in compliance with electromagnetic safety without a shielding housing by implementing metal-dielectric resonators with decelerating systems and ceramic reflectors with an optimal arrangement of waveguides with air-cooled magnetrons on the curved surfaces of the resonators.
Keywords: *methodology and design criteria, microwave power supply, resonator Q-factor, high electric field strength, continuous mode, radio leakage, animal colostrum defroster, hop dryer, milk pasteurizer.*

For citation: Novikova G.V., Storchevoy V.F., Prosviryakova M.V., Ershova I.G., Goryacheva N.G. Nauchno-tekhnicheskie osnovy razrabotki ustanovok s SVCH-energopodvodom dlya pererabotki syr'ya agropredpriyatiy [Scientific and technical basis for the development of installations with microwave power supply for processing raw materials at agricultural enterprises]. *Elektrotekhnologii i*

e

l

e

t

r

o

o

b

o

r

u

d

o

v

a

n

i

e

v

A

P

K

2

0

2

3

V

o

УДК 621.385.6:663.423.6 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-28-36

Сравнительная оценка конструкционного исполнения СВЧ-конвективных хмелесушилок

Марьяна Валентиновна Просвирякова[1],
доктор технических наук, доцент, e-mail: prosviryakova.maryana@yandex.ru;
Владимир Федорович Сторчевой[1],
доктор технических наук, профессор;
Наталья Геннадьевна Горячева[2],
кандидат технических наук, доцент;
Ольга Валентиновна Михайлова[3],
доктор технических наук, профессор;
Галина Владимировна Новикова[3],
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник;
Петр Михайлович Уманский[1],
кандидат технических наук;
Сергей Васильевич Сучугов[1],
кандидат технических наук, доцент

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, Российская Федерация;
Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки, Российская Федерация;
Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Российская Федерация

Реферат. *В хмелеводческом производстве основная научная проблема – низкая энергоэффективность хмелесушилок с конвективным подводом тепла и отсутствие малогабаритных передвижных хмелесушилок непрерывно-поточного действия для фермерских хозяйств, обеспечивающих сохранение потребительских*

свойств хмеля при сниженных эксплуатационных затратах. Для снижения эксплуатационных затрат на сушку хмеля ведутся работы, направленные на уточнение режимов сушки, способствующих наилучшей сохранности потребительских характеристик, и совершенствование технологий и технических средств, которые позволили бы снизить эксплуатационные затраты. Заслуживает внимания новый способ сушки хмеля сверхвысокочастотным энергоподводом. (Цель исследования) Выявить эффективность сверхвысокочастотной конвективной хмелесушилки непрерывно-поточного действия путем оценки разработанных конструкционных исполнений хмелесушилок с металлодиэлектрическими резонаторами, обеспечивающими равномерную сушку и обеззараживание свежеубранного хмеля и электромагнитную безопасность без экранирующего корпуса при сниженных эксплуатационных затратах в условиях хмелеводческих хозяйств. (Материалы и методы) Провели трехмерное моделирование конструкционных исполнений хмелесушилок в программе Компас 20, определили электродинамические параметры системы «генератор-резонатор» в CST Microwave Studio. (Результаты и обсуждение) Решили задачу оптимизации конструкционного исполнения и размеров металлодиэлектрических резонаторов. Показали, что основными критериями служат правильно согласованные параметры электродинамической системы «генератор-резонатор»: собственная добротность резонатора, напряженность электрического поля, его равномерность распределения, мощность потока излучений, объем резонатора. Проанализировали электродинамические параметры 11 хмелесушилок с разными конструкционными исполнениями резонаторов: с полусферическим, полуцилиндрическим, цилиндрическим, тороидальным, призматическим, эллипсоидным и другими. (Выводы) Установили, что максимальной собственной добротностью до 8000 обладают тороидальный и полусферический резонаторы. Определили в ходе оценки отклонения от среднего значения интервалов варьирования критериев, что эффективны хмелесушилки с резонаторами в виде параболоида и гиперболоида, и полуцилиндрические.

Ключевые слова: *хмелесушилки, резонаторы разного конструкционного исполнения, электродинамические параметры, сравнительный анализ хмелесушилок, критерии оптимизации.*

Для цитирования: Просвирякова М.В., Сторчевой В.Ф., Горячева Н.Г., Михайлова О.В., Новикова Г.В., Уманский П.М., Сучугов С.В. Сравнительная оценка конструкционного исполнения СВЧ-конвективных хмелесушилок // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 28-36. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-28-36. EDN GTUDIY.

Comparative Evaluation of the Structural Design of Microwave Convective Hop Dryers

Mar'yana V. Prosviryakova[1],
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, e-mail: prosviryakova.maryana@yandex.ru;
Vladimir F. Storchevoy[1],
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Natal'ya G. Goryacheva[2],
Ph.D.(Eng.), associate professor;
Ol'ga V. Mikhailova[3],
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Galina V. Novikova[3],
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Petr M. Umanskiy[1],
Ph.D.(Eng.);
Sergey V. Suchugov[1],
Ph.D.(Eng.), associate professor

[1]Russian State Agrarian University Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation;
[2]Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Khimki, Russian Federation;
[3]Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russian Federation

Abstract. *In hop production, the main scientific problem is the low energy efficiency of hop dryers with convective heat supply and the absence of small–sized mobile continuous-flow hop dryers for farms that ensure the preservation of the consumer properties of hops at reduced operating costs. In order to reduce the operating costs of drying hops, work is being carried out aimed at clarifying the drying modes that contribute to the best preservation of consumer characteristics, and the improvement of technologies and technical means that would reduce operating costs. A new method of drying hops by ultra-high-frequency energy supply deserves attention. (Research purpose) The research purpose is revealing the effectiveness of an ultrahigh-frequency convective hop dryer of continuous-flow action by evaluating the developed structural designs of hop dryers with metal-dielectric resonators that ensure uniform drying*

and disinfection of freshly harvested hops and electromagnetic safety without a shielding housing at reduced operating costs in the conditions of hop farms. (Materials and methods) Carried out three-dimensional modeling of the structural designs of hop dryers in the Compass 20 program, determined the electrodynamic parameters of the "generator-resonator" system in CST Microwave Studio. (Results and discussion) Solved the problem of optimizing the structural design and dimensions of metal-electric resonators. It was shown that the main criteria are the correctly agreed parameters of the electrodynamic system "generator-resonator": the intrinsic Q-factor of the resonator, the voltage of the electric field, its uniformity of distribution, the power of the radiation flux, the volume of the resonator. The electro-dynamic parameters of 11 hop dryers with different designs of resonators were analyzed: hemispherical, semi-cylindrical, cylindrical, toroidal, prismatic, ellipsoid and others. (Conclusions) It was found that toroidal and hemispherical resonators have a maximum intrinsic Q-factor of up to 8000. It was determined during the evaluation of deviations from the average value of the intervals of variation of the criteria that hop dryers with resonators in the form of a paraboloid and hyperboloid, and semi-cylindrical, are effective.
Keywords: *hop dryers, resonators of different design, electrodynamic parameters, comparative analysis of hop dryers, optimization criteria.*

For citation: Prosviryakova M.V., Storchevoy V.F., Goryacheva N.G., Mikhailova O.V., Novikova G.V., Umanskiy P.M., Suchugov S.V. Sravnitel'naya otsenka konstruktsionnogo ispolneniya SVCh-konvektivnykh khmelesushilok [Comparative evaluation of the structural design of microwave convective hop dryers]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2023. Vol. 70. N1(50). 28-36 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-37-44

УДК 535.372:637.073 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-37-44

Люминесцентные свойства молока различной жирности при скисании

Михаил Владимирович Беляков[1],
доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: bmw20100@mail.ru;
Геннадий Николаевич Самарин[1],
доктор технических наук, заведующий лабораторией;
Игорь Юрьевич Ефременков[1,2],
магистр;
Александр Сергеевич Кудрявцев[1],
научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Российская Федерация

Реферат. *Применение оптических спектральных методов может помочь в решении проблем, возникающих при переработке молока и молочных продуктов. Традиционные аналитические методы (например, физико-химические измерения, сенсорный анализ, хроматография) – относительно дорогие, трудоемкие и требуют химических веществ и сложного аналитического оборудования, а также квалифицированного персонала. Существует необходимость в разработке более быстрых и менее затратных способов точного контроля изменений качества молока и других молочных продуктов в процессе переработки и хранения. Многие неразрушающие и неинвазивные инструментальные методы доступны для встроенного и онлайн-мониторинга пищевых изделий. К ним относятся флуоресцентная спектроскопия, отражательная спектроскопия среднего и ближнего инфракрасного диапазона, ядерный магнитный резонанс и так далее. (Цель исследования) Изучить фотолюминесцентные характеристики и параметры молока различной жирности при его скисании. (Материалы и методы) Выполнили измерения спектральных характеристик возбуждения молока в диапазоне 200-500 нанометров на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама». (Результаты и обсуждение) Отметили увеличение интенсивности люминесценции при длине волны возбуждения 442 нанометра и ее уменьшение при 262 нанометров по прохождению заданного отрезка времени для жирности 3,2 процента. Определили, что для жирности 1,5 процента при длине волны возбуждения 262 нанометра тенденция сохраняется, но при длине волны возбуждения 442 нанометра, напротив, происходит уменьшение интенсивности люминесценции, что требует уточняющих экспериментов. (Выводы) Показали, что полученные результаты указывают на зависимость скисания молока и изменения интенсивности люминесценции во времени. Констатировали, что данное наблюдение может быть основой для дальнейших исследований в области контроля качества молочных продуктов неразрушающим контролем, основанным на оптических методах.*
Ключевые слова: *молоко, кислотность, спектр фотолюминесценции, поток фотолюминесценции, жирность молока, статистические параметры.*

Для цитирования: Беляков М.В., Самарин Г.Н., Ефременков И.Ю., Кудрявцев А.С. Люминесцентные свойства молока различной жирности при скисании // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 37-44. DOI

Luminescent Properties of Milk of Different Fat Content During Souring

Mikhail V. Belyakov[1],
Dr.Sc.(Eng.), leading researcher, e-mail: bmw20100@mail.ru;
Gennadiy N. Samarin[1],
Dr.Sc.(Eng.), head of the laboratory;
Igor Yu. Efremenkov[1,2],
master;
Aleksandr S. Kudryavtsev[1],
researcher
[1]Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;
[2]National Research University "Moscow Power Engineering Institute" Moscow, Russian Federation

Abstract. *The use of optical spectral methods can help in solving problems that arise during the processing of milk and dairy products. Traditional analytical methods (for example, physico-chemical measurements, sensory analysis, chromatography) are relatively expensive, time–consuming and require chemicals and sophisticated analytical equipment, as well as qualified personnel. There is a need to develop faster and less costly ways to monitor changes in the quality of milk and other dairy products during processing and storage. Many non-destructive and non-invasive instrumental methods are available for embedded and online monitoring of food products. These include fluorescence spectroscopy, reflective spectroscopy of the middle and near infrared range, nuclear magnetic resonance, and so on. (Research purpose) The research purpose is studying the photoluminescent characteristics and parameters of milk of various fat content during its souring. (Materials and methods) Measurements of the spectral characteristics of milk excitation in the range of 200-500 nanometers were performed on the Fluorat-02-Panorama spectrofluorimeter. (Results and discussion) An increase in luminescence intensity was noted at an excitation wavelength of 442 nanometers and its decrease at 262 nanometers after a given period of time for a fat content of 3.2 percent. It was determined that for a fat content of 1.5 percent at an excitation wavelength of 262 nanometers, the trend persists, but at an excitation wavelength of 442 nanometers, on the contrary, the luminescence intensity decreases, which requires clarifying experiments. (Conclusions) The obtained results indicate the dependence of milk souring and changes in luminescence intensity over time. It was stated that this observation can be the basis for further research in the field of quality control of dairy products by non-destructive testing based on optical methods.*
Keywords: *milk, acidity, photoluminescence spectrum, photoluminescence flux, milk fat content, statistical parameters.*

For citation: Belyakov M.V., Samarin G.N., Efremenkov I.Yu., Kudryavtsev A.S. Lyuminescentnye svoystva moloka razlichnoy zhirnosti pri skisanii [Luminescent properties of milk of different fat content during souring]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v*

A

УДК 621.316.542.9:621 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-45-52

K

.

2

0

2

3

.

V

9

I

7

0

.

N

Перспективы развития систем электроснабжения объектов АПК на базе распределенной энергетики

Егор Сергеевич Подшивалов,
аспирант, e-mail: e.podshivalov-tcn-nn@yandex.ru;
Олег Викторович Крюков,
доктор технических наук, доцент
ТСН-электро, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Реферат. *Рассмотрены современные тенденции развития электрических распределительных сетей для объектов агропромышленного комплекса, связанные с внедрением более сложных технологий производства, увеличением нагрузок потребителя и ужесточением требований по надежности и энергоэффективности*

сетей. В условиях секторальных ограничений поставок и необходимости замещения импортных комплектующих представлены возможности реализации на базе отечественной техники и инновационных методов преимущества распределенной электроэнергетики в гибком энергообеспечении агропромышленных и социальных объектов. (Цель исследования) Технически поддержать применение систем распределенной генерации и проанализировать возможные проблемы, которые могут возникнуть в процессе интеграции в электрическую систему агропромышленного комплекса источников распределенной генерации. (Материалы и методы) Использовали статистические сведения анализа обеспеченности объектов агропромышленного комплекса средствами распределенной электроэнергетики. (Результаты и обсуждение) Показали, что в агропромышленном комплексе преобладают объекты, удаленные на большие расстояния от центра энергетической системы, с электрооборудованием, морально и технически устаревшим, что сказывается на надежности электроснабжения и качестве электроэнергии. Определили, что для внедрения источников распределенной генерации требуется модернизация или обновление основного электрооборудования распределительных пунктов или подстанций. Предложили альтернативные технические решения по повышению качества поставляемой потребителям электроэнергии и надежности систем электроснабжения, ориентированные на максимальное приближение источника питания к потребителю посредством размещения источников распределенной генерации вблизи объектов агропромышленного комплекса. Привели конкретные схемы систем электроснабжения, результаты технико-экономического анализа и варианты используемых традиционных и возобновляемых источников электроэнергии. (Выводы) Констатировали, что дальнейшее развитие объектов агропромышленного комплекса связано с повышением уровня энергетического обеспечения, надежности, энергоэффективности и экологичности систем электроснабжения путем внедрения современных систем распределенной генерации на базе традиционных, возобновляемых и комбинированных источников электроэнергии.

Ключевые слова: *агропромышленный комплекс, системы электроснабжения, надежность, качество электроэнергии, распределенная энергетика, генерирующие мощности, возобновляемые источники электроэнергии.*

Для цитирования: Подшивалов Е.С., Крюков О.В. Перспективы развития систем электроснабжения объектов АПК на базе распределенной энергетики // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 45-52. DOI

Prospects for the Development of Power Supply Systems for Agricultural Facilities Based on Distributed Energy Supply

Egor S. Podshivalov,
postgraduate, e-mail: e.podshivalov-tcn-nn@yandex.ru;

Dr.Sc(Eng.), associate professor

TSN-electro LLC, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Abstract. *Modern trends in the development of electric distribution networks for agro-industrial facilities related to the introduction of more complex production technologies, increased consumer loads and stricter requirements for reliability and energy efficiency of networks are considered. In the conditions of sectoral supply restrictions and the need to replace imported components, the possibilities of implementing the advantages of distributed electric power in flexible energy supply of agro-industrial and social facilities on the basis of domestic technology and innovative methods are presented. (Research purpose) The research purpose is considering the technical support of distributed generation systems and analyzing possible problems that may arise during the integration of distributed generation sources into the electrical system of the agro-industrial complex. (Materials and methods) Used statistical data to analyze the availability of agro-industrial facilities with distributed electric power. (Results and discussion) It has been shown that the agro-industrial complex is dominated by objects that are far removed from the center of the energy system, with electrical equipment that is morally and technically outdated, which affects the reliability of power supply and the quality of electricity. It was determined that the introduction of distributed generation sources requires modernization or updating of the main electrical equipment of distribution points or substations. Alternative technical solutions have been proposed to improve the quality of electricity supplied to consumers and the reliability of power supply systems, focused on the maximum approximation of the power source to the consumer by placing distributed generation sources near the objects of the agro-industrial complex. They gave specific schemes of power supply systems, the results of technical and economic analysis and options for using traditional and renewable sources of electricity. (Conclusions) It was stated that the further development of the agro-industrial complex facilities is associated with an increase in the level of energy supply, reliability, energy efficiency and environmental friendliness of power supply systems through the introduction of modern distributed generation systems based on traditional, renewable and combined sources of electricity.*

Keywords: *agro-industrial complex, power supply systems, reliability, quality of electricity, distributed energy, generating capacities, renewable sources of electricity.*

For citation: Podshivalov E.S., Kryukov O.V. Perspektivy razvitiya sistem elektrosnabzheniya obektov APK na baze raspredelennoy energetiki [Prospects for the development of power supply systems for agricultural facilities based on distributed energy supply].

УДК 62-83:621.311:621.316 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-53-59

Адаптивное автоматическое регулирование напряжения в электрической сети с применением однофазных линейных регуляторов напряжения

Игорь Олегович Голиков[1],
кандидат технических наук, доцент;
Александр Владимирович Виноградов[2],
доктор технических наук, доцент, e-mail: winaleksandr@gmail.com;
Алина Васильевна Виноградова[2],
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, г. Орел, Российская Федерация;
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Обеспечение требуемого уровня напряжения в сельских электрических сетях – необходимое условие эффективной работы сельскохозяйственных предприятий и комфорта сельского быта. Завышенная протяженность сельских линий электропередачи приводит к сверхнормативным отклонениям напряжения на вводах потребителей. Существующие способы и технические средства регулирования напряжения не во всех случаях позволяют обеспечить необходимый уровень напряжения в сети. (Цель исследования) Разработать способ и устройство пофазного автоматического регулирования напряжения в электрической сети с использованием линейных регуляторов напряжения, проиллюстрировать возможности его применения. (Материалы и методы) Использовали общенаучные методы исследования, методы: литературного обзора, теории автоматического управления, электротехники. Проанализировали литературные источники. Изучили способы и технические средства регулирования напряжения в электрических сетях. (Результаты и обсуждение) Предложили новый способ и устройство адаптивного автоматического регулирования напряжения в сельской электрической сети с применением раздельной пофазной установки линейных регуляторов напряжения. Рассмотрели пример реализации способа в сельской электрической сети с неравномерной нагрузкой по фазам. (Выводы) Выявили в процессе обзора способов регулирования напряжения, что перспективны способы адаптивного автоматического регулирования, предполагающие контроль отклонения напряжения на вводах потребителей и определение на основе этого коэффициента регулирования. Определили, что использование предлагаемого способа и устройства обеспечивает нормированное значение напряжения на вводах потребителей посредством адаптивного автоматического пофазного регулирования напряжения в электрической сети раздельно пофазно установленными линейными регуляторами, управляемыми системой адаптивного автоматического регулирования напряжения, формирующей команды управления на основе обработки данных с датчиков напряжения, установленных в контрольных точках сети, в том числе на вводах потребителей.*

Ключевые слова: *линейный регулятор напряжения, система адаптивного автоматического регулирования напряжения, качество электроэнергии, сельские электрические сети, регулирование напряжения.*

Для цитирования: Голиков И.О., Виноградов А.В., Виноградова А.В. Адаптивное автоматическое регулирование напряжения в электрической сети с применением однофазных линейных регуляторов напряжения // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 53-59. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-53-59. EDN HYSLHN.

Adaptive Automatic Voltage Regulation in the Electrical Grid Using Single-phase Linear Voltage Regulators

Igor' O. Golikov[1],
Ph.D.(Eng.), associate professor;
Aleksandr V. Vinogradov[2],
Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: winaleksandr@gmail.com;

Alina V. Vinogradova[2],
Ph.D.(Eng.), leading researcher
[1]Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russian Federation;
[2]Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Ensuring the required voltage level in rural electric grids is a necessary condition for the efficient operation of agricultural enterprises and comfort in rural life. The overstated length of rural power transmission lines leads to excessive voltage deviations at consumer inputs. The existing methods and technical means of voltage regulation do not in all cases allow to provide the necessary level of voltage in the grid. (Research purpose) The research purpose is developing a method and device for phase-by-phase automatic voltage regulation in the electrical grid using linear voltage regulators, to illustrate the possibilities of its application. (Materials and methods) Used general scientific research methods, methods: literary review, theory of automatic control, electrical engineering. We analyzed the literary sources. We have studied the methods and technical means of voltage regulation in electrical grid. (Results and discussion) A new method and device for adaptive automatic voltage regulation in the rural electrical grid with the use of a separate phase-by-phase installation of linear voltage regulators have been proposed. We considered an example of the implementation of the method in a rural electrical grid with an uneven load in phases. (Conclusions) It was revealed during the review of voltage regulation methods that adaptive automatic control methods are promising, involving control of voltage deviation at consumer inputs and determination of the regulation coefficient based on this. It was determined that the use of the proposed method and device provides a normalized voltage value at consumer inputs by means of adaptive automatic phase-by-phase voltage regulation in the electrical grid with separately phase-by-phase linear regulators controlled by an adaptive automatic voltage regulation system that generates control commands based on data processing from voltage sensors installed at control points of the grid, including at consumer inputs.*

Keywords: *linear voltage regulator, adaptive automatic voltage regulation system, quality of electricity, rural electric grid, voltage regulation.*

For citation: Golikov I.O., Vinogradov A.V., Vinogradova A.V. Adaptivnoe avtomaticheskoe regulirovanie napryazheniya v elektricheskoy seti s primeneniem odnofaznykh lineynykh regulyatorov napryazheniya [Adaptive automatic voltage regulation in the electrical grid using single-phase linear voltage regulators]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2023. Vol. 70. N1(50). 53-59 (In Russ.). DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-60-65

УДК 621.3 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-60-65

Экспериментальное исследование датчиков тока класса напряжения 0,38 кВ в трех режимах работы электрической сети

Дмитрий Сергеевич Попов,
аспирант, e-mail: popovvds@yandex.ru;
Дмитрий Михайлович Олин,
кандидат технических наук

Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Костромская обл., Костромской р-н, пос. Караваево, Российская Федерация

Реферат. *Работа существующих устройств релейной защиты основана на измерениях показателей электрической сети (напряжения, частоты, тока), выполняемых с помощью датчиков, установленных в электрической сети. К датчикам тока предъявляют высокие требования по выходным данным в различных режимах работы электрической сети. В качестве датчиков тока в электрической сети 0,38 киловольт широкое распространение получили: трансформаторы тока, трансреакторные датчики, резистивные датчики, датчики тока на эффекте Холла. (Цель исследования) Экспериментально изучить датчики тока различных типов, применяемых в электрических сетях 0,38 киловольт. (Материалы и методы) Провели лабораторные исследования на подготовленном лабораторном стенде различных датчиков тока в трех режимах работы: установившийся режим, коммутационный режим с начальным магнитным потоком, коммутационный режим без начального магнитного потока. (Результаты и обсуждение) Показали, что не все виды датчиков тока возможно применять в качестве источника опорных данных при построении быстродействующих защит по току. Определили, что датчики трансформаторного типа могут вносить существенную погрешность в работу релейной защиты по причинам значительной угловой погрешности, явно выраженным процессам намагничивания и переманивания в коммутационных режимах. Установили, что датчики, основанные на типах трансреакторного и на эффекте Холла, имеют наименьшую угловую*

погрешность и устойчивость к коммутационным режимам. (Выводы) Выявили, что при выборе датчиков тока в качестве источника опорных данных следует учитывать не только паспортные характеристики, но и лабораторные исследования. Констатировали необходимость учета эксплуатационной наработки и индуктивности датчика тока, угловой погрешности и формы кривой тока вторичной цепи.
Ключевые слова: *датчик тока, трансформатор тока, резистивный датчик тока, эффект Холла, переходный процесс.*

Для цитирования: Попов Д.С., Олин Д.М. Экспериментальное исследование датчиков тока класса напряжения 0,38 кВ в трех режимах работы электрической сети // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 60-65. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-60-65. EDN BQRSSR.

Experimental Study of Current Sensors of 0.38 kV Voltage Class in Three Modes of Operation of the Electrical Grid

Dmitriy S. Popov,
postgraduate, e-mail: popovvds@yandex.ru;
Dmitriy M. Olin,
Ph.D.(Eng.)

Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma region, Kostroma district, Karavaevo, Russian Federation

Abstract. *The operation of existing relay protection devices is based on the measurement of electrical network parameters (voltage, frequency, current) performed using sensors installed in the electrical network. Current sensors are subject to high requirements for output data in various modes of operation of the electrical network. As current sensors in the 0.38 kV electrical grid, the following are widely used: current transformers, transreactor sensors, resistive sensors, Hall effect current sensors. (Research purpose) The research purpose is experimentally studying current sensors of various types used in electrical networks of 0.38 kilovolts. (Materials and methods) Conducted laboratory studies on a prepared laboratory stand of various current sensors in three operating modes: steady-state mode, switching mode with initial magnetic flux, switching mode without initial magnetic flux. (Results and discussion) It has been shown that not all types of current sensors can be used as a source of reference data in the construction of high-speed current protection. It was determined that transformer-type sensors can introduce a significant error in the operation of relay protection for reasons of significant angular error, pronounced processes of magnetization and enticement in switching modes. It was found that sensors based on the types of transreactor and Hall effect have the lowest angular error and resistance to switching modes. (Conclusions) It was revealed that when choosing current sensors as a source of reference data, not only passport characteristics, but also laboratory studies should be taken into account. The necessity of taking into account the operational operating time and inductance of the current sensor, the angular error and the shape of the current curve of the secondary circuit was stated.*
Keywords: *current sensor, current transformer, resistive current sensor, hall effect, transient.*

For citation: Popov D.S., Olin D.M. Eksperimental'noe issledovanie datchikov toka klassa napryazheniya 0,38 kV v trekh rezhimakh raboty elektricheskoy seti [Experimental study of current sensors of 0.38 kV voltage class in three modes of operation of the electrical grid]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2023. T. 70. N1(50). C. 60-65. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-60-65. EDN BQRSSR.

Моделирование теплового режима в зоне нахождения поросят при использовании ИК облучательной панели

Алексей Васильевич Кузьмичев,
научный сотрудник, e-mail: alkumkuzm@mail.ru;
Дмитрий Анатольевич Тихомиров,
доктор технических наук, главный научный сотрудник;
Алексей Викторович Химeнко,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Показали, что эффективность инженерных систем создания микроклимата на животноводческих объектах определяется возможностью организации требуемых тепловых условий во взаимодействии с внешними температурными параметрами ограждающих конструкций. (Цель исследования) Разработать метод расчета и выполнить моделирование теплового режима в зоне нахождения поросят при использовании инфракрасной облучательной панели в системе диффузно поглощающих и излучающих поверхностей. (Материалы и методы) Рассмотрели условия комфортного теплового режима для молодняка, физическую модель поросенка, условия теплообмена. Представили области изменения температуры облучающей панели и влияние конфигурации оптических характеристик оболочки системы при создании комфортных условий содержания поросят в зависимости от возраста и температурных параметров ограждающих конструкций. (Результаты и обсуждение) Установили, что расчетная модель теплообмена животного на примере поросенка в системе изотермических диффузно поглощающих и излучающих поверхностей служит расширением существующих расчетных методов. (Выводы) Показали, что математическая модель теплообмена животного в системе диффузно поглощающих и излучающих поверхностей более полно отображает взаимосвязи в элементах биотехнической системы, это позволяет более точно формировать и поддерживать заданные температурные условия для комфортного содержания молодняка животных. Получили функциональную модель, отражающую зависимости теплового состояния поросят с учетом их возраста от температуры окружающей среды, конструктивных параметров излучающей панели и ее температуры на поверхности. Выявили основные соотношения, связывающие условия теплового комфорта поросят с температурой излучающей поверхности панели, с температурой и оптическими свойствами ограждающих конструкций помещения. Привели схему алгоритма для расчета температуры поверхности лучистой панели. Определили область значений температуры поверхности панели в зависимости от температуры ограждающих конструкций для условия комфортного теплового состояния животных в зоне обогрева с учетом их возраста.*

Ключевые слова: *модель, обогрев, содержание поросят, облучающая панель, температура, тепловой баланс, лучистый теплообмен.*

Для цитирования: Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Хименко А.В. Моделирование теплового режима в зоне нахождения поросят при использовании ИК облучательной панели // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 66-74. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-66-74. EDN GVDVBS.

Simulation of the Thermal Mode in the Piglets' Location Area when Using an IR Irradiation Panel

Aleksey V. Kuzmichev,
researcher, e-mail: alkumkuzm@mail.ru;
Dmitriy A. Tikhomirov,
Dr. Sc.(Eng.), leading scientist;
Aleksey V. Khimenko,
Ph.D.(Eng.), senior researcher
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *It has been shown that the efficiency of engineering systems for creating a microclimate at livestock facilities is determined by the possibility of organizing the required thermal conditions in interaction with external temperature parameters of enclosing structures. (Research purpose) The research purpose is developing a method for calculating and modeling the thermal mode in the piglets' location zone using an infrared irradiation panel in a system of diffusely absorbing and radiating surfaces. (Materials and methods) Considered the conditions of a comfortable thermal regime for young animals, the physical model of a piglet, the conditions of heat exchange. The areas of temperature change of the irradiating panel and the influence of the configuration of the optical characteristics of the system shell when creating comfortable conditions for keeping piglets, depending on the age and temperature parameters of the enclosing structures, were presented. (Results and discussion) It was found that the computational model of heat transfer of an animal on the example of a piglet in a system of isothermal diffusely absorbing and radiating surfaces serves as an extension of existing computational methods. (Conclusions) It has been shown that the mathematical model of heat exchange of an animal in a system of diffusely absorbing and radiating surfaces more fully reflects the interrelationships in the elements of the biotechnical system, this allows more accurately forming and maintaining the specified temperature conditions for the comfortable maintenance of young animals. We have obtained a functional model reflecting the dependences of the thermal state of piglets, taking into account their age, on the ambient temperature, the design parameters of the radiating panel and its temperature on the surface. The main correlations linking the conditions of thermal comfort of piglets with the temperature of the radiating surface of the*

panel, with the temperature and optical properties of the enclosing structures of the room were revealed. The scheme of the algorithm for calculating the surface temperature of the radiant panel was given. The range of panel surface temperature values was determined depending on the temperature of the enclosing structures for the conditions of a comfortable thermal condition of animals in the heating zone, taking into account their age.
Keywords: *model, heating, piglet keeping, irradiating panel, temperature, thermal balance, radiant heat exchange.*

For citation: Kuzmichev A.V., Tikhomirov D.A., Khimenko A.V. Modelirovanie teplovogo rezhima v zone nakhozhdeniya porosyat pri ispol'zovanii IK obluchatel'noy paneli [Simulation of the thermal mode in the piglets' location area when using an IR irradiation panel].

УДК 631.234:628.8:631.829 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-75-80

Исследование режимов работы электрооборудования подкормки растений углекислым газом в защищенном грунте

Иван Ревович Владыкин,
доктор технических наук, профессор;
Максим Александрович Иванов,
аспирант, e-mail: mitim1995@mail.ru

Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Российская Федерация

Реферат. *Углекислота, наряду с питательными веществами, светом и водой, служит одним из важнейших факторов для выращивания растений. Но углекислого газа, содержащегося в атмосфере, может не хватать. В современном растениеводстве все больше склоняются к использованию дополнительного оборудования, с помощью которого осуществляется подкормка растений CO_2. При этом улучшается контроль над процессами вегетации и цветения (плодоношения). (Цель исследования) Создать экспериментальную установку и провести эксперименты. Определить внешние параметры, влияющие на поддержание необходимого уровня CO_2. Найти способы контроля концентрации углекислого газа, независящие от внешних условий. (Материалы и методы) Проанализировали отечественную и зарубежную литературу, основываясь на собственных работах по данной теме, провели эксперименты. Смонтировали экспериментальную установку распыления углекислого газа в объеме, имитирующем сооружение защищенного грунта. (Результаты и обсуждение) Выполнили 4 замера с разницей по времени 2 часа. Показали, что экспериментальная установка на основе составленного алгоритма нивелирует влияние внешних факторов и удерживает заданное значение CO_2 (600 ppm). Сняли показания с датчиков, расположенных в зоне распыления облака углекислого газа, корректировки осуществили путем воздействия на работу электрофорсунок. (Выводы) Установили, что решить проблему нехватки углекислоты при выращивании растений в сооружении защищенного грунта возможно. Предложили для этого использовать установки подачи углекислого газа непосредственно к растениям, способные учитывать и корректировать движение газа в сооружении защищенного грунта. Представили результаты проведенных экспериментов работы электрооборудования подкормки растений защищенного грунта CO_2.*
Ключевые слова: *система управления, углекислый газ, сооружения защищенного грунта, автоматизация, экспериментальная установка.*

Для цитирования: Владыкин И.Р., Иванов М.А. Исследование режимов работы электрооборудования подкормки растений углекислым газом в защищенном грунте // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 75-80. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-75-80. EDN DDFKNS.

Investigation of the Operation of Electrical Equipment for Feeding Plants with Carbon Dioxide in Protected Soil

Ivan R. Vladykin,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Maksim A. Ivanov,
postgraduate, e-mail: mitim1995@mail.ru

Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russian Federation

Abstract. *Carbon dioxide, along with nutrients, light and water, serves as one of the most important factors for growing plants. But the carbon dioxide contained in the atmosphere may not be enough. In modern crop production, they are increasingly inclined to use additional equipment, with the help of which the CO_2 fertilization of plants is carried out. At the same time, control over the processes of vegetation and flowering (fruiting) improves. (Research purpose) The research purpose is creating an experimental setup and conduct experiments. Determine the external parameters that affect the maintenance of the required CO_2 level. Find ways to control the concentration of carbon dioxide, independent of external conditions. (Materials and methods) Analyzed domestic and foreign literature, based on their own works on this topic, conducted experiments. An experimental installation for spraying carbon dioxide in a volume simulating the construction of protected soil was installed. (Results and discussion) We performed 4 measurements with a time difference of 2 hours. It was shown that the experimental setup based on the compiled algorithm levels the influence of external factors and keeps the set value of CO_2 (600 ppm). Readings were taken from sensors located in the area of carbon dioxide cloud spraying, adjustments were made by affecting the operation of electric nozzles. (Conclusions) It was found that it is possible to solve the problem of lack of carbon dioxide when growing plants in the construction of protected soil. For this purpose, it was proposed to use carbon dioxide supply units directly to plants, capable of taking into account and correcting the movement of gas in the construction of protected soil. The results of the experiments carried out on the operation of electrical equipment for feeding plants of protected soil with CO_2 were presented.*
Keywords: *control system, carbon dioxide, protected ground structures, automation, experimental installation.*

For citation: Vladykin I.R., Ivanov M.A. Issledovanie rezhimov raboty elektrooborudovaniya podkormki rasteniy uglekislym gazom v zashchishchennom grunte [Investigation of the operation of electrical equipment for feeding plants with carbon dioxide in protected soil]

УДК 628.931 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-81-86

Генетический алгоритм конструкции светодиодных осветительных установок для предприятий АПК

Сергей Мударисович Бакиров[1],
доктор технических наук, доцент, e-mail: s.m.bakirov@mail.ru;
Татьяна Александровна Широбокова[2],
кандидат технических наук, доцент

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация;
Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Российская Федерация

Реферат. *Поиск путей энергосбережения на животноводческих предприятиях – одна из актуальных проблем. Разработка качественного энергосберегающего освещения помещений при выращивании сельскохозяйственных животных – основа успешного развития агропромышленного комплекса. Определено, что предпосылкой для разработки нового алгоритма и методики служит ежегодный рост стоимости ресурсов электроэнергии, что приводит к повышению себестоимости продукции животноводства. Параметры осветительных приборов, применяемых для освещения животноводческих помещений, не всегда обоснованы, вследствие чего повышается стоимость системы освещения, снижается ее эффективность. (Цель исследования) Разработать методику и алгоритм работы программы расчета эффективной системы освещения. (Материалы и методы) Выбрали параметры осветительного прибора, обеспечивающие наименьшее отклонение максимальной освещенности и неравномерности освещения от их заданных значений в животноводческом помещении. Показали один из вариантов прогрессивных научно-технических разработок методики и алгоритма работы программы с целью реализации энергосберегающего режима питания. Установили, что разработка программы позволит рассчитать конструктивные параметры осветительных установок на основе светодиодов, обеспечить качество освещения на рабочей горизонтальной поверхности в животноводческом помещении. Провели теоретические исследования на одном из животноводческих предприятий. (Результаты и обсуждение) Определили основные конструктивные параметры осветительного прибора для конкретного животноводческого помещения, при которых обеспечивается норма освещенности и исключается неравномерность освещения. (Выводы) Констатировали, что предложенная конструкция светодиодного осветительного устройства светильника приведет к снижению энергопотребления, повышению эффективности использования электрической*

Electrotechnologies and electrical equipment of agricultural production

энергии и соответственно повышению продуктивности животноводства. Показали, что применение разработанного программного обеспечения даст возможность повысить эффективность расчетов.
Ключевые слова: *конструкция осветительного прибора, освещение, светодиод, система освещения.*

Для цитирования: Бакиров С.М., Широбокова Т.А. Генетический алгоритм конструкции светодиодных осветительных установок для предприятий АПК // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 81-86. DOI

The Genetic Algorithm of LED Lighting Systems for the Agro-Industrial Complex Enterprise

Sergey M. Bakirov[1],
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, e-mail: s.m.bakirov@mail.ru;
Tat'yana A. Shirobokova[2],
Ph.D.(Eng.), associate professor

[1]Vavilov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Saratov, Russian Federation;
[2]Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russian Federation

Abstract. *The search for ways to save energy at livestock enterprises is one of the actual problems. The development of high-quality energy–saving lighting for the cultivation of farm animals is the basis for the successful development of the agro-industrial complex. It is determined that the prerequisite for the development of a new algorithm and methodology is the annual increase in the cost of electricity resources, which leads to an increase in the cost of livestock products. The parameters of lighting devices used for lighting livestock premises are not always justified, as a result of which the cost of the lighting system increases, its efficiency decreases. (Research purpose) The research purpose is developing a methodology and algorithm for the calculation of an effective lighting system. (Materials and methods) We selected the parameters of the lighting device that provide the smallest deviation of the maximum illumination and the unevenness of illumination from their set values in the livestock room. They showed one of the variants of progressive scientific and technical developments of the methodology and algorithm of the program in order to implement an energy-saving power supply mode. It was established that the development of the program will allow to calculate the design parameters of LED-based lighting installations, to ensure the quality of illumination on the working horizontal surface in the livestock room. We conducted theoretical studies at one of the livestock enterprises. (Results and discussion) We determined the main design parameters of the lighting device for a specific livestock room, in which the illumination norm is ensured and uneven lighting is excluded. (Conclusions) It was stated that the proposed design of the LED lighting device of the lamp will lead to a reduction in energy consumption, an increase in the efficiency of using electric energy and, accordingly, an increase in the productivity of livestock. They have shown that the use of the developed software will make it possible to increase the efficiency of calculations.*
Keywords: *lighting device design, lighting, LED, lighting system.*

For citation: Bakirov S.M., Shirobokova T.A. Geneticheskiy algoritm konstruktsii svetodiodnykh osvetitel'nykh ustanovok dlya predpriyatiy APK [The genetic algorithm of LED lighting systems for the agro-industrial complex enterprise]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2023. Vol. 70. N1(50). P. 81-86. DOI

УДК 635-135 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-87-93

Роторационная косилка для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасах

Аслан Каральбиевич Апажев,
доктор технических наук, профессор;
Юрий Ахметханович Шекихачев,
доктор технических наук, профессор, e-mail: shek-fmep@mail.ru;
Луан Мухажевич Хажметов,
доктор технических наук, профессор;
Артур Мухамедович Егожев,
доктор технических наук, профессор;
Руслан Асланбиевич Балкаров,

доктор технических наук, профессор;
Амур Григорьевич Фиапшев,
кандидат технических наук, доцент

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, г. Нальчик, Российская Федерация

Реферат. *Одна из проблем, с которой сталкиваются производители в условиях склонового садоводства, – отсутствие специализированной техники, пригодной для осуществления необходимых работ, связанных с уходом за приствольными полосами плодовых деревьев. Конструктивные особенности террас накладывают ограничения на условия функционирования сельскохозяйственных агрегатов, среди них следует выделить возможность подхода к линии ряда для обработки растений только с одной стороны. Большинство садоводческих хозяйств располагает в основном техникой, предназначенной для работы в условиях равнинного садоводства, которая зачастую непригодна для ухода за плодовыми насаждениями, расположенными на террасах. Актуальны исследования, направленные на разработку сельскохозяйственной техники для обработки междурядий и приствольных кругов плодовых деревьев за один проход. (Цель исследования) Обосновать основные конструктивные параметры и режим работы косилки для скашивания растительности с пространства вокруг штамба плодового дерева без повреждения последнего за один проход. (Материалы и методы) Использовали результаты функционирования технических средств в условиях горного садоводства посредством логического анализа. Провели теоретические исследования с помощью известных законов математического анализа и теоретической механики. (Результаты и обсуждение) Рассмотрели работу режущего аппарата косилки в процессе скашивания растительности в зоне приствольного круга. (Выводы) Изготовили опытный образец косилки, производственные испытания которой (при скорости передвижения 1,89 километров в час, количестве роторов с режущими сегментами 2 штуки, длине режущего сегмента 42 миллиметра, частоте вращения роторов 2000 минут в минус первой степени) подтвердили, что она с производительностью 0,36 гектаров в час обеспечивает скашивание растительности с пространства вокруг штамба плодового дерева без повреждения последнего за один проход. Определили, что за счет создания мульчирующего слоя происходит улучшение состояния почвы, защита террас от эрозионных процессов и снижение затрат на единицу продукции.*
Ключевые слова: *садоводство, терраса, растительность, скашивание, почва, плодородие, косилка, режим работы.*

Для цитирования: Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М., Егожев А.М., Балкаров Р.А., Фиапшев А.Г. Ротационная косилка для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасах // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 87-93. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-87-93 EDN FRWYFN.

Rotary Mower for Treating Near-Stem Strips of Fruit Plantations on Terraces

Aslan K. Apazhev,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Yuriy A. Shekikhachev,
Dr.Sc.(Eng.), professor; e-mail: shek-fmep@mail.ru;
Luan M. Khazhmetov,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Artur M. Egozhev,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Ruslan A. Balkarov,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Amur G. Fiapshev,
Ph.D.(Eng.), associate professor

Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, Nalchik, Russian Federation

Abstract. *One of the problems faced by producers in the conditions of slope gardening is the lack of specialized equipment suitable for carrying out the necessary work related to the care of the trunk strips of fruit trees. The design features of the terraces impose restrictions on the operating conditions of agricultural aggregates, among them it is*

necessary to highlight the possibility of approaching the row line for processing plants from only one side. Most horticultural farms have mainly equipment designed to work in conditions of plain gardening, which is often unsuitable for the care of fruit plantations located on terraces. Research aimed at developing agricultural machinery for processing row spacing and trunk circles of fruit trees in one pass is relevant. (Research purpose) The research purpose is substantiating the main design parameters and operating mode of the mower for mowing vegetation from the space around the stem of the fruit tree without damaging the latter in one pass. (Materials and methods) Used the results of the functioning of technical means in the conditions of mountain gardening through logical analysis. We conducted theoretical studies using the well-known laws of mathematical analysis and theoretical mechanics. (Results and discussion) We examined the operation of the cutting machine of the mower in the process of mowing vegetation in the area of the trunk circle. (Conclusions) A prototype mower was manufactured, production tests of which (at a movement speed of 1.89 kilometers per hour, the number of rotors with cutting segments of 2 pieces, the length of the cutting segment of 42 millimeters, the rotation speed of the rotors of 2000 minutes minus the first degree) confirmed that it with a capacity of 0.36 hectares per hour provides mowing vegetation from the space around the stem of the fruit tree without damaging the latter in one pass. It was determined that due to the creation of a mulching layer, the soil condition is improved, terraces are protected from erosion processes and unit costs are reduced.
Keywords: *gardening, terrace, vegetation, mowing, soil, fertility, mower, mode of operation.*

For citation: Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Egozhev A.M., Balkarov R.A., Fiapshev A.G. Rotatsionnaya kosilka dlya obrabotki pristvol'nykh polos plodovykh nasazhdeniy na terrasakh [Rotary mower for processing near-stem strips of fruit plantations on terraces]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2023. Vol. 70. N1(50). 87-93 (In Russian). DOI

УДК 631.363:636 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-94-104

Анализ роботизированных кормораздатчиков для животноводческих комплексов по содержанию крупного рогатого скота

Алексей Семенович Дорохов,
доктор технических наук, профессор, академик РАН;
Владимир Вячеславович Кирсанов,
Дмитрий Юрьевич Павкин,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
Евгений Александрович Никитин,
младший научный сотрудник;
Станислав Михайлович Михайличенко,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
Дмитрий Андреевич Благов,
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Производственный опыт показывает, что развитие сельского хозяйства идет по пути автоматизации и роботизации технологических процессов. (Цель исследования) Провести технологический анализ роботизированных устройств для приготовления и/или раздачи кормосмесей на животноводческих комплексах по содержанию крупного рогатого скота. (Материалы и методы) Использовали инструменты математической статистики и программное обеспечение для визуализации результатов исследования. Проанализировали сайты производителей автоматических систем кормления, российские и зарубежные электронные библиотеки научной литературы eLibrary, Scopus, MDPI и другие. (Результаты и обсуждение) Привели классификацию результатов технологического анализа. Представили для репрезентативности выборки перечень машин, ссылки на источники и анализируемые параметры в виде таблицы. Исследовали и статистически обработали полученную информацию. Определили за основу анализа следующие параметры: тип движителя; тип энергетической установки или источника питания; наличие/отсутствие функции смешивания; конструкция узла смешивания; наличие/отсутствие функции самозагрузки. (Выводы) Выявили, что в линейке выпускаемых роботизированных кормораздатчиков 86 процентов моделей – мобильные, из которых 50 процентов – колесные, а 36 процентов перемещаются по подвесным рельсовым путям. Установили, что 9 процентов мобильных роботов работают от двигателей внутреннего сгорания, 44 процента – от электросети, 47 процентов – от аккумуляторной батареи. Показали, что 59 процентов*

мобильных роботов выполняют функцию смешивания, 41 процент – только раздачу готовых кормосмесей; наиболее распространены конструкции роботов объемом 2-4 кубических метра. Отметили, что одним из ключевых факторов, определяющих конструкцию роботизированного кормораздатчика, служит тип автоматической системы кормления, в состав которой он входит. Констатировали, что дальнейшим направлением исследования станет разработка концептуальной модели автоматической системы кормления для отечественных ферм и комплексов.
Ключевые слова: *кормление КРС, роботизированный кормораздатчик, автоматическая система кормления.*

Для цитирования: Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Михайличенко С.М., Благов Д.А. Анализ роботизированных кормораздатчиков для животноводческих комплексов по содержанию крупного рогатого скота // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 94-104. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-94-104. EDN FCJSIK.

Analysis of Robotic Feeders for Livestock Complexes for the Cattle Breeding

Aleksey S. Dorokhov,
Dr.Sc.(Eng.), professor, member of Russian academy of sciences;
Vladimir V. Kirsanov,
Dr.Sc.(Eng.), e-mail: kirvv2014@mail.ru;
Dmitriy Yu. Pavkin,
Ph.D.(Eng.), senior researcher;
Evgeniy A. Nikitin,
junior researcher;
Stanislav M. Mikhailichenko,
Ph.D.(Eng.), senior researcher;
Dmitriy A. Blagov,
Ph.D.(Bio.), senior researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Production experience shows that the development of agriculture follows the path of automation and robotization of production processes. (Research purpose) The research purpose is conducting a technological analysis of robotic devices for the preparation and/or distribution of feed mixtures at livestock complexes for the cattle breeding. (Materials and methods) Used mathematical statistics tools and software to visualize the results of the study. We analyzed the websites of manufacturers of automatic feeding systems, Russian and foreign electronic libraries of scientific literature eLibrary, Scopus, MDPI and others. (Results and discussion) The classification of the results of technological analysis was given. For the representativeness of the sample, we presented a list of machines, links to sources and analyzed parameters in the form of a table. The obtained information was investigated and statistically processed. The following parameters were determined as the basis of the analysis: type of propulsion; type of power plant or power source; presence/absence of mixing function; the design of the mixing unit; the presence/absence of a self-loading function. (Conclusions) It was revealed that 86 percent of the models in the line of manufactured robotic feeders are mobile, of which 50 percent are wheeled, and 36 percent move along suspended rail tracks. It was found that 9 percent of mobile robots operate from internal combustion engines, 44 percent – from the power grid, 47 percent – from the battery. It was shown that 59 percent of mobile robots perform the function of mixing, 41 percent – only the distribution of ready-made feed mixtures; the most common robot designs with a volume of 2-4 cubic meters. It was noted that one of the key factors determining the design of a robotic feed dispenser is the type of automatic feeding system that it is part of. It was stated that the further direction of the study will be the development of a conceptual model of an automatic feeding system for domestic farms and complexes.*
Keywords: *feeding cattle, robotic feeders, automatic feeding system.*

For citation: Dorokhov A.S., Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Mikhailichenko S.M., Blagov D.A. Analiz robotizirovannykh kormorazdatchikov dlya zhivotnovodcheskikh kompleksov po soderzhaniyu krupnogo rogatogo skota [Analysis of robotic feeders for livestock complexes for the cattle breeding]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2023. Vol. 70. N1(50). 94-104 (In Russian).

IIoT аппаратная архитектура распределенных систем управления непрерывными промышленными производствами и агрокомплексами

Сергей Андреевич Рылов[1,2],
кандидат технических наук, e-mail: sergrlager@mail.ru

Российский биотехнологический университет, Москва, Российская Федерация;
МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация

Реферат. *В настоящее время в распределенных системах управления непрерывными технологическими процессами и производствами в различных агрокомплексах и отраслях промышленности устоялась классическая аппаратная архитектура их построения. Подобная архитектура имеет ряд недостатков, в частности наличие большого количества различных стандартов шин передачи данных на разных уровнях архитектуры платформы, что часто усложняет интеграцию отдельных частей системы. Современные системы автоматизации быстро развиваются, что приводит к потребностям в новом функционале систем, который классическая архитектура не может обеспечить. (Цель исследования) Разработать концепцию аппаратной архитектуры распределенных систем управления непрерывными промышленными производствами и агрокомплексами с использованием современных технологий и практик промышленного интернета вещей. (Материалы и методы) Использовали открытые источники международных сообществ в области автоматизации и промышленного интернета вещей, отечественные и зарубежные научные публикации. Применили методы: декомпозиции по уровням автоматизации; декомпозиции по функционалу, выполняемому отдельными аппаратными компонентами системы; обобщения информации из современных источников по тематике исследования; формализации аппаратной структуры в виде принципиальных схем. (Результаты и обсуждение) Предложили принципиальную аппаратную схему IIoT платформы распределенной системы управления на основе технологий промышленного интернета вещей IIoT. Сделали основной вектор при разработке архитектуры на использовании шины данных Ethernet на всех уровнях платформы, а также на реализацию современных и необходимых функций IIoT. (Выводы) Показали, что классическая аппаратная архитектура распределенных систем управления агрокомплексами и непрерывными производствами хорошо себя зарекомендовала, однако потребность внедрения нового функционала и осознание необходимости использования унифицированных шин передачи данных на всех уровнях предприятия приводит к разработке и постепенному переходу к новым IIoT архитектурным моделям проектирования и созданию подобных систем. Проанализировали имеющиеся мировые тенденции в данной области и предложили актуальную и современную концепцию аппаратной архитектуры IIoT распределенных систем.*

Ключевые слова: *промышленный интернет вещей, IIoT, автоматизация.*

Для цитирования: Рылов С.А. IIoT аппаратная архитектура распределенных систем управления непрерывными промышленными производствами и агрокомплексами // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 105-113. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-105-113. EDN HGTFTU.

IIoT Hardware Architecture of Distributed Control Systems for Continuous Industrial Production and Agricultural Complexes

Sergey A. Rylov[1,2],
Ph.D.(Eng.), e-mail: sergrlager@mail.ru

[1]Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation;
[2]MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Currently, the classical hardware architecture of their construction has been established in distributed control systems for continuous technological processes and productions in various agricultural complexes and industries. Such an architecture has a number of disadvantages, in particular, the presence of a large number of different data bus standards at different levels of the platform architecture, which often complicates the integration of individual parts of the system. Modern automation systems are developing rapidly, which leads to the need for new system functionality that classical architecture cannot provide. (Research purpose) The research purpose is developing a concept of hardware architecture of distributed control systems for continuous industrial production and agricultural complexes using modern technologies and practices of the industrial Internet of Things. (Materials and methods) Used open sources of international communities in the field of automation and industrial Internet of Things, domestic and foreign scientific publications. The following methods were applied: decomposition by*

automation levels; decomposition by functionality performed by individual hardware components of the system; generalization of information from modern sources on the subject of research; formalization of the hardware structure in the form of circuit diagrams. (Results and discussion) We have proposed a basic hardware diagram of the IIoT platform for a distributed control system based on IIoT industrial Internet of Things technologies. We have made the main vector in the development of the architecture based on the use of the Ethernet data bus at all levels of the platform, as well as on the implementation of modern and necessary IIoT functions. (Conclusions) It has been shown that the classical hardware architecture of distributed management systems for agricultural complexes and continuous production has proven itself well, however, the need to introduce new functionality and awareness of the need to use unified data transmission buses at all levels of the enterprise leads to the development and gradual transition to new IIoT architectural models for the design and development of such systems. We analyzed the existing global trends in this area and proposed an up-to-date and modern concept of the hardware architecture of IIoT distributed systems.
Keywords: *industrial Internet of Things, IIoT, automation.*

For citation: Rylov S.A. IIoT apparatnaya arkhitektura raspredelennykh sistem upravleniya nepreryvnymi promyshlennymi proizvodstvami i agrokompleksami [IIoT hardware architecture of distributed control systems for continuous industrial production and agricultural complexes]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2023. Vol. 70. N1(50). 105-113 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-114-122

УДК 620.9:620.92 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-114-122

Исследование работы гибридной энергетической установки, работающей на возобновляемых источниках энергии

Сергей Владимирович Митрофанов,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: mitser2002@mail.ru

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация

Реферат. *Применение энергетических установок, работающих на возобновляемых источниках энергии, для электроснабжения реальных объектов вызывает повышенный интерес среди ученых мира. Задача бесперебойного и надежного электроснабжения удаленных потребителей актуальна. (Цель исследования) Изучить работу гибридных энергетических комплексов, работающих на нескольких возобновляемых источниках энергии, для получения бесперебойного и надежного источника питания. (Материалы и методы) Предложили математическую модель гибридного энергетического комплекса, состоящего из солнечного модуля, ветрового модуля и модуля накопления энергии. Представили математическую модель солнечного модуля, учитывающую температуру окружающей среды, запыленность солнечных панелей, пропускную способность поверхности над фотоэлементами; и математическую модель ветрового модуля с учетом коэффициента полезного действия электрического синхронного генератора и редуктора. Определили суммарную мощность, вырабатываемую энергетическим комплексом в любой момент времени в течение года. Составили уравнение баланса мощности системы электроснабжения. Показали математическую модель водородной системы. Рассчитали количество электроэнергии, необходимой для производства 1 килограмма водорода. Установили массу водорода, полученного путем электролиза. Получили зависимость массы водорода в системе хранения от времени. Рассчитали электрическую мощность, которая может быть получена от топливного элемента. Ввели ограничения, регулирующие массу водорода, хранящегося в резервуарах. Разработали схему работы энергетической установки с водородной системой. (Результаты и обсуждение) Продемонстрировали полученный путем прямых измерений график нагрузки электроприемников собственных нужд ботанического сада за год по месяцам. Подобрали оборудование для обеспечения работы гибридного энергетического комплекса. Получили, используя данные о возобновляемых ресурсах за последние 20 лет с учетом температуры наружного воздуха, зависимость количества выработанной электроэнергии за год по месяцам. (Выводы) Выявили, что энергетический комплекс с модулем накопления энергии, состоящим из электролизера, накопителя водорода и топливного элемента, способен обеспечить надежное и бесперебойное электроснабжение.*
Ключевые слова: *возобновляемые источники энергии, гибридный энергетический комплекс, солнечный модуль, солнечная панель, водородный модуль, электролизная установка, топливный элемент.*

Для цитирования: Митрофанов С.В. Исследование работы гибридной энергетической установки, работающей на возобновляемых источниках энергии // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 114-122. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-114-122. EDN AGOXGV.

Operation of a Hybrid Power Plant Powered by Renewable Energy Sources

Sergey V. Mitrofanov,
Ph.D.(Eng.), associate professor, , e-mail: mitser2002@mail.ru

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

Abstract. *The use of power plants powered by renewable energy sources for the power supply of real objects is of great interest among scientists around the world. The task of uninterrupted and reliable power supply to remote consumers is relevant. (Research purpose) The research purpose is studying the operation of hybrid energy complexes operating on several renewable energy sources in order to obtain an uninterrupted and reliable power source. (Materials and methods) A mathematical model of a hybrid energy complex consisting of a solar module, a wind module and an energy storage module was proposed. A mathematical model of the solar module was presented, taking into account the ambient temperature, the dustiness of solar panels, the throughput capacity of the surface above the solar cells; and a mathematical model of the wind module taking into account the efficiency of an electric synchronous generator and gearbox. The total power generated by the energy complex at any given time during the year was determined. The equation of the power balance of the power supply system was compiled. A mathematical model of the hydrogen system was shown. The amount of electricity needed to produce 1 kilogram of hydrogen has been calculated. The mass of hydrogen obtained by electrolysis was determined. The dependence of the mass of hydrogen in the storage system on time was determined. The electrical power that can be obtained from the heating element was calculated. Restrictions have been introduced regulating the mass of hydrogen stored in tanks. We have developed a scheme for the operation of a power plant with a hydrogen system. (Results and discussions) The article presents obtained by direct measurements the load schedule of the electrical receivers of the botanical garden's own needs for the year by month. Equipment was selected to ensure the operation of the hybrid energy complex. We obtained, using data on renewable resources over the past 20 years, taking into account the outdoor temperature, the dependence of the amount of electricity generated per year by month. (Conclusions) The energy complex with an energy storage module consisting of an electrolyzer, a hydrogen storage device and a fuel cell is capable of providing reliable and uninterrupted power supply.*

Keywords: *renewable energy sources, hybrid energy complex, solar module, solar panel, hydrogen module, electrolysis plant, fuel cell.*

For citation: Mitrofanov S.V. Issledovanie raboty gibridnoy energeticheskoy ustanovki, rabotayushchey na vozobnovlyaemykh istochnikakh energii [Operation of a hybrid power plant powered by renewable energy sources]. *Elektrotekhnologii i*

e
l
e
k
t
r
o
o
b
o
r
u
d
o
v
a
n
i
e

v
A
P
K

2
0
2
3

УДК 621.548 DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-123-132

Обоснование эффективности использования альтернативного источника энергии на предприятиях АПК

Юрий Петрович Дмитриев[1],
кандидат технических наук, доцент;
Сергей Юрьевич Дмитриев[2],
кандидат технических наук, соискатель, e-mail: su.dmitriev2011@yandex.ru;
Владимир Александрович Андреев[1],
старший преподаватель;
Алексей Николаевич Максимов[1],
кандидат физико-математических наук, доцент;
Ольга Юрьевна Дмитриева[3],
кандидат экономических наук, доцент

Чувашский государственный аграрный университет, г. Чебоксары, Российская Федерация;
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Российская Федерация

Реферат. *Для сокращения выбросов промышленных газов, которые служат главной причиной глобального потепления, в настоящее время ставится задача увеличения природных альтернативных источников энергии: солнца, ветра, воды, биоэнергетики. (Цель исследования) Выбрать оптимальные параметры по мощности и*

обоснованию эффективности установки ветрогенератора на сельскохозяйственном предприятии, исходя из имеющихся данных мониторинга скорости ветра в данной местности. (Материалы и методы) Провели мониторинг ветровой нагрузки в течение одного месяца в филиале предприятия АО «Чувашхлебопродукт» – Тюрлеминское хлебоприемное предприятие, Козловский район Чувашской Республики, станция Тюрлема. Приняли за материал исследования горизонтальную составляющую движения ветра. Использовали для измерения скорости ветра чашечный анемометр МС-13. Время измерений – 6 марта – 8 апреля 2022 года с 8:00 до 19:00 часов ежедневно с интервалом в один час. Обработали данные в программе Excel. Построили графические зависимости скорости ветра от времени суток и дней недели. (Результаты и обсуждение) Установили, что средний показатель скорости ветра составил 5 метров в секунду, минимальное значение скорости ветра – 0,8 метров в секунду, максимальное значение скорости ветра – 19,4 метра в секунду. (Выводы) Выявили, что наиболее привлекательные с точки зрения ветровой нагрузки – Козловский, Мариинско-Посадский, Чебоксарский и Цивильский районы Чувашской Республики. Определили, что с точки зрения эффективности в недалекой перспективе надо ждать принципиально новых решений в развитии ветроэнергетики. Констатировали, что перспективным представляется использование вихревых эффектов в конструкции ветроустановок, что позволяет не только начинать вырабатывать энергию на ветрах со скоростью 3,0-4,0 метра в секунду, но и даст возможность работы от восходящих тепловых потоков, а также избавит окружающую среду от низкочастотных шумовых составляющих, присущих любой лопастной ветроустановке.
Ключевые слова: *альтернативные источники энергии, ветер, ветрогенератор, скорость ветра, мощность, электроэнергия.*

Для цитирования: Дмитриев Ю.П., Дмитриев С.Ю., Андреев В.А., Максимов А.Н., Дмитриева О.Ю. Обоснование эффективности использования альтернативного источника энергии на предприятиях АПК // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 123-132. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-123-132.EDN ENGPRD.

Efficiency of Using an Alternative Energy Source at Agricultural Enterprises

Yuriy P. Dmitriev[1],
Ph.D.(Eng.), associate professor;
Sergey Yu. Dmitriev[2],
Ph.D.(Eng.), postgraduate, e-mail: su.dmitriev2011@yandex.ru;
Vladimir A. Andreev[1],
senior lecturer;
Aleksey N. Maksimov[1],
Ph.D.(Phys.-Math.), associate professor;
Olga Yu. Dmitrieva[3],
Ph.D.(Econ.), associate professor

[1]Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russian Federation;
[2]Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;
[3]Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russian Federation

Abstract. *To reduce emissions of industrial gases, which are the main cause of global warming, the task is currently being set to increase natural alternative energy sources: solar, wind, water, bioenergy. (Research purpose) The research purpose is selecting the optimal parameters and justification of the efficiency of installing a wind generator at an agricultural enterprise, based on the available data for monitoring wind speed in a given area. (Materials and methods) Carried out wind load monitoring for one month in the branch of the enterprise of JSC "Chuvashkhleboprodukt" – Tyurleminsky grain receiving enterprise, Kozlovsky district of the Chuvash Republic, Tyurlem station. The horizontal component of wind movement was taken as the research material. A cup anemometer MS-13 was used to measure wind speed. The measurement time is March 6 – April 8, 2022 from 8:00 to 19:00 hours daily with an interval of one hour. Processed the data in Excel. Graphical dependences of wind speed on the time of day and days of the week were built. (Results and discussion) It was established that the average wind speed was 5 meters per second, the minimum wind speed was 0.8 meters per second, and the maximum wind speed was 19.4 meters per second. (Conclusions) It was revealed that the most attractive from the point of view of wind load are Kozlovsky, Mariinsko-Posadsky, Cheboksary and Tsivilsky districts of the Chuvash Republic. We determined that from the point of view of efficiency in the near future, we must wait for fundamentally new solutions in the development of wind energy. It was stated that the use of vortex effects in the design of wind turbines seems promising, which makes it possible not only to start generating energy in the winds at a speed of 3.0-4.0 meters per second, but also will make it possible to work from ascending heat flows, as well as rid the environment of low-frequency noise components inherent in any blade wind turbine.*

Keywords: *alternative energy sources, wind, wind turbine, wind speed, power, electricity.*

For citation: Dmitriev Yu.P., Dmitriev S.Yu., Andreev V.A., Maksimov A.N., Dmitrieva O.Yu. Obosnovanie effektivnosti ispol'zovaniya al'ternativnogo istochnika energii na predpriyatiyakh APK [Efficiency of using an alternative energy source at agricultural enterprises]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2023. Vol. 70. N1(50). 123-132 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-123-132.EDN ENGPRD.