ISSN 2658-4859

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ АГРОИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ВИМ»

Электро-технологии и электро-оборудование в АПК

Теоретический и научно-практический журнал

Издается с 2005 г.

3 (48)/2022

Электротехнологии и электрооборудование в АПК

№ 3 (48) 2022

Теоретический и научно-практический журнал. Основан в 2005 году. Предыдущее название «Вестник ВИЭСХ»
Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, входит в базу данных AGRIS и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Редакционная коллегия:

Д.А. Тихомиров, д.т.н., профессор РАН, член-корр. РАН (главный редактор);
А.В. Виноградов, д.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
А.Ю. Измайлов, д.т.н., профессор, академик РАН, член Президиума РАН;
Я.П. Лобачевский, д.т.н., профессор, академик РАН;
А.С. Дорохов, д.т.н., профессор, академик РАН;
А.Н. Васильев, д.т.н., профессор;
Д.А. Будников, д.т.н.;
М.М. Благовещенская, д.т.н., проф.;
М.Г. Тягунов, д.т.н., профессор;
В.И. Зацепина, д.т.н., профессор.

Иностранные члены редколлегии:

И.И. Гируцкий, д.т.н., профессор (Беларусь);
А.Б. Оспанов, д.т.н., профессор, член-корр. НАН РК (Республика Казахстан);
П.А. Утениязов, д.т.н., с.н.с. (Республика Узбекистан);
Пандиан Васант, д-р философии (Малайзия);
В. Вивекананд, д-р философии, доцент (Индия);
Салам Чафик-Тома, профессор (Франция).

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-74528 от 14.12.2018 г.
Адрес издателя, редакции и типографии: 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5, стр. 1.
Телефон: (499)174-88-11; (499)174-89-01
E-mail: vestnikviesh@gmail.com
Ответственный секретарь *Р.М. Нурбагандова*
Редактор *Т.В. Бердникова*
Компьютерный оригинал-макет *В.В. Бижаев*

Выходит 4 раза в год (Свободная цена)
Дата выхода в свет 30.09.2022 г.
Формат 60×84/8. Объем 12,75 печ. л.
Тираж 100 экз. Печать цифровая.
Отпечатано в типографии ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
ISSN 2658-4859

Содержание номера

Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

Беляков М.В.
Обоснование спектрального диапазона фотолюминесцентного контроля соланизации картофеля 3

Энергообеспечение в АПК

Кудряшев Г.С., Третьяков А.Н.
Представление результатов опроса приборов учета электроэнергии в распределительных сетях сельских потребителей. 9

Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Химченко А.В.
Инженерный метод расчета лучистого теплообмена в установках с коаксиально расположенными цилиндрическими поверхностями 14

Фомин И.Н., Беликов Р.П.
Структурная схема способа подключения ответственных потребителей к резервной электростанции 20

Виноградов А.В., Лансберг А.А., Голиков И.О.
Анализ работы системы накопления электрической энергии с пофазным регулированием напряжения. 26

Большев В.Е., Виноградова А.В., Виноградов А.В., Букреев А.В., Сорокин Н.С.
Алгоритм работы устройства деления электрической сети 36

Гусаров В.А., Миронов М.П.
Разработка микрогазотурбинной установки для получения электрической и тепловой энергии 43

Технологии и средства механизации и роботизации в АПК

Текушев А.Х., Чаплыгин М.Е., Чулков А.С., Шайхов М.М.
Автоматизированные технические средства в посевной технике для селекции и семеноводства сельхозкультур 49

Хамуев В.Г., Московский М.Н., Герасименко С.А., Борзенко С.И.
Лабораторные испытания гравитационной колонки при очистке и калибровке семян сои. 56

Автоматизация и управление технологическими процессами АПК

Бычковский В.С., Лившиц А.В.
Разработка алгоритма управления технологическим процессом маслонаполнения полимеров и композитов на заданную глубину 63

Каргин В.А., Усанов К.М., Стрельников В.А., Борисевский А.М.
Программируемая система управления процессами в блочной теплице 69

Усанов К.М., Каргин В.А., Мокрушин С.А., Стрельников В.А.
Микропроцессорная автоматизированная система управления процессами водоподготовки 76

Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Владимиров Ф.Е.
Применение сверточной нейронной сети для определения границ сосков вымени коровы 82

Электропривод технологических процессов и надежность электрооборудования в АПК

Юферев Л.Ю., Споров А.П.
Конструкция и компоновка электрического мобильного транспортного средства для фермерского хозяйства 89

Возобновляемая и нетрадиционная энергетика

Гусарова Е.В., Гусаров В.А., Харченко В.В.
Система безопасности для сельскохозяйственной техники на железнодорожных переездах. 95

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2022

Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex

The editorial board of the journal:

Dmitriy A. Tikhomirov, Dr.Sc.(Eng.), Professor of the RAS, Corresponding Member of the RAS (Editor in Chief);
Aleksandr V. Vinogradov, Dr.Sc.(Eng.), Professor (Deputy Editor);
Andrey Yu. Izmaylov, Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the RAS, Member of the Presidium of the RAS;
Yakov P. Lobachevskiy, Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the RAS;
Alexey S. Dorokhov, Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the RAS;
Aleksey N. Vasil'ev, Dr.Sc.(Eng.), Professor;
Dmitry A. Budnikov, Dr.Sc.(Eng.);
Margarita M. Blagoveshchenskaya, Dr.Sc.(Eng.), Professor;
Mikhail G. Tyagunov, Dr.Sc.(Eng.), Professor;
Violetta I. Zatsepina, Dr.Sc.(Eng.), Professor

Иностранные члены редколлегии:

Ivan I. Girutsky, Dr.Sc.(Eng.), Professor (Belarus);
Asan B. Ospanov, Dr.Sc.(Eng.), Prof., Corresponding Member of NAS RK (Republic of Kazakhstan);
Pulat A. Uteniyazov, Dr.Sc.(Eng.), Chief Specialist, (Republic of Uzbekistan);
Vasant Pandian, Dr. Philosophy, Senior Lecturer, (Malaysia);
V. Vivekanand, Dr. Philosophy, Assistant Professor (India);
Salam Chafik-Toma, Professor (France).

PUBLISHER, EDITORIAL OFFICE'S AND PRINTING HOUSE ADDRESS

109428, Moscow,
1st Institutskiy proezd, 5, bld. 1.
Tel.: +7 (499) 174-88-11
+7 (499) 174-89-01
http://www.vimsmit.com
E-mail: vestnikviesh@gmail.com

EXECUTIVE EDITORS:

Nurbagandova R.M.
Berdnikova T.V.,
Bizhaev V.V.,
Translation into English –
Konstantin Morenko

Published 4 times per annum (Free price)

Release date 30.09.2022.
The format is 60×84/8.
Volume 12.75 printed sheet.
The circulation is 100 copies
Printed by FSAC VIM
Russian Academy of Science

ISSN 2658-4859

Contents

Electrical technologies and equipment in agriculture

Belyakov M.V.
Substantiation of the spectral range of photoluminescent potato solanization control. 3

Energy supply in the agro-industrial complex

Kudryashev G.S., Tretyakov A.N.
Presentation of the surveys of electricity meters in the distribution networks of rural consumers 9

Kuzmichev A.V., Tikhomirov D.A., Khimenko A.V.
A method for calculating radiant heat transfer in installations with axial cylindrical surfaces. 14

Fomin I.N., Belikov R.P.
A method of connecting responsible consumers to backup power 20

Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Golikov I.O.
Operation of an electric energy storage system with phase voltage adjusting 26

Bolshev V.E., Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Bukreev A.V., Sorokin N.S.
Operation algorithm of the device for dividing an electrical grid 36

Gusarov V.A., Mironov M.P.
The micro-gas turbine plant for generating electric and thermal energy 43

Technologies, mechanization and robotization in the agro-industrial complex

Tekushev A.Kh., Chaplygin M.E., Chulkov A.S., Shaykhov M.M.
The automated technical means in sowing equipment for breeding and seed production of agricultural crops 49

Khamuev V.G., Moskovskiy M.N., Gerasimenko S.A., Borzenko S.I.
Laboratory testing of a gravity column for cleaning and calibrating of soybean seeds 56

Automation and technological processes control in the agro-industrial complex

Bychkovskiy V.S., Livshits A.V.
An algorithm for controlling the filling of polymers and composites by oil to a given level. 63

Kargin V.A., Usanov K.M., Strel'nikov V.A., Borisevskiy A.M.
Programmable control system for a block greenhouse 69

Usanov K.M., Kargin V.A., Mokrushin S.A., Strel'nikov V.A.
Microprocessor-based automated control system for water treatment processes 76

Yurochka S.S., Khakimov A.R., Pavkin D.Yu., Dovlatov I.M., Vladimirov F.E.
Using a convolutional neural network to determine the teat limits of a cow's udder 82

Electric drive of technological processes and reliability of electrical equipment in the agro-industrial complex

Yuferev L.Yu., Sporov A.P.
Design and layout of an electric mobile vehicle for farming 89

Renewable and unconventional energy

Gusarova E.V., Gusarov V.A., Kharchenko V.V.
Security system for agricultural machinery at railway crossings 95

Полные тексты статей размещаются на сайте электронной научной библиотеки: elibrary.ru.
Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, допускается только с разрешения редакции.

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2022.

УДК 535.37:57.087:635.21 CC BY **DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-3-8**

Обоснование спектрального диапазона фотолюминесцентного контроля соланизации картофеля

Михаил Владимирович Беляков,
доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: bmw20100@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Обработка и переработка картофеля осуществляется на крупных автоматизированных предприятиях, и промышленность требует более автоматизированного оборудования для оценки качества и сортировки. Существует множество способов повысить урожайность картофеля, самый эффективный – озеленение клубней на свету. Однако употребление зеленого картофеля в пищу может губительно сказаться на организме человека, так как соланин токсичен. Поэтому контроль степени соланизации картофеля актуален. (Цель исследования) Изучить оптические люминесцентные свойства клубней картофеля в процессе соланизации и обосновать выбор спектральных диапазонов для создания системы его контроля. (Материалы и методы) Провели измерение спектральных характеристик клубней картофеля на дифракционном спектрофлуориметре. (Результаты и обсуждение) Определили, что возбуждение излучением клубней картофеля происходит в диапазонах 310-570 и 590-690 нанометров, максимумы возбуждения приходятся примерно на длины волн 378, 425, 486, 528, 614 и 662 нанометра. Установили, что излучение короче 310 нанометров и длиннее 690 нанометров не возбуждает люминесценцию. Показали, что для коротковолнового диапазона возбуждения прослеживается четкое снижение интегральной поглощательной способности H при соланизации, при этом наибольшее значение H наблюдается для диапазонов 310-404 и 404-474 нанометров. Отметили, что для длинноволновых диапазонов зависимость H(t) имеет максимум на 13 дне наблюдения. Констатировали, что наиболее оптимально использование соотношения $H_{404\text{-}474}/H_{590\text{-}640}$, которое имеет наибольшую величину отношения и при полиномиальной аппроксимации имеет $R^2 = 0,89$. (Выводы) Выявили, что для фотолюминесцентного контроля состояния соланизации наиболее оптимально использование спектральных диапазонов 404-474 и 590-640 нанометров. Указали, что данные результаты могут быть положены в основу методики и цифрового устройства контроля степени соланизации клубней картофеля.*
Ключевые слова: *оптическая спектральная диагностика, картофель, соланизация, спектр возбуждения, интегральная поглощательная способность.*

Для цитирования: Беляков М.В. Обоснование спектрального диапазона фотолюминесцентного контроля соланизации картофеля // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК.* 2022. Т. 69. N3(48). С. 3-8. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-3-8. EDN RIRHHL.

Substantiation of the Spectral Range of Photoluminescent Potato Solanization Control

Mikhail V. Belyakov,
Dr.Sc.(Eng.), leading researcher, e-mail: bmw20100@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Potato processing is carried out at large automated enterprises, and the industry requires more automated equipment for quality assessment and sorting. There are many ways to increase potato yields, the most effective is planting tubers in the light. However, eating green potatoes can have a detrimental effect on the human body, since solanine is toxic. Therefore, the control of the potato solanization is relevant. (Research purpose) The research purpose is studying the optical luminescent properties of potato tubers in the solanization process and justifying the spectral ranges for creating a system of its control. (Materials and methods) The spectral characteristics of potato tubers were measured using a diffraction spectrofluorimeter. (Results and discussion) The excitation of potato tubers by radiation occurs in the ranges of 310-570 and*

590-690 nanometers, the excitation maxima are approximately at wavelengths of 378, 425, 486, 528, 614 and 662 nanometers. Radiation shorter than 310 nanometers and longer than 690 nanometers does not excite luminescence. For the short-wave excitation range, a clear decrease in the integral absorption capacity H is observed during solanization, while the highest value of H is observed for the ranges of 310-404 and 404-474 nanometers. For long-wavelength ranges, the dependence of H(t) has a maximum at the 13th day of observation. The most optimal use of the ratio $H_{404-474}/H_{590-640}$, which has the highest ratio R^2 = 0.89 with polynomial approximation. (Conclusions) The use of spectral ranges 404-474 and 590-640 nanometers is the most optimal for photoluminescent monitoring of the solanization. These results can be used as the basis for the methodology and digital device for monitoring the solanization of potato tubers.
Keywords: *optical spectral diagnostics, potato, solanization, excitation spectrum, integral absorption capacity.*

For citation: Belyakov M.V. Obosnovanie spektral'nogo diapazona fotolyuminestsentnogo kontrolya solanizatsii kartofelya [Substantiation of the spectral range of photoluminescent potato solanization control]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 3-8 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-3-8. EDN RIRHHL.

Современное сельское хозяйство невозможно без средств интеллектуализации. Получение качественной конкурентоспособной продукции возможно только при использовании высокопроизводительных машин, обеспечивающих совмещение технологических операций, в конструкциях которых заложены системы автоматизированного управления технологическими процессами. Сегодня мировой тенденцией в сельскохозяйственном производстве становится применение интеллектуальных технологий, когда при выполнении технологических операций осуществляются сбор и оперативная обработка больших объемов информации. Технические средства и машины для реализации таких технологий должны обладать определенной степенью интеллекта, оснащены приборами и устройствами для сбора, обработки и передачи информации, принятия решения по заданным алгоритмам и реализации управленческих решений [1]. Для возделывания, уборки и послеуборочной обработки овощных культур и картофеля разработаны автоматизированные машины с цифровыми системами управления [2, 3].

Обработка и переработка картофеля выполняется на крупных автоматизированных предприятиях, и промышленность требует более автоматизированного оборудования для оценки качества и сортировки по концентрации крахмала, растворимых сахаров, белка, аминокислот и так далее в клубнях картофеля. Чтобы решить эту проблему, пищевая промышленность полагается на использование неразрушающих и экологически безопасных методов определения качества продукции. Большое внимание уделяется спектроскопии в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне [4].

Другие методы оптической диагностики картофеля – ИК-микроскопия и лазерная спектроскопия пробоя. Инфракрасная микроскопия с преобразованием Фурье оказалась надежным и чувствительным методом обнаружения молекулярных изменений в клетках. Патогены грибов демонстрируют типичные ИК-спектры, которые отличаются от спектров материала картофеля. Используется инфракрасная Фурье-микроскопия для раннего и быстрого обнаружения патогена картофельного грибка *Colletotrichum coccodes* на поверхности клубней картофеля [5]. Спектроскопия лазерного разрушения в сочетании с методом линейной многомерной регрессии применялась для количественного анализа хрома в картофеле [6].

Один из основных недостатков картофеля – физиологическое озеленение кожуры (соланизация). После воздействия света амилопласты превращаются в хлоропласты в слоях периферических клеток клубня, что вызывает накопление зеленого фотосинтетического пигмента хлорофилла. На озеленение клубней могут влиять генетические, культурные, физиологические и экологические факторы, включая глубину посадки, физиологический возраст клубней, температуру, уровень кислорода в атмосфере и условия освещения [7].

Употребление зеленого картофеля в пищу может губительно сказаться на организме человека, так как соланин токсичен. Однако соланин положительно влияет на прорастание картофеля, что способствует его наиболее скорой всхожести.

Вопрос соланизации актуален в среде селекционеров, так как зависимость величины урожая от качества семенного материала слишком велика. Существует множество способов повысить урожайность картофеля, но самый эффективный – озеленение клубней на свету. Машинный алгоритм видения был разработан для того, чтобы быстро и точно обнаружить физиологическое озеленение кожуры клубней картофеля [8]. Экспериментальная установка сбора изображений состояла из блока захвата изображений, оснащенного системой освещения, цветной ПЗС-камерой и картой захвата. Набор данных включал 25 изображений картофеля с физио-

логическими пятнами озеленения кожи. Для изменения неравномерного распределения интенсивности фонового света проведена предварительная обработка изображения.

Цель исследования – изучить оптические люминесцентные свойства клубней картофеля в процессе соланизации и обосновать выбор спектральных диапазонов для создания системы его контроля.

Материалы и методы. Разработали методику исследования люминесценции на основе аппаратно-программного комплекса, включающего спектрофлуориметр «Флюорат-02-Панорама», компьютер с программным обеспечением *Panorama Pro* и внешнюю камеру для исследуемых образцов.

Спектрофлуориметр «Флюорат-02-Панорама» – многофункциональный прибор, предназначенный для измерения массовой концентрации неорганических и органических примесей в различных средах, технических материалах, продуктах питания, биообъектах в соответствии с методикой выполнения измерений. Прибор может быть использован в качестве автоматического детектора при изучении спектров возбуждения и регистрации люминесценции, фотометрических характеристик, характеристик фосфоресценции различных объектов.

На *рисунке 1* изображен общий вид спектрофлуориметра «Флюорат-02-Панорама».

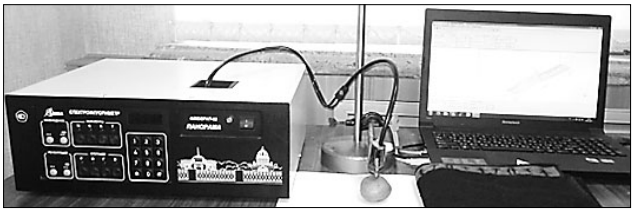


Рис. 1. Общий вид измерительной установки на основе «Флюорат-02-Панорама»
Fig. 1. General view of the measuring unit based on Fluorat-02-Panorama

Спектрофлуориметр состоит из источника питания, оптической схемы с источником и приемниками излучения, систем сканирования монохроматоров, электронного измерительного блока, микропроцессорного контроллера.

Измерение выполнили по ранее разработанной методике [9-11]. Синхронное сканирование провели при смещении 70 нм. Чувствительность приемника излучения выбрали самой высокой из-за низкого уровня сигнала. Число вспышек импульсной лампы с последующим усреднением фотосигнала установили равным 25. Диапазон длин волн при синхронном сканировании – от 180 до 700 нм. Все измерения делали с шагом перестройки монохроматоров 1 нм. При таком шаге спектр получается более сглаженным.

Для полученных спектральных характеристик возбуждения (поглощения) $\eta_e(\lambda)$ определили интегральные поглощательные способности H по формуле:

$$H = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \eta_e(\lambda)\, d\lambda, \quad (1)$$

где $\eta_e(\lambda)$ – спектральная характеристика возбуждения; λ_1, λ_2 – границы спектрального диапазона возбуждения.

Результаты и обсуждение. Изучили спектральные характеристики клубней картофеля в процессе его соланизации. Опыт проводили на протяжении 60 дней. В это время картофель соланизировался в естественных условиях, то есть на улице при естественном освещении.

Спектры каждого из клубней измеряли примерно один раз в неделю, в зависимости от степени соланизации. Для визуального представления соланизации образцов осуществили фотофиксацию на 25-й и 60-й день исследования. На *рисунке 2* представлены фотографии клубня картофеля в начале, на 25-й и на 60-й день соланизации.

Рис. 2. Внешний вид клубней картофеля в начале (1), на 25-й день (2) и на 60-й день (3) соланизации
Fig. 2. Potato tubers at the beginning (1), 25th day (2) and 60th day (3) of solanization

Результаты измерений спектров возбуждения при синхронном сканировании приведены на *рисунке 3*.

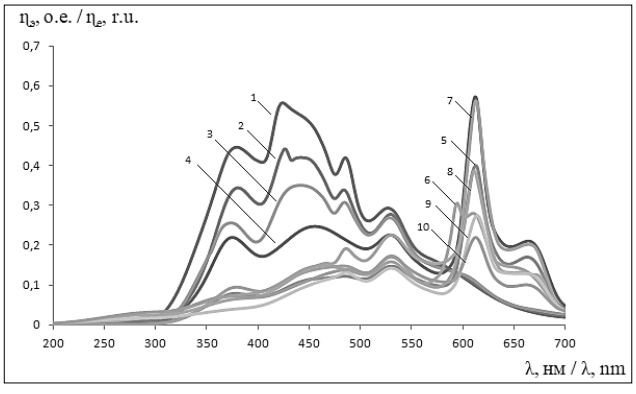


Рис. 3. Спектральные характеристики возбуждения при синхронном сканировании клубней картофеля при соланизации: 1 – 1-й день; 2 – 4-й день; 3 – 7-й день; 4 – 13-й день; 5 – 19-й день; 6 – 25-й день; 7 – 33-й день; 8 – 39-й день; 9 – 49-й день; 10 – 60-й день
Fig. 3. Spectral characteristics of excitation during synchronous scanning of potato tubers during solanization: 1 – 1st day; 2 – 4th day; 3 – 7th day; 4 – 13th day; 5 – 19th day; 6 – 25th day; 7 – 33th day; 8 – 39th day; 9 – 49th day; 10 – 60th day

Из *рисунка 3* видно, что возбуждение (эффективное поглощение) излучением клубней картофеля происходит в диапазонах 310-570 и 590-690 нм. Максимумы возбуждения приходятся примерно на длины волн 378, 425, 486, 528, 614 и 662 нм. Излучение короче 310 нм и длиннее 690 нм не возбуждает люминесценцию.

По усредненным синхронным спектрам рассчитали интегралы под кривыми для шести диапазонов спектра. Результаты расчетов представлены в *таблице 1*.

Для более коротковолнового диапазона возбуждения прослеживается четкое снижение интегральной поглощательной способности при соланизации. При этом наибольшее значение H наблюдается для диапазонов 310-404 нм и 404-474 нм. Для более длинноволновых диапазонов зависимость $H(t)$ имеет максимум на 13 дне наблюдения.

Аппроксимацию полученных зависимостей осуществили в программе *MS Excel*. Использовали зависимости для диапазонов 310-404, 404-474 и 590-640 нм, как наибольшие по абсолютным значениям. Также аппроксимировали зависимости для отношений коэффициентов поглощения. Критерием качества аппроксимации служит коэффициент детерминации R^2, при значении которого выше 0,8 аппроксимация считается достоверной. Выполнили экспоненциальную, линейную, логарифмическую, полиномиальную и степенную аппроксимации. Результаты расчетов коэффициентов детерминации представлены в *таблице 2*.

К сожалению, наиболее простая линейная аппроксимация для всех зависимостей получилась недостоверной, как и экспоненциальная, и степенная. Зависимость $H_{590\text{-}640}(t)$ не удается аппроксимировать, но она может быть полезной для относительных измерений, увеличивая соотношение сигналов в период до 19 дней соланизации. Наиболее оптимально использование соотношения $H_{404\text{-}474}/H_{590\text{-}640}$, которое имеет наибольшую величину отношения и при полиномиальной аппроксимации $R^2 = 0{,}89$. Уравнение аппроксимации:

$$H_{404–474}/H_{590–640} = 8{\cdot}10^{-3}\, t^2 - 0{,}52t + 8. \quad (2)$$

Выводы. Исходя из полученных результатов, для фотолюминесцентного контроля состояния солани-

Table 1 *Таблица 1*

Интегральные параметры спектров синхронного сканирования клубней картофеля при соланизации
Integral parameters of synchronous scanning spectra of potato tubers during solanization

Срок, сут Period, day	H, о. е. H, r. u.	H, о. е. (для спектрального диапазона, нм) / H, r. u. (for the spectral range, nm)					
		310-404	404-474	474-508	508-570	590-640	650-690
1	117	35	41	13	17	5	1
4	98	24	33	12	16	5	2
7	66	11	22	9	13	5	2
13	62	6	12	6	10	16	7
19	29	1	3	2	5	10	5
25	37	3	7	5	7	7	3
33	42	3	8	5	8	11	4
49	43	5	8	6	9	7	3

Table 2 *Таблица 2*

Коэффициенты детерминации R^2 различных видов аппроксимации зависимостей интегральных коэффициентов поглощения клубней от времени соланизации
The determination coefficients R^2 of various approximation types for the dependencies of the integral absorption coefficients of tubers on the solanization time

Вид аппроксимации Approximation type	$H_{310\text{-}404(t)}$	$H_{404\text{-}474(t)}$	$H_{590\text{-}640(t)}$	$\frac{H_{310\text{-}404}}{H_{590\text{-}640}}(t)$	$\frac{H_{404\text{-}474}}{H_{590\text{-}640}}(t)$
Экспоненциальная Exponential	0,35	0,43	0,11	0,32	0,36
Линейная / Linear	0,46	0,54	0,04	0,45	0,50
Логарифмическая Logarithmic	0,87	0,88	0,19	0,86	0,85
Полином 2-й степени Polynomial of 2nd degrees	0,86	0,90	0,34	0,85	0,89
Степенная / Power	0,66	0,68	0,30	0,64	0,65

зации наиболее оптимально использование спектральных диапазонов 404-474 нм (максимум возбуждения 425 нм) и 590-640 нм (максимум возбуждения 614 нм). Соотношение фотосигналов, полученное при возбуждении этим излучением наибольшее из рассматриваемых, а его относительность дает возможность не производить калибровку при каждой серии измерений. Данные результаты могут быть положены в основу методики и цифрового устройства контроля степени соланизации клубней картофеля.

Библиографический список

1. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г. Разработка показателей комплексной оценки интеллектуализации машинного производства овощных культур // *Тракторы и сельхозмашины*. 2020. N3. С. 68-74.
2. Дорохов А.С., Мосяков М.А., Сазонов Н.В. Автоматизированная линия для послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N1. С. 22-26.
3. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. и др. Основы разработки автоматизированных машин для возделывания, уборки и послеуборочной обработки овощных культур и картофеля с цифровыми системами управления // *Инженерные технологии и системы*. 2022. Т. 32. N1. С. 145-173.
4. López A., Arazuri S., García I., et al. A Review of the Application of Near-Infrared Spectroscopy for the Analysis of Potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013. Vol. 61. Iss. 23. 5413-5424.
5. Erukhimovitch V., Tsror L., Hazanovsky M., et al. Early and Rapid Detection of Potato's Fungal Infection by Fourier Transform Infrared Microscopy. *Applied Spectroscopy*. 2007. Vol. 61. Iss. 10. 1052-1056.
6. Chen T., Huang L., Yao M., et al. Quantitative analysis of chromium in potatoes by laser-induced breakdown spectroscopy coupled with linear multivariate calibration. *Applied Optics*. 2015. Vol. 54. Iss. 25. 7807.
7. Tanios S., Eyles A., Tegg R., et al. Potato Tuber Greening: a Review of Predisposing Factors, Management and Future Challenges. *American Journal of Potato Research*. 2018. Vol. 95. Iss. 3. 248-257.
8. Ebrahimi E., Mollazade K., Arefi A. Detection of Greening in Potatoes using Image Processing Techniques. *Journal of American Science*. 2011. Vol. 7. Iss. 3. 243-247.
9. Belyakov M.V., Kulikova M.G., Gerts A.A. Control of powdery contents and mass rates of the extract in the dry substance of barley malt by photoluminescent method. *International Journal of Food Science & Technology*. 2022. Vol. 57. Iss. 1. 408-415.
10. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 58. N2. 63-74.
11. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24. N1. С. 12-16.

References

1. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Razrabotka pokazateley kompleksnoy otsenki intellektualizatsii mashinnogo proizvodstva ovoshchnykh kul'tur [Indicators for a comprehensive assessment of the intellectualization of machine production of vegetable crops]. *Traktory i sel'khozmashiny*. 2020. N3. 68-74 (In Russian).
2. Dorokhov A.S., Mosyakov M.A., Sazonov N.V. Avtomatizirovannaya liniya dlya posleuborochnoy obrabotki korneplodov i kartofelya [Automated line for post-harvest processing of root crops and potatoes]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N1. 22-26 (In Russian).
3. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., et al. Osnovy razrabotki avtomatizirovannykh mashin dlya vozdelyvaniya, uborki i posleuborochnoy obrabotki ovoshchnykh kul'tur i kartofelya s tsifrovymi sistemami upravleniya [Fundamentals of automated machines for cultivation, harvesting and post-harvest processing of vegetable crops and potatoes with digital control systems]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2022. Vol. 32. N1. 145-173 (In Russian).
4. López A., Arazuri S., García I., et al. A Review of the Application of Near-Infrared Spectroscopy for the Analysis of Potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013. Vol. 61. Iss. 23. 5413-5424.
5. Erukhimovitch V., Tsror L., Hazanovsky M., et al. Early and Rapid Detection of Potato's Fungal Infection by Fourier Transform Infrared Microscopy. *Applied Spectroscopy*. 2007. Vol. 61. Iss. 10. 1052-1056.
6. Chen T., Huang L., Yao M., et al. Quantitative analysis of chromium in potatoes by laser-induced breakdown spectroscopy coupled with linear multivariate calibration. *Applied Optics*. 2015. Vol. 54. Iss. 25. 7807.
7. Tanios S., Eyles A., Tegg R., et al. Potato Tuber Greening: a Review of Predisposing Factors, Management and Future Challenges. *American Journal of Potato Research*. 2018. Vol. 95. Iss. 3. 248-257.
8. Ebrahimi E., Mollazade K., Arefi A. Detection of Greening in Potatoes using Image Processing Techniques. *Journal of American Science*. 2011. Vol. 7. Iss. 3. 243-247.
9. Belyakov M.V., Kulikova M.G., Gerts A.A. Control of powdery contents and mass rates of the extract in the dry substance of barley malt by photoluminescent method. *International Journal of Food Science & Technology*. 2022. Vol. 57. Iss. 1. 408-415.
10. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines. *INMATEH – Agricultural Engi-*

neering. 2019. Vol. 58. N2. 63-74.
11. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Metod kompleksnoy otsenki kachestva vypolneniya tekhnologicheskikh operatsiy energoresursosberegayushchey tekhnologii uborki korneplodov i kartofelya [The method of complex assessment of the quality of technological operations of energy-saving technology of harvesting root crops and potatoes]. *Agroinzheneriya*. 2022. Vol. 24. N1. 12-16.

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

The author read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 20.04.2022
Статья принята к публикации 18.08.2022

УДК 338.46:621.31
CC BY
DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-9-13

Представление результатов опроса приборов учета электроэнергии в распределительных сетях сельских потребителей

Геннадий Сергеевич Кудряшев,
доктор технических наук, профессор;
Александр Николаевич Третьяков,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: tretyakov_alex@mail.ru

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, пос. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Российская Федерация

Реферат. *Наиболее распространенными электроприемниками на предприятиях, в том числе сельскохозяйственных, служат электродвигатели и осветительные установки. Кроме того, распространены электротермические установки и вентильные преобразователи, преобразующие переменный ток в постоянный. Электродвигатели применяются, как правило, трехфазные, они создают высшие гармоники и колебания напряжения в момент пуска. (Цель исследования) Оценить возможность использования данных несинусоидальности напряжения, полученных с приборов учета для контроля и регулирования режимов работы на потери мощности, и надежность электрооборудования в распределительных сетях. (Материалы и методы) Провели измерения измерительным комплексом «Ресурс-UF2M», который позволяет измерение и регистрацию показателей электроэнергии, регламентируемых ГОСТ 32144-2013. (Результаты и обсуждение) Показали, что вопрос влияния несинусоидальности напряжения на протяженные сети 0,4 киловольт в России актуален. Выяснили, что во многих индустриально развитых странах на сеть воздействуют мощные нелинейные нагрузки, которые искажают форму кривых тока и напряжения в электрических сетях; подключение таких нагрузок допускается лишь с соблюдением требований по обеспечению качества электрической энергии, для этого имеются в наличии соответствующие корректирующие устройства. Отметили, что при этом суммарная мощность вновь вводимой нелинейной нагрузки не должна превышать 3-5 процентов от мощности всей нагрузки энергокомпании. Указали, что противоположная картина наблюдается в Российской Федерации, где такие потребители подключаются довольно беспорядочно. Установили, что выдача технических условий на подключение в основной массе случаев имеет формальный характер из-за отсутствия стандартных способов и массовых сертифицированных устройств; отказ от фильтрокомпенсирующих, симметрирующих, многофункциональных оптимизирующих устройств приводит к ухудшению качества электроэнергии. (Выводы) Выявили, что при превышении мощности нелинейных потребителей следует ожидать появления различных проблем в эксплуатации и последствий, причины которых неочевидны. Определили, что в распределительных сетях низкого напряжения, питающих сельских потребителей, имеющих долю нелинейной нагрузки свыше 25 процентов, отдельные проблемы могут проявиться сразу.*
Ключевые слова: *несинусоидальность напряжения, потери электрической энергии, эффективность производства, методы, параметры электрической сети.*

Для цитирования: Кудряшев Г.С., Третьяков А.Н. Представление результатов опроса приборов учета электроэнергии в распределительных сетях сельских потребителей // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 9-13. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-9-13. EDN CBRWNB.

Presentation of the Surveys of Electricity Meters in the Distribution Grids of Rural Consumers

Gennadiy S. Kudryashev,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Aleksandr N. Tretyakov,
Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: tretyakov_alex@mail.ru

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russian Federation

Abstract. *The most common electric loads at enterprises, including agricultural ones, are electric motors and lighting installations. In addition, electrothermal installations and semiconductor converters of alternating current into direct current are also used. Electric motors are usually three-phase, they create higher harmonics and voltage fluctuations at the start-up. (Research purpose) The research purpose is evaluating the possibility of using data of voltage non-sinusoidality obtained from metering devices for monitoring and managing for power losses, and the reliability of electrical equipment in distribution grids. (Materials and methods) The measuring complex «Resource-UF2M», which allows the measurement and registration of electricity parameters established by GOST 32144-2013, was used to carry out the measurements. (Results and discussion) The issue of the influence of non-sinusoidal voltage on long grids of 0.4 kilovolts in Russia is relevant. In many industrially developed countries, the network is affected by powerful nonlinear loads that distort the shape of current and voltage curves in electrical grids; the connection of such loads is allowed only in compliance with the requirements for ensuring the quality of electrical energy, for this purpose appropriate corrective devices are used. At the same time, the total capacity of the newly introduced nonlinear load should not exceed 3-5 percent of the capacity of the entire power company. The opposite picture is observed in the Russian Federation, where such consumers are connected rather randomly. The issuance of technical requirements for connection in most cases has a formal character due to the lack of standard methods and mass certified devices; the rejection of filter-compensating, symmetrical, multifunctional optimizing devices leads to a deterioration in the quality of electrical energy. (Conclusions) When the power of non-linear consumers is exceeded, various problems in operation and consequences should be expected, the causes of which are not obvious. In low-voltage distribution grids supplying rural consumers with a non-linear load share of more than 25 percent, individual problems can manifest themselves immediately.*

Keywords: *non-sinusoidal voltage, loss of electrical energy, production efficiency, methods, parameters of the electrical network.*

For citation: Kudryashev G.S., Tretyakov A.N. Predstavlenie rezul'tatov oprosa priborov ucheta elektroenergii v raspredelitel'nykh setyakh sel'skikh potrebiteley [Presentation of the surveys of electricity meters in the distribution networks of rural consumers]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 9-13 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-9-13. EDN CBRWNB.

Суммарный коэффициент гармонических составляющих в соответствии с ГОСТ 32144 определяется по формуле:

$$Ku = \frac{\sqrt{\Sigma_{n=2}^{40} \cdot U_n^2}}{U_1} \cdot 100\% .$$

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения *Ku*, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в ГОСТ, в течение 95% времени интервала в одну неделю [1, 2].

Данный подход к установлению параметров несинусоидальности в распределительных сетях не позволяет проводить анализ критических значений, влияющих на работу электрооборудования. Кроме того, сложно контролировать изменения каждого параметра всех высших гармоник в сети.

В современных энергосистемах для выявления энергопотребления потребителей установлены *smart*-счетчики. Эти приборы дают возможность передавать показания электропотребления на пульт оператору. У таких счетчиков, помимо основных функций, есть возможность определения показателей качества электроэнергии (ПКЭ), основных параметров сети.

Цель исследования – оценить возможность использования данных несинусоидальности напряжения, полученных с приборов учета для контроля и регулирования режимов работы на потери мощности, и надежность электрооборудования в распределительных сетях.

Материалы и методы. Измерения провели измерительным комплексом «*Ресурс-UF2M*», который позволяет измерение и регистрацию показателей электроэнергии, регламентируемых ГОСТ 32144-2013:

- измерение и регистрацию основных параметров в однофазных и трехфазных электрических сетях (действующих значений напряжений и токов при синусоидальном и нелинейных режимах работы, всех мощностей);
- суммарный коэффициент гармонических составляющих тока и напряжения;
- коэффициентов *n*-й гармонической составляющей напряжения (*n* от 2 до 40).

Результаты измерения параметров на комплектных трансформаторных подстанциях (КТП) получены со счетчиков РиМ 489.03.

Результаты и обсуждение. В качестве примера рассмотрели значения параметров сети, скаченные

со счетчика на КТП, расположенного в пос. Дзержинск и пос. Хомутово Иркутского района.

В настоящее время контроль осуществляется только по уровню напряжения (*рис. 1, 2*), параметры несинусоидальности напряжения в распределительной сети не контролируются [3].

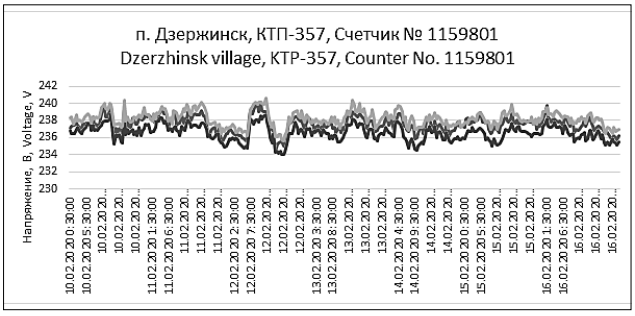


Рис. 1. Параметры напряжения на электроприемнике
Fig. 1. Voltage parameters for electric loads

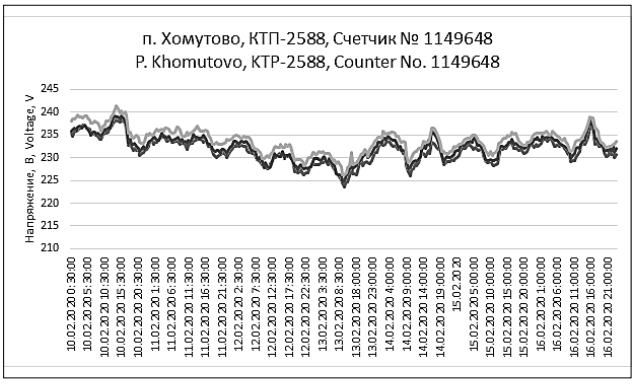


Рис. 2. Параметры напряжения на электроприемнике
Fig. 2. Voltage parameters for electric loads

В распределительных сетях в основном завышенное напряжение на шинах КТП. Поддержание таких величин напряжения связано со значительным увеличением нагрузки на сеть в зимний период времени. Летом регулирование напряжения не происходит [4, 5].

ГОСТом регламентированы нормированные значения параметров качества электроэнергии. Для несинусоидальности напряжения эти пределы достаточно широкие в распределительных сетях низкого напряжения (*табл. 1*).

Table 1 *Таблица 1*

Значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения
Values of the distortion coefficient of the sinusoidal voltage curve

$U_н$, кВ U_n, kV	Предельно допустимые значения *Ku* при $U_н$, кВ Absolute maximum values of *Ku* at U_n, kV
0,38	8,0
6-20	5,0

В сети 0,38 кВ ГОСТом разрешено значение *Ku* до 8%. В действительности даже значение суммарного коэффициента гармонических составляющих 2% негативно влияет на работу электрооборудования [6-10].

На *рисунках 3*, *4* приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных на КТП, питающем сельских потребителей в пос. Хомутово. На всех КТП установлены *smart*-счетчики, которые собирают информацию по каждому потребителю в данном населенном пункте.

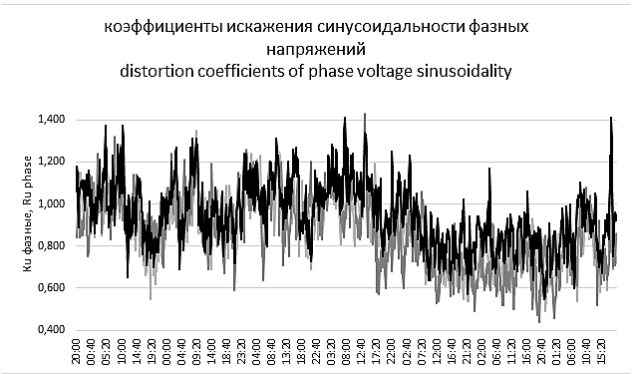


Рис. 3. Графики коэффициентов искажения синусоидальности фазных напряжений
Fig. 3. Sinusoidal distortion coefficients of phase voltages

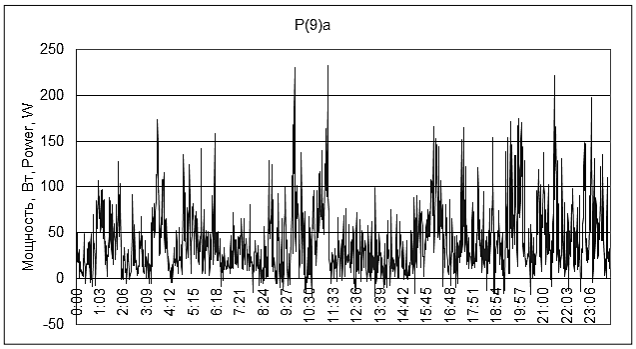


Рис. 4. Мощность девятой гармоники в фазе А
Fig. 4. Power of the ninth harmonic in phase A

Исходные данные, полученные с приборов учета, и анализ результатов измерений позволяют представить информацию в виде, удобном оператору для принятия решения по контролю ПКЭ (*табл. 2*).

Table 2 *Таблица 2*

Представление результатов анализа измерений
Presentation of measurement analysis results

Отклонение напряжения ΔU, В Voltage deviation ΔU, V	*Ku*, %	Максимальное значение *Ku*, %, за сутки Maximum *Ku*, %, per day

Зная параметры на источнике питания, возможно оперативное реагирование и планирование режимов энергоснабжения потребителей.

Выводы. Сетевым организациям, имеющим в своем оснащении смарт-приборы, необходимо эффективно использовать их для контроля и анализа ПКЭ. Информация по несинусоидальным режимам позволит повысить уровень надежности системы, снизить потери мощности и выход электрооборудования из строя.

Библиографический список

1. Батищев С.В., Кудряшев Г.С., Третьяков А.Н. Применение инноваций в решении вопросов энергосбережения на предприятиях АПК // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. N1(16). С. 66-68.
2. Кудряшев Г.С., Третьяков А.Н., Батищев С.В. Снижение энергоемкости на предприятиях АПК на примере СХ ОАО «Белореченское» // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2018. N2(27). С. 127-131.
3. Кудряшев Г.С., Третьяков А.Н., Шпак О.Н. Комплексный подход при ресурсоэнергосбережении на предприятии АПК Иркутской области // *Вестник ИрГСХА*. 2016. N73. С. 135-140.
4. Кудряшев Г.С., Третьяков А.Н., Шпак О.Н. и др. Потери электрической энергии в сетях 0,38 кВ, питающих сельскохозяйственную нагрузку // *Актуальные вопросы аграрной науки*. 2020. N34. С. 19-27.
5. Кудряшев Г.С., Третьяков А.Н., Рахмет Х. Инновации при снижении энергоемкости на предприятиях АПК на примере СХ ОАО «Белореченское» // *Mongolian journal of agricultural sciences*. 2015. N2. 39-42.
6. Кудряшев Г.С., Третьяков А.Н., Шпак О.Н. Влияние потерь электроэнергии на надежность электрооборудования в сельской электросети 0,4 кВ // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2021. Т. 68. N1(42). С. 34-38.
7. Шабалин А.И. Влияние несинусоидальности и несимметрии напряжения на протяженные сети 0,4 кВ // *Молодой ученый*. 2020. N20(310). С. 159-161.
8. Васильев А.Н., Дорохов А.С., Ершова И.Г. и др. Методология исследования энергосберегающих технологических систем обработки сельхозпродукции как объектов управления // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 12. N4(63). С. 86-104.
9. Vasil'yev A.N., Dorokhov A.S., Budnikov D.A., Vasil'yev A.A. Trends in the use of the microwave field in the technological processes of drying and disinfection of grain. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020. 51. N3. 63-68.
10. Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Vasiliev A.N., Dorokhov A.S., et al. Place Selection of Sectionalizing Units in 0.38 kV Power Networks: A Methodology for Protection Against Short Circuits. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2021. Vol. 10. N4. 35-52.

References

1. Batishchev S.V., Kudryashev G.S., Tret'yakov A.N. Primeneniye innovatsiy v reshenii voprosov energosberezheniya na predpriyatiyakh APK [Innovations in solving energy saving issues at agricultural enterprises]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2016. N1(16). 66-68 (In Russian).
2. Kudryashev G.S., Tret'yakov A.N., Batishchev S.V. Snizhenie energoemkosti na predpriyatiyakh APK na primere SKh OAO «Belorechenskoe» [Reduction of energy intensity at agricultural enterprises on the example of the JSC Belorechenskoye]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2018. N2(27). 127-131 (In Russian).
3. Kudryashev G.S., Tret'yakov A.N., Shpak O.N. Kompleksnyy podkhod pri resursoenergosberezhenii na predpriyatii APK Irkutskoy oblasti [An integrated approach to resource and energy saving at the agro-industrial complex of the Irkutsk region]. *Vestnik IrGSKhA*. 2016. N73. 135-140 (In Russian).
4. Kudryashev G.S., Tret'yakov A.N., Shpak O.N., et al. Poteri elektricheskoy energii v setyakh 0,38 kV, pitayushchikh sel'skokhozyaystvennuyu nagruzku [Electrical energy losses in 0.38 kV grids feeding agricultural load]. *Aktual'nye voprosy agrarnoy nauki*. 2020. N34. 19-27 (In Russian).
5. Kudryashev G.S., Tret'yakov A.N., Rakhmet Kh. Innovatsii pri snizhenii energoemkosti na predpriyatiyakh APK na primere SKh OAO «Belorechenskoe» [Innovations in reducing energy intensity at agro-industrial enterprises on the example of the JSC Belorechenskoe]. *Mongolian journal of agricultural sciences*. 2015. N2. 39-42 (In Russian).
6. Kudryashev G.S., Tret'yakov A.N., Shpak O.N. Vliyanie poter' elektroenergii na nadezhnost' elektrooborudovaniya v sel'skoy elektroseti 0,4 kV [The impact of electricity losses on the reliability of electrical equipment in the rural power grid 0.4 kV]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2021. Vol. 68. N1(42). 34-38 (In Russian).
7. Shabalin A.I. Vliyanie nesinusoidal'nosti i nesimmetrii napryazheniya na protyazhennye seti 0,4 kV [Influence of non-sinusoidality and voltage asymmetry on long 0.4 kV grids]. *Molodoy uchenyy*. 2020. N20(310). 159-161 (In Russian).
8. Vasil'ev A.N., Dorokhov A.S., Ershova I.G., et al. Metodologiya issledovaniya energosberegayushchikh tekhnologicheskikh sistem obrabotki sel'khozproduktsii kak obektov upravleniya [Methodology of research of energy-saving technological systems of processing of agricultural products as objects of management]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. Vol. 12. N4(63). 86-104 (In Russian).
9. Vasil'yev A.N., Dorokhov A.S., Budnikov D.A., Vasil'yev A.A. Trends in the use of the microwave field in the technological processes of drying and disinfection of grain. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Afri-*

ca and Latin America. 2020. 51. N3. 63-68.
10. Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Vasiliev A.N., Dorokhov A.S., et al. Place Selection of Sectionalizing Units in 0.38 kV Power Networks: A Methodology for Protection Against Short Circuits. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2021. Vol. 10. N4. 35-52.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Кудряшев Г.С. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, разработка теоретических предпосылок, доработка текста;

Третьяков А.Н. – подготовка начального варианта статьи, проведение мониторинга надежности зерноуборочных комбайнов, обработка результатов исследований, визуализация, формирование общих выводов и литературный анализ.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Kudryashev G.S. – scientific guidance, describing the main research directions, development of theoretical prerequisites, revision of the manuscript;

Tretyakov A.N. – writing the initial draft, monitoring the reliability of combine harvesters, processing of research results, visualization, writing general conclusions and literary analysis.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 21.04.2022
Статья принята к публикации 23.08.2022

УДК 631.644 (cc) BY DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-14-19

Инженерный метод расчета лучистого теплообмена в установках с коаксиально расположенными цилиндрическими поверхностями

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

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Теплообменные аппараты при нагреве жидкостных сред находят применение в сельскохозяйственной, пищевой и других отраслях промышленности. Наиболее эффективным и энергетически выгодным способом термообработки сельхозпродукции представляется инфракрасный нагрев. При воздействии инфракрасного излучения обеспечивается передача энергии непосредственно от источника излучения к жидкости при отсутствии контакта между ними. Плотность теплового потока на поверхности материала значительно больше, чем при конвективном и кондуктивном нагреве. Инфракрасное излучение проникает на некоторую глубину, что исключает местный перегрев и нежелательные структурные изменения поверхностного слоя (разложение и пригорание жидкости). Наиболее целесообразно инфракрасным облучением осуществлять сквозной нагрев продукта в тонком слое, при таком способе нагрева обрабатывается вся порция жидкости. Аппараты с тонкослойным течением жидкости могут быть выполнены по различным схемам в зависимости от расположения источника энергии и его формы. Большинство установок имеют схожую геометрическую конструкцию: два коаксиально расположенных цилиндра, из которых один – излучатель, а другой – нагреваемый жидкий продукт. (Цель исследования) Разработать инженерный метод расчета теплоэнергетических и геометрических параметров установок для обработки жидкостей инфракрасным облучением тонкого слоя с коаксиально расположенными цилиндрическими поверхностями. (Материалы и методы) Рассмотрели процесс радиационного теплообмена между излучателем и потоком жидкости, протекающим тонким слоем по внутренней поверхности. (Результаты и обсуждение) Определили выражение, представляющее зависимость физических характеристик системы: производительности установки, температуры поверхности излучателя, начальной температуры жидкого продукта, оптических характеристик излучателя и обрабатываемой жидкости, температуры нагрева жидкости на выходе и геометрических параметров установки с коаксиально расположенными цилиндрическими поверхностями. (Выводы) Установили, что приведенные инженерные методы расчета отображают предельные возможные условия лучистого обмена в теплообменных установках подобного типа конструкции для термообработки сельхозпродукции. Выявили, что теоретическое расхождение расчетных энергетических и конструкционных параметров проектируемой установки при использовании рассмотренных методов не превышает 10 процентов.*

Ключевые слова: *тонкий слой, модель, угловой коэффициент, коаксиальные цилиндры, инфракрасное излучение, температура.*

Для цитирования: Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Хименко А.В. Инженерный метод расчета лучистого теплообмена в установках с коаксиально расположенными цилиндрическими поверхностями // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 14-19. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-14-19. EDN GVDVBS.

A method for calculating radiant heat transfer in installations with axial cylindrical surfaces

Aleksey V. Kuzmichev,
researcher, e-mail: alkumkuzm@mail.ru;
Dmitriy A. Tikhomirov,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;

Aleksey V. Khimenko,
Ph.D.(Eng.), senior researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Heat exchangers for heating liquid media are used in agricultural, food and other industries. Infrared heating appears to be the most effective and energy-efficient way of thermo-processing of agricultural products. When exposed to infrared radiation, energy transfers directly from the radiation source to the liquid in the absence of contact between them. The density of the heat flux on the surface of the material is significantly higher than with convective and conductive heating. Infrared radiation penetrates into material, which eliminates local overheating and undesirable structural changes of the surface layer (decomposition and burning of the liquid). It is appropriate to carry heating of the product in a thin layer by infrared irradiation, when the entire portion of the liquid is processed. Devices with thin-layer fluid flow can be made according to various schemes depending on the location of the energy source and its shape. Most installations have a similar geometric design: two axial cylinders, one of which is an emitter and the other is a heated liquid product. (Research purpose) The research purpose is developing an engineering method for calculating thermal and geometric parameters of installations for the treatment of a thin layer of liquids by infrared irradiation with axial cylindrical surfaces. (Materials and methods) The article presents the process of radiation heat exchange between the radiator and the liquid flow in a thin layer along the inner surface. (Results and discussion) An equation describes the physical characteristics of the system: the performance, the radiator surface temperature, the initial temperature of the liquid product, the optical characteristics of the radiator and the treated liquid, the liquid heating temperature at the output and the geometric parameters of the installation with axial cylindrical surfaces. (Conclusions) The presented engineering calculation methods reflect the maximum possible conditions of radiant exchange in heat exchange units of this type for heat treatment of agricultural products. The theoretical error of the calculated energy and structural parameters of the designed installation when using the considered methods does not exceed 10 percent.*

Keywords: *thin layer, model, angular coefficient, axial cylinders, infrared radiation, temperature.*

For citation: Kuzmichev A.V., Tikhomirov D.A., Khimenko A.V. Inzhenernyy metod rascheta luchistogo teploobmena v ustanovkakh s koaksial'no raspolozhennymi tsilindricheskimi poverkhnostyami [A method for calculating radiant heat transfer in installations with axial cylindrical surfaces]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 14-19 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-14-19. EDN GVDVBS.

Эффективным и энергетически выгодным способом термообработки жидких продуктов сельхозпроизводства служит применение инфракрасного (ИК) излучения. Интерес к такому виду воздействия на компоненты и микрофлору пищевых продуктов обусловлен перспективой их направленного использования для углубленного регулирования свойств и бактериальной чистоты получаемых продуктов [1-3]. Наиболее целесообразно ИК-излучение применять для поверхностного или сквозного нагрева продукта в тонком слое (пастеризация молока, соков и других продуктов).

Аппараты с тонкослойным течением жидкости могут быть выполнены по различным схемам в зависимости от расположения источника энергии и его формы. Большинство установок имеют схожую геометрическую конструкцию: два коаксиально расположенных цилиндра, из которых один – излучатель, а другой – нагреваемый жидкий продукт.

Математическое описание ИК-взаимодействия в аппаратах с тонкослойным течением жидкости – необходимое условие моделирования или масштабирования процесса для оптимизации и контроля условий режимов работы, обоснования параметров энергоэффективных технических средств [4].

Разработка инженерного метода расчета лучистого теплообмена в установках с коаксиально расположенными цилиндрическими поверхностями – актуальная задача при проектировании ИК-установок для термообработки жидких продуктов сельскохозяйственного производства [5].

Цель исследования – разработать инженерный метод расчета теплоэнергетических и геометрических параметров установок для обработки жидкостей ИК-облучением тонкого слоя с коаксиально расположенными цилиндрическими поверхностями.

Материалы и методы. Рассмотрели процесс радиационного теплообмена между излучателем и потоком жидкости, протекающим тонким слоем по внутренней поверхности цилиндра. Считаем, что внешняя стенка цилиндра теплоизолированная, то

есть отсутствуют тепловые потери во внешнее пространство, таким образом потери тепла от жидкости к наружной цилиндрической стенке пренебрежительно малы. Градиент температур при теплопередаче теплопроводностью в радиальном и осевом направлении потока жидкости не учитываем. Приняли также одномерное распределение температуры в направлении движения потока жидкости. Эти ограничения можно интерпретировать следующим образом, поскольку лучистая энергия поглощается слоем жидкости, в идеальном случае всем слоем, а выравнивание температуры в радиальном направлении происходит за счет турбулентного движения жидкости, то введение этих ограничений упрощает описание процесса теплообмена, не внося серьезных погрешностей в математическое описание принятой физической модели.

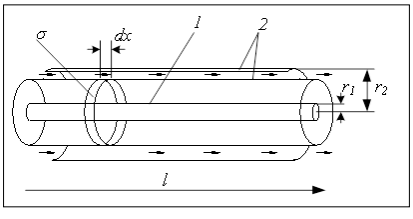


Рис. 1. Физическая модель лучистого теплообмена между потоком жидкости и излучателем с коаксиально расположенными цилиндрическими поверхностями: 1 – излучающая поверхность $F_{изл}$; 2 – поверхности, ограничивающие слой жидкости

Fig. 1. Physical model of radiant heat exchange between a liquid flow and an emitter with axial cylindrical surfaces: 1 – radiating surface $F_{изл}$; 2 – surfaces bounding the liquid layer

Для элемента поверхности длиной dx уравнение теплового баланса, описывающее изменение температуры протекающей жидкости за время $d\tau$, имеет вид (*рис. 1*):

$$cF_{ж}\rho_{ж}dxdT_{ж} = q(x)\sigma d\tau, \quad (1)$$

где c – теплоемкость жидкости, Дж/кг°С; $F_{ж}$ – площадь сечения слоя жидкости, м^2; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м^3; $T_{ж}$ – температура жидкости, °С; $q(x)$ – воспринимаемый лучистый поток от излучателя в направлении элемента поверхности σ длиной dx, Вт/м^2; τ – время, с.

Принимая во внимание, что скорость движения жидкости в кольцевом зазоре $v_{ж} = G/F_{ж}$ и $v_{ж} = dx/d\tau$, получаем:

$$cGdT_{ж} = q(x)\sigma, \quad (1a)$$

где G – расход жидкости кг/с; σ – воспринимающая поверхность длиной dx, м^2.

Лучистая энергия, воспринимаемая элементом поверхности σ:

$$q(x) = \varepsilon_1 C_s \varphi_{изл-\sigma} F_{изл}(T_{изл}/100)^4 - \\ - \varepsilon_2 C_0 \varphi_{\sigma-изл}\sigma(T_{ж}(x)/100)^4, \quad (2)$$

где $\varphi_{изл-\sigma}$ – угловой коэффициент между излучающей поверхностью излучателя $F_{изл}$ и поверхностью жидкости σ; $T_{изл}$ – температура излучателя, К; C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела (5,76 Вт/м$^2K^4$); ε_1, ε_2 – степень черноты излучающего тела и жидкости.

Для большинства технических материалов и жидкостных сред поглощательная способность достаточно велика (0,8-0,9), тогда можно ограничиться учетом первого поглощения [6]. С учетом выражения (1а) и соотношения $\varphi_{изл-\sigma}F_{изл} = \varphi_{\sigma-изл}\sigma$ при $\varepsilon_{пр} = \varepsilon_1\varepsilon_2$, получим дифференциальное уравнение с разделяющими переменными:

$$cGdT_{ж}/((T_{изл}/100)^4 - (T_{ж}(x)/100)^4) = \varepsilon_{пр}C_s\varphi_{\sigma-изл}\sigma. \quad (3)$$

Введем в уравнение (3) переменную $\upsilon = T_{ж}/T_{изл}$. В итоге получим:

$$\frac{cG}{\varepsilon_{пр}C_0T_{изл}^3}\frac{d\upsilon}{1-\upsilon^4} = \varphi_{\sigma-изл}\sigma. \quad (4)$$

Соотношение между угловыми коэффициентами воспринимающей элементарной площадки σ поверхности A и излучающей $F_{изл}$ имеет вид [7]:

$$\int_A \varphi_{\sigma-изл}dF_2 = \varphi_{изл-А}F_{изл}, \quad (5)$$

где $\sigma = dF_2$; F_2 – площадь воспринимающей поверхности A, м^2; $F_{изл}$ – площадь излучающей поверхности, м^2.

В результате преобразований имеем:

$$\varphi_{изл-А} = 1 - \frac{1}{\pi}\{arccos\frac{B}{A} - \\ - \frac{1}{2L}[\sqrt{(A+2)^2-(2R)^2}\arccos\left(\frac{B}{RA}\right) + \\ + \arcsin\left(\frac{1}{R}\right) - \frac{\pi A}{2}]\}, \quad (6)$$

где с учетом данных справочника (Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.И. Теплообмен излучением. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1979) и в соответствии с *рисунком 1*: $F_{изл} = 2\pi r_2 l$; $R = r_2/r_1$; $L = l/r_1$; $A = L^2 + R^2 - 1$; $B = L^2 - R^2 + 1$; r_2 – радиус воспринимающей поверхности, м; r_1 – радиус излучающей поверхности, м; l – длина излучателя, м.

Для соотношения $1/1-\upsilon^4$ имеет место разложение: $1/(1-\vartheta^4) = \sum_0^n \vartheta^{4n}$.

Интегрируя $1/1-\upsilon^4$ по переменной υ в интервале $\upsilon_0 = T_0/T_{изл} \ldots \upsilon = T/T_{изл}$, получаем ряд:

$$R_n = \int_{\vartheta_0}^{\vartheta}\frac{d\vartheta}{1-\vartheta^4} = \sum_0^n \frac{\vartheta^{4n+1}-\vartheta_0^{4n+1}}{4n+1} = \\ = \frac{\Delta}{T_{изл}}(1 + \sum_1^n \frac{\sum_{k=0}^{k=4n}\vartheta^{4n-k}\vartheta_0^k}{4n+1}), \quad (7)$$

где T_0 – температура жидкости на входе, К; T – температура жидкости на выходе, К; $T_{изл}$ – температура излучателя, К.

В итоге после ряда преобразований получаем выражение:

$$cG\Delta\left(1+\sum_1^n\frac{\sum_{k=0}^{k=4n}\vartheta^{4n-k}\vartheta_0^k}{4n+1}\right)\frac{1}{k_\varphi}=\varepsilon_{\text{пр}}P_{\text{изл}}, \quad (8)$$

где $\Delta = T - T_0$ – степень перегрева жидкости, °С; $k_\varphi = \varphi_{\text{изл–А}}$; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты системы излучающих поверхностей; $P_{\text{изл}} = 2\pi r_1 l C_0 \text{T}^4_{\text{изл}}$ – мощность излучения черного тела, Вт.

Величина остаточного члена ряда R_n (формула (7)) определяется из соотношений:

$$r_n = r_n(\theta) = \int_{\upsilon_0}^{\upsilon}\frac{\upsilon^{4n}}{1-\upsilon^n}d\nu =$$
$$= \frac{1}{1-(\Theta\upsilon)^4}\int_{\upsilon_0}^{\upsilon}\upsilon^{4n}d\nu < \frac{1}{1-(\Theta\upsilon)^4}\frac{\upsilon^{4n+1}}{4n+1}, \quad (9)$$

где $\upsilon 0 < \Theta\upsilon < \upsilon$, $0 < \Theta < 1$.

Относительная погрешность расчета устанавливается соотношением:

$$\varepsilon < \frac{\upsilon^{4n+1}}{4n+1}. \quad (10)$$

На *рисунке 2* приведена зависимость относительной погрешности приближения от количества n первых членов ряда R_n, характеризующая точность выполнения расчета.

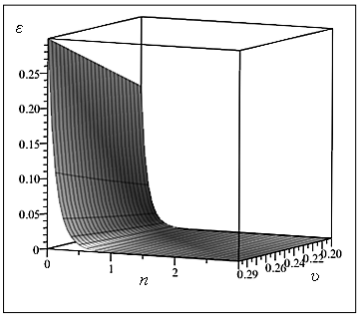


Рис. 2. Относительная погрешность приближения: n – число первых членов ряда в разложении (7); υ – относительная температура жидкости на выходе
Fig. 2. Relative approximation error: n – number of the first terms of the series in the decomposition (7); υ – relative temperature of the liquid at the output

В соответствии с графиком (*рис. 2*) при $n = 1$ погрешность вычисления не превышает 1%.

Полагая, что $k_1 = 1 + \frac{\sum_{k=0}^{4}\vartheta^{4-k}\vartheta_0^k}{5}$ расчетное выражение (8) может быть представлено в следующем виде:

$$cG\Delta = \varepsilon_{\text{пр1}}P_{\text{изл}}/(1+k_1), \quad (11)$$

где $\varepsilon_{\text{пр1}}$ – приведенная степень черноты, $\varepsilon_{\text{пр1}} = \varepsilon_1\varepsilon_2\varphi_{\text{изл–А}}$; $P_{\text{изл}}$ – мощность излучателя, Вт; k_1 – поправочная величина от первого члена разложения ряда R_n. Зависимость величины поправочного коэффициента k_1 от температуры излучателя $t_{\text{изл}}$ ($T_{\text{изл}}$), °С, и температуры жидкости на входе t_0 (T_0), °С, приведена на *рисунке 3*.

Результаты и обсуждение. Получили соотношение (11), устанавливающее связь между производительностью установки G, температурой поверхности излучателя $T_{\text{изл}}$ и его мощностью $P_{\text{изл}}$, начальной температуры жидкого продукта T_0, оптических характеристик излучателя и обрабатываемой жидкости (физические свойства обрабатываемой жидкости), величиной температуры перегрева жидкости Δ на выходе из установки.

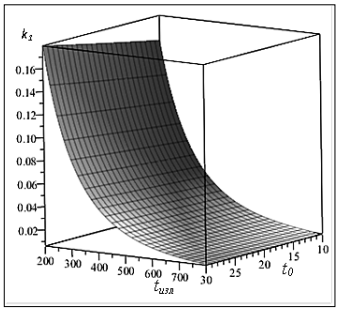


Рис. 3. Зависимость поправочного коэффициента k_1 от температуры излучателя $t_{\text{изл}}$ ($T_{\text{изл}}$), °С, и температуры жидкости на входе t_0 (T_0), °С
Fig. 3. The dependence of the correction factor k_1 on the temperature of the radiator $t_{\text{изл}}$ ($T_{\text{изл}}$), °С, and the temperature of the liquid t_0 (T_0), °С at the input

Полученный результат также – следствие наиболее общих феноменологических положений термодинамики.

Энтропия – экстенсивная величина, при этом полная энтропия системы, состоящая из нескольких частей, равна сумме энтропий этих частей. Изменение энтропии в локальной области системы разлагается на производство энтропии, вызванное изменениями внутри локальной области, и потоком энтропии, возникающей за счет взаимодействия с остальными частями системы.

В равновесном состоянии для потока энтропии имеем:

$$S = \int s_\text{n} dF_{\text{изл}}, \quad (12)$$

где s_n – компонента потока энтропии по внешней нормали относительно ограничивающей поверхности $F_{\text{изл}}$ локальной излучающей области.

Удельный поток энтропии s_n с поверхности $dF_{\text{изл}}$ пропорционален третьей степени абсолютной температуры излучающего тела $s_\text{n} \sim C_0 T^3$ или $s_\text{n} = K_\text{i} C_0 T^3$.

Основываясь на ключевом определении классической термодинамики $S = \Delta Q/T$, в результате приходим к аналогичному выражению, полученному ранее:

$$K_\text{i} C_0 T^4 F_{\text{изл}} = cG\Delta t, \quad (13)$$

где коэффициент K_i – безразмерная величина, интерпретируемая как комплексная величина, включающая оптические характеристики системы лучисто взаимодействующих поверхностей, их геометрии.

В нашем представлении в соответствии с формулой (11) величина K_i определяется:

$$K_i = \varepsilon_1\varepsilon_2\varphi_{1-2}/(1+k_1) \quad (14)$$

и представляет первый метод расчета.

Возможна и иная трактовка исходной модели (11) [8]. Приведенный коэффициент лучистого теплообмена в системе изотермических замкнутых диффузно-серых поверхностей, состоящей из двух коаксиальных цилиндров, имеет вид:

$$\varepsilon_{\text{пр2}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{d_1}{d_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2}-1\right)}. \quad (15)$$

Величина K_i в этом случае определяется по формуле (16) и представляет второй метод расчета:

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{d_1}{d_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2}-1\right)}/(1+k_1), \quad (16)$$

где ε_1 – степень черноты поверхности излучателя; ε_2 – степень черноты жидкости; d_1 – наружный диаметр излучателя, м; d_2 – внутренний диаметр цилиндрической поверхности, по которому протекает жидкость, м.

Расчет коэффициента K_i возможен по любому из представленных методов. Рассмотренные варианты отображают совокупность возможных условий лучистого обмена в теплообменных установках подобного типа конструкции при коаксиальном расположении излучателя и тепловоспринимающей поверхности. Подобного вида конструкции имеют различного рода пастеризаторы молока, соков и других сельскохозяйственных продуктов [9, 10].

На *рисунке 4* показана зависимость, отображающая расхождение рассмотренных методов расчета.

В качестве характеристической функции, отражающей величину расхождения полученных результатов, принято отношение:

$$K_{\text{orr}} = \varepsilon_{\text{пр1}}/\varepsilon_{\text{пр2}};\ \varepsilon_{\text{пр1}} = \varepsilon_1\varepsilon_2\varphi_{1-2}. \quad (17)$$

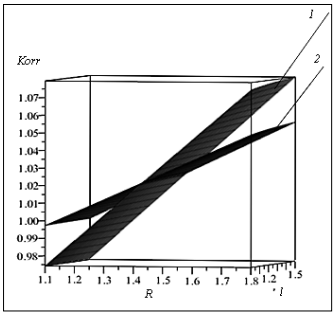


Рис. 4. Характеристическая функция: 1 – при ε_1 = 0,8 и ε_2 = 0,8; 2 – при ε_1 = 0,9 и ε_2 = 0,9; *l* – длина излучателя, м; $R = r_2/r_1$

Fig. 4. Characteristic function: 1 –ε_1 = 0.8 and ε_2 = 0.8; 2 – ε_1 = 0.9 and ε_2 = 0.9; *l* – length of the radiator, m; $R = r_2/r_1$

Выводы. Получили выражение, представляющее зависимость физических характеристик: производительности установки, температуры поверхности излучателя, начальной температуры жидкого продукта, оптических характеристик излучателя и обрабатываемой жидкости, температуры нагрева жидкости на выходе и геометрических параметров установки с коаксиально расположенными цилиндрическими поверхностями, при этом системная относительная погрешность расчета не превышает 1%.

Установили, что приведенные инженерные методы расчета отображают предельные возможные условия лучистого обмена в теплообменных установках подобного типа конструкции для термообработки сельхозпродукции.

Определили, что теоретическое расхождение расчетных энергетических и конструкционных параметров проектируемой установки при использовании рассмотренных методов не превышает 10%.

Библиографический список

1. Kuzmichyov A.V., Malyshev V.V., Tikhomirov D.A. Efficiency of the combined pasteurisation of milk using UV and IR irradiation. *Light and Engineering*. 2011. Vol. 19. Iss. 1. 74-78.
2. Gousia G., Tahiya Q., Qudsiya A. Infrared Heating of Foods-A Review. *International Journal of Research and Engineering*. 2018. Vol. 07. Iss. 04. 845-864.
3. Yadav G., Sood M., Anjum N., et al. Infrared heating and its application in food processing. *The Pharma Innovation Journal*. 2020. Vol. 9. Iss. 2. 142-151.
4. Inyang U.E., Oboh I.O., Etuk B.R. Kinetic Models for Drying Techniques – Food Materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*. 2018. Vol. 08. Iss. 02. 27-48.
5. Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А. Модульная установка с использованием ИК- и УФ-облучателей // *Вестник ВИЭСХ*. 2015. N3(20). С. 38-43.
6. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия. 1977. 343 с.
7. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. М.: Мир. 1975. 934 с.
8. Тихомиров Д.А., Кузьмичев А.В. Расчет камеры пастеризации электрической установки для термообработки жидких продуктов // *Техника и оборудование для села*. 2014. N7. С. 21-24.
9. Кузьмичев А.В., Малышев В.В., Тихомиров Д.А. Эффективность комбинированной пастеризации молока УФ и ИК облучением // *Светотехника*. 2010. N5. С. 6-9.
10. Tikhomirov D., Izmailov A., Lobachevsky Ya., et al. Energy consumption optimization in agriculture and development perspectives. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2020. Vol. 9. Iss. 4. 1-19.

References

1. Kuzmichyov A.V., Malyshev V.V., Tikhomirov D.A. Efficiency of the combined pasteurisation of milk using UV and IR irradiation. *Light and Engineering.* 2011. Vol. 19. Iss. 1. 74-78.
2. Gousia G., Tahiya Q., Qudsiya A. Infrared Heating of Foods-A Re-view. *International Journal of Research and Engineering.* 2018. Vol. 07. Iss. 04. 845-864.
3. Yadav G., Sood M., Anjum N., et al. Infrared heating and its applica-tion in food processing. *The Pharma Innovation Journal*. 2020. Vol. 9. Iss. 2. 142-151.
4. Inyang U.E., Oboh I.O., Etuk B.R. Kinetic Models for Drying Tech-niques – Food Materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*. 2018. Vol. 08. Iss. 02. 27-48.
5. Kuz'michev A.V., Tikhomirov D.A. Modul'naya ustanovka s ispol'zovaniem IK- i UF- obluchateley [Modular installation using IR and UV irradiators]. *Vestnik VIESH*. 2015. N3(20). 38-43 (In Russian).
6. Mikheev M.A., Mikheeva I.M. Osnovy teploperedachi [Basics of heat transfer]. Moscow: Energiya. 1977. 343 (In Russian).
7. Zigel' R., Khauell Dzh. Teploobmen izlucheniem [Radiation heat exchange]. Moscow: Mir. 1975. 934 (In Russian).
8. Tikhomirov D.A., Kuz'michev A.V. Raschet kamery pasterizatsii elektricheskoy ustanovki dlya termoobrabotki zhidkikh produktov [Calculation of the pasteurization chamber of an electrical installation for heat treatment of liquid products]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2014. N7. 21-24 (In Russian).
9. Kuz'michev A.V., Malyshev V.V., Tikhomirov D.A. Effektivnost' kombinirovannoy pasterizatsii moloka UF i IK oblucheniem [Efficiency of milk pasteurization by combined UV and IR irradiation]. *Svetotekhnika*. 2010. N5. 6-9.
10. Tikhomirov D., Izmailov A., Lobachevsky Ya., et al. Energy consumption optimization in agriculture and development perspectives. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2020. Vol. 9. Iss. 4. 1-19.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Кузьмичев А.В. – подготовка начального варианта статьи, формулирование цели и задачи исследования, разработка теоретических предпосылок;

Тихомиров Д.А. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования;

Химeнко А.В. – доработка текста, формирование общих выводов и литературный анализ.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Kuzmichev A.V. – writing the draft, the purpose and objectives of the study, development of theoretical assumptions;

Tikhomirov D.A. – scientific guidance, writing of the main directions of research;

Khimenko A.V. – revision of the manuscript, writing general conclusions and literary analysis.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 23.05.2022
Статья принята к публикации 15.09.2022

УДК 621.316.542.9:621 CC BY DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-20-25

Структурная схема способа подключения ответственных потребителей к резервной электростанции

Игорь Николаевич Фомин,
старший преподаватель, e-mail: igor.fom-in@yandex.ru;
Роман Павлович Беликов,
кандидат технических наук, доцент

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

Реферат. *Увеличение производительности электрифицированного сельскохозяйственного и перерабатывающего производств требует разработки методов повышения надежности их электроснабжения. Для уменьшения последствий массовых отказов в электрических сетях, вызываемых погодно-климатическими условиями, электроснабжение сельскохозяйственных потребителей необходимо резервировать автономными источниками. (Цель исследования) Разработать новый способ подключения ответственных потребителей к резервной электростанции, который позволит в случае исчезновения централизованного электроснабжения оставить подключенными к дизельным электростанциям только ответственных потребителей. (Материалы и методы) Проанализировали аварийные ситуации, 70-80 процентов всех перерывов электроснабжения сельскохозяйственных электрических потребителей приходится на повреждения питающих их линий, при этом 90 процентов таких повреждений случаются в воздушных линиях. (Результаты и обсуждение) Определили, что из всех мероприятий, нацеленных на увеличение надежности электроснабжения, особое место занимают разработка и совершенствование способов, которые позволяют ускоренно подключить ответственного потребителя к резервной электростанции. Установили, что применение местного резерва особенно актуально в настоящий момент в связи с серьезными количественными и качественными изменениями в сельскохозяйственной и перерабатывающей промышленности. Показали, что в период аварии при питании ответственных потребителей от основной линии чаще всего в качестве такого резервного средства используются дизельные электростанции. (Выводы) Выявили, что предложенный способ позволяет осуществлять резервирование потребителей при подключении к резервному источнику питания – дизельной электростанции посредством реализации алгоритма выбора ответственных электроприемников. Констатировали, что это даст возможность повысить надежность электроснабжения ответственных потребителей и сократить недоотпуск им электроэнергии.*

Ключевые слова: *электрические сети, структурная схема, подключение ответственных потребителей, электроснабжение, резервная электростанция.*

Для цитирования: Фомин И.Н., Беликов Р.П. Структурная схема способа подключения ответственных потребителей к резервной электростанции // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 20-25. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-20-25. EDN FCJSIK.

A Method of Connecting Important Loads to Backup Power

Igor' N. Fomin,
senior lecturer, e-mail: igor.fom-in@yandex.ru;
Roman P. Belikov,
Ph.D.(Eng.), associate professor

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

Abstract. *Increasing the productivity of electrified agricultural and processing industries requires the development of methods to increase the reliability of their power supply. In order to reduce the mass failures in electrical networks caused by weather and climatic conditions, the power supply of agricultural consumers must be reserved by autonomous sources. (Research purpose) The research purpose is developing a new*

way to connect responsible consumers to a backup power plant, which will allow only responsible consumers to be connected to diesel power plants during the outage of grid. (Materials and methods) Analyzed emergency situations, 70-80 percent of all interruptions in the power supply of agricultural electrical consumers are due to damage to the lines feeding them, while 90 percent of such damage occurs in overhead lines. (Results and discussion) Of all the measures aimed at increasing the reliability of power supply, a special place is occupied by the development and improvement of methods that allow you to quickly connect a responsible consumer to a backup power plant. The use of the local reserve is especially relevant in connection with serious quantitative and qualitative changes in the agricultural and processing industry. During the outage, when feeding responsible consumers from the main line, diesel power plants are most often used as such a backup means. (Conclusions) The proposed method allows powering consumers when connected to a backup diesel power plant by implementing an algorithm for selecting responsible electrical receivers. This will make it possible to increase the reliability of power supply to responsible consumers and reduce the outages.

Keywords: *electrical grids, block diagram, connection of responsible consumers, power supply, backup power.*

For citation: Fomin I.N., Belikov R.P. Strukturnaya skhema sposoba podklyucheniya otvetstvennykh potrebiteley k rezervnoy elektrostantsii [A method of connecting responsible consumers to backup power]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 20-25. (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-20-25. EDN FCJSIK.

Обеспечение надежного электроснабжения требует экономного и эффективного использования капиталовложений. Поэтому выбор величины мощности автономного источника, типа, его многоцелевое применение – важные факторы. Для уменьшения последствий массовых отказов в электрических сетях, вызываемых погодно-климатическими условиями, электроснабжение сельскохозяйственных потребителей необходимо резервировать автономными источниками [1, 2].

Повышение надежности электроснабжения с помощью различных резервных источников в системах электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса – актуальная задача. Актуальность резервирования особенно возрастает в связи с серьезными количественными и качественными изменениями сельскохозяйственных потребителей, в случае каких-либо работ, связанных со строительством вновь вводимых или реконструкцией уже построенных объектов [1].

Техническое состояние и пропускная способность воздушных линий электропередачи (ВЛ) оказывают влияние на надежность электроснабжения потребителей [3-5]. Для повышения надежности электроснабжения электросетевыми компаниями производится анализ допустимых режимов работы ВЛ, мониторинг технического состояния ВЛ, заключающийся в осуществлении осмотров линий и выявлении дефектов; проводятся измерения, профилактические испытания и планово-предупредительный ремонт; расследуются причины аварийных отключений ВЛ и разрабатываются мероприятия, направленные на повышение эффективности функционирования ВЛ [6-8].

Задаче повышения надежности электрических сетей и оптимизации режимов всегда уделялось пристальное внимание. Этими вопросами занимались ученые И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, А.В. Виноградов и другие. Авторами уделяется внимание проблеме технического состояния ВЛ в электросетевых компаниях, исследуются способы и методы автоматизации сетей, но не рассматриваются способы выделения и подключения ответственных потребителей к резервному источнику электроснабжения [5-7]. Данный способ предлагается реализовать посредством определенной последовательности напряжения на устройстве выделения ответственных потребителей [8].

Цель исследования – разработать новый способ подключения ответственных потребителей к резервной электростанции, который позволит в случае исчезновения централизованного электроснабжения оставить подключенными к дизельным электростанциям (ДЭС) только ответственных потребителей.

Материалы и методы. Один из способов резервирования – использование ДЭС, изготовление которых хорошо налажено на базе отечественных производителей. Необходимость ДЭС неоспорима, а также доказана многими авторами. Вопрос использования дизельных электростанций хорошо изучен и подтвержден практическим применением.

Эксплуатация резервных ДЭС для надежного электроснабжения сельского хозяйства имеет ряд особенностей. Различные ответственные сельскохозяйственные потребители электроэнергии чаще всего работают в разное время суток и при этом не всегда потребляют одинаковую мощность, электрическая нагрузка чаще всего разобщена и расположе-

на в разных местах сельскохозяйственных предприятий, суммарная наработка в год не превышает обычно 150-200 часов.

Исходя из условий применения, можно сформулировать основные требования к резервным ДЭС:

- быстрота пуска и приема нагрузки;
- высокая степень автоматизации, обеспечивающая автоматическое включение энергоисточника и длительное время необслуживаемой работы;
- надежность работы в различных режимах функционирования;
- высокая экономичность;
- наличие широкого мощностного ряда при прочих равных условиях;
- наличие широко разветвленной производственной и ремонтной базы.

Сегодня ряд заводов России выпускает передвижные и стационарные агрегаты, применяемые для резервного электроснабжения объектов различного назначения.

С целью более эффективного применения резервных ДЭС в хозяйствах сельскохозяйственного назначения, как показывает практика их использования, стоит уделить внимание следующим вопросам:

- обоснование мощности и количества ДЭС;
- определение места установки ДЭС.

Для правильного выбора электростанции из всех сельскохозяйственных потребителей выделяют электроприемники первой категории, а также второй категории надежности электроснабжения. При этом следует тщательно изучить характер потребителей, их требования к источнику электропитания.

Результаты и обсуждение. В настоящее время, очевидно, и в ближайшем будущем, основным источником электроснабжения сельскохозяйственных потребителей остается система централизованного электроснабжения [1, 9].

Как известно, одним из направлений повышения надежности электроснабжения служит резервирование. Наравне с сетевым и подстанционным резервированием, необходимо особенно отметить местное резервирование, осуществляемое автономными источниками питания.

Наиболее подходящие в качестве резервных источников питания, на наш взгляд, сегодня, и, наверное, в ближайшем будущем, – дизельные электрические станции. Их производство хорошо освоено отечественными компаниями. Диапазон номинальных мощностей, выпускаемых ДЭС, составляет 0,2-1000 кВт и более.

Низкие технико-экономические показатели применения в качестве резервных источников питания ДЭС в существующих вариантах резервирования, а также более дешевая стоимость электроэнергии, получаемой при централизованном электроснабжении, тормозит широкое использование ДЭС как резервного источника питания.

Учитывая данное обстоятельство и то, что местное резервирование, в том числе и с помощью ДЭС, служит одним из факторов, обеспечивающих повышение надежности электроснабжения потребителей, задача местного резервирования в новых экономических условиях стала более актуальной.

В настоящий момент в основном используются традиционные варианты резервного электроснабжения:

- установка ДЭС у каждого ответственного потребителя;
- установка ДЭС для питания группы потребителей данного хозяйства.

Однако при этом необходимо выделять часть потребителей для подключения к резервному источнику электроснабжения.

Предложили способ подключения части ответственных потребителей к резервному источнику питания (патент №2282926), который позволит оставить подключенными к резервному источнику только часть ответственных потребителей в случае исчезновения централизованного электроснабжения.

Научная новизна разработанного способа состоит в том, что признаком для выделения ответственных потребителей выступает последовательность подачи напряжения по предложенному авторами алгоритму [8].

В соответствии с предлагаемым способом информационным сигналом при подключении ответственных потребителей к резервной электростанции при запуске используется алгоритм поочередной подачи по фазам напряжения в сеть [8]. Вначале подается напряжение первой (определенной) фазы, а далее после выдержки по времени, подается напряжение других двух фаз. Эта последовательность подачи напряжения служит признаком с целью выделения части ответственных потребителей. При этом способе ответственные потребители получают питание от резервной электростанции, а не ответственные потребители – не получают.

Данный способ подключения ответственных потребителей найдет применение для повышения надежности электроснабжения объектов АПК, особенно при использовании мобильных энергетических средств в качестве источника электроснабжения сезонных сельскохозяйственных потребителей [8, 9].

На *рисунке 1* изображена структурная схема элементов разработанного способа. Диаграммы сигналов на выходах элементов, которые показаны на *рисунке 1* при исчезновении централизованного питания, представлены на *рисунке 2*.

Разработанный способ работает следующим образом. В нормальном режиме работы отключены секционный выключатель Q_3 и выключатель резерв-

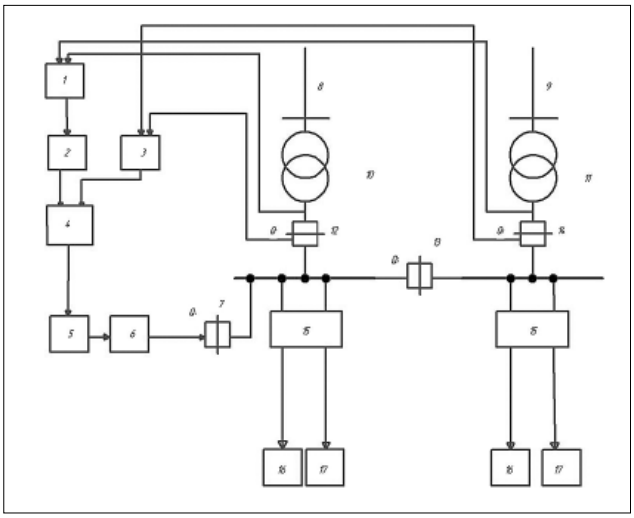


Рис. 1. Структурная схема способа подключения ответственных потребителей к резервной электростанции: 1, 4 – элемент И; 2 – датчик номинального напряжения (ДНН); 3 – датчик положения вводного выключателя шин (ДПВ); 5 – резервная электростанция; 6 – формирователь управляющего сигнала (ФУС); 7 – выключатель резервного питания Q_4; 8 – линия основного источника питания; 9 – линия резервного источника питания; 10 – силовой трансформатор основного источника питания (ИП1); 11 – силовой трансформатор резервного источника питания (ИП2); 12 – вводной выключатель секции шин основного источника питания Q_1; 13 – секционный выключатель Q_3; 14 – вводной выключатель секции шин резервного источника питания Q_2; 15 – устройство выделения ответственных потребителей (УВОП); 16 – ответственный потребитель; 17 – неответственный потребитель

Fig. 1. Method of connecting important loads to a backup power plant: 1, 4 – element AND; 2 – rated voltage sensor; 3 – position sensor of the source bus switch; 5 – backup power; 6 – control signal generator; 7 – backup power switch $_4$; 8 – main power line; 9 – backup power line; 10 – power transformer of the main power; 11 – power transformer of the backup power; 12 – source switch of the bus section of the main power source Q_1; 13 – section switch Q_3; 14 – source switch of the bus section of the backup power Q_2; 15 – device for the allocation of responsible consumers (DARC); 16 – important load; 17 – non-important load

ного питания Q_4. Вводные выключатели секции шин Q_1 и Q_2 включены и питание от основного (ИП1) и резервного (ИП2) источников по линиям *8* и *9* через ТП 10/0,4 кВ и элемент *15* подается всем без исключения потребителям.

Если исчезнет питание ответственных потребителей сразу от двух силовых трансформаторов ИП1 и ИП2 (*рис. 2*, *диаграммы 18-20*), произойдет срабатывание элемента И1 (*рис. 2*, *диаграмма 22*) и датчика, контролирующего наличие номинального напряжения. Сигнал с ДНН об отсутствии напряжения поступит на вход И2 (*рис. 2*, *диаграмма 23*). Автоматически отключатся вводные выключатели секции шин Q_1 и Q_2 линий *8* и *9*. Датчик положения вводного выключателя ДПВ секции шин сработает, на его выходе появится сигнал (*рис. 2*, *диаграмма 24*) и поступит ко второму входу И2. Присутствие сигналов на всех входах элемента И2 приведет к появлению сигнала на его выходе (*рис. 2*, *диаграмма 25*). От этого сигнала происходит запуск резервной электростанции *5* (*рис. 2*, *диаграмма 26*). Устройством автоматического включения резерва включится подстанционный секционный выключатель Q_3. После запуска резервной электростанции подается сигнал на формирователь управляющего сигнала *6*. Потребителям резервного питания через выключатель Q_4 поступает сначала напряжение первой определенной фазы генератора резервной электростанции, а далее после выдержки по времени Δt – напряжение с других двух фаз генератора (*рис. 2*, *диаграммы 29-31*).

Через шины 0,4 кВ ИП1 от подстанционного секционирующего выключателя Q_3 к шинам 0,4 кВ ИП2 напряжение подается к УВОП *15*. Заданная последовательность напряжения на входе УВОП приводит к их срабатыванию (*рис. 2*, *диаграмма 32*), и подключаются ответственные потребители (*рис. 2*, *диаграмма 33*). Неответственные потребители к резервной электростанции не подключаются (*рис. 2*, *диаграмма 34*).

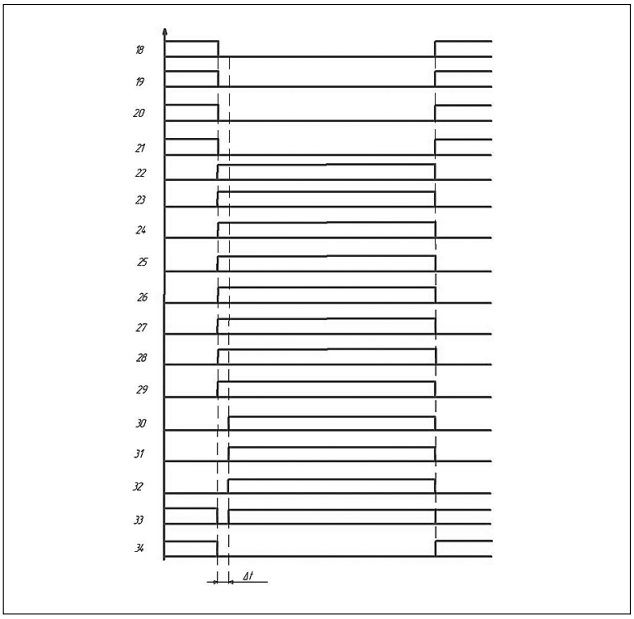


Рис. 2. Диаграммы на выходах элементов при исчезновении централизованного питания: 18-20 – на выходе элементов *10*, *11*; на выходе элементов *12*, *14*; 22 – на выходе элемента *1*; 23 – на выходе элемента *2*; 24 – на выходе элемента *3*; 25 – на выходе элемента *4*; 26 – на выходе элемента *5*; 27 – на выходе элемента *6*; 28 – на выходе элементов *7*, *13*; 29-31 – на входе элемента *15*; 32 – на выходе элемента *15*; 33 – на входе элемента *16*; 34 – на входе элемента *17*

Fig. 2. Voltage levels during grid outage: 18-20 – outputs of elements *10*, *11*; outputs of elements *12*, *14*; 22 – output of element *1*; 23 – outpus of element *2*; 24 – output of element *3*; 25 – output of element *4*; 26 – output of element *5*; 27 – output of element *6*; 28 – outputs of elements *7*, *13*; 29-31 – output of element *15*; 32 – output of element *15*; 33 – output of element *16*; 34 – input of element *17*

При восстановлении питания, например, в линии от основного источника питания исчезает сигнал с ДНН линии. Резервная электростанция отключается. ФУС 6 подает команду отключения выключателя Q_4, секционного выключателя Q_3 и включает вводные выключатели шин Q_1 и Q_2. От ИП1 и ИП2 (*рис. 2*, *диаграммы 18-20*) на УВОП появляются одновременно напряжения всех фаз. УВОП (*рис. 2*, *диаграмма 32*) не срабатывают и ответственные *16* и неответственные потребители *17* получают питание по первоначальной схеме (*рис. 2*, *диаграммы 33*, *34*).

Техническая реализация. Предложенный способ подключения ответственных потребителей к резервной электростанции может быть реализован в УВОП при подключении их к резервной дизельной электростанции на основе аналого-цифрового преобразователя.

Конструктивно устройство состоит из двух блоков [8]. Первый блок –блок подсоединения датчиков. Второй блок необходим для преобразования и анализа входного сигнала, а также для формирования и передачи управляющего сигнала, подачи команды на запуск резервного источника и срабатывание УВОП.

Алгоритм работы вышеописанной структурной схемы способа подключения ответственных потребителей к резервной электростанции, реализованный в разработанном устройстве, при имитации ситуаций подключения резервного источника в ходе лабораторных исследований доказал свою работоспособность.

Выводы. Предложенный способ позволит выделить ответственных потребителей из общего числа при подключении к питанию от резервной электростанции. Это даст возможность повысить надежность электроснабжения ответственных потребителей и сократить недоотпуск электроэнергии.

Библиографический список

1. Pechagin E.A., Chernyshov V.A., Mironov E.A., et al. Investigation of defects in flat conductors using electron-optical moiré. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. 351-359.
2. Мотовилов А.И., Соловьев И.И. Онлайн оценка пропускной способности электрической сети // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2020. Т. 22. N3. С. 51-59.
3. Vinogradov A., Bolshev V., Vinogradova A., et al. A system for Monitoring the Number and Duration of Power Outages and Power Quality in 0.38 kV Electrical Networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. 1-10.
4. Соловьев Ю.В., Самарин Г.Н. Анализ условий развития дефектов в полимерных конструкциях оборудования ВЛ 6-35 кВ с изолированными проводами при гололедно-ветровых нагрузках // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 2011. N4(135). С. 63-67.
5. Виноградов А.В., Виноградова А.В., Большев В.Е. и др. Система мониторинга и управления электрическими сетями 0.4 кВ // *Энергия: экономика, техника, экология*. 2021. N1. С. 58-63.
6. Chernyshov V.A., Semenov A.E., Bolshev V.E., et al. The method of extending drone piloting autonomy when monitoring the technical condition of 6-10 kV overhead power lines. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 124. 02010.
7. Fomin I., Belikov R., Zelyukin V., et al. Improvement of Power Supply Reliability by Means of Remote Control of the Automatic Repeated Switching-on of Sectionalizing Circuit-Breakers. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 124. 01042.
8. Fomin I.N., Belikov R.P., Kudinova T.A., et al. Development of a Method and Algorithm for Inhibiting an Automatic Transfer Switch of the Circuit Breaker for a Sustained Short-Circuit. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 220. 01011.
9. Виноградов А.В. К определению эффективности систем электроснабжения // *Вестник НГИЭИ*. 2017. N7(74). С. 26-35.
10. Васильев А.Н., Дорохов А.С., Ершова И.Г. и др. Методология исследования энергосберегающих технологических систем обработки сельхозпродукции как объектов управления // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 12. N4(63). С. 86-104.
11. Vasil'yev A.N., Dorokhov A.S., Budnikov D.A., Vasil'yev A.A. Trends in the use of the microwave field in the technological processes of drying and disinfection of grain. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020. 51. N3. 63-68.
12. Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Vasiliev A.N., Dorokhov A.S., et al. Place Selection of Sectionalizing Units in 0.38 kV Power Networks: A Methodology for Protection Against Short Circuits. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2021. Vol. 10. N4. 35-52.

References

1. Pechagin E.A., Chernyshov V.A., Mironov E.A., et al. Investigation of defects in flat conductors using elec-

tron-optical moiré. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. 351-359.
2. Motovilov A.I., Solov'ev I.I. Onlayn otsenka propusknoy sposobnosti elektricheskoy seti [Online assessment of the capacity of the electrical grid]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. 2020. Vol. 22. N3. 51-59 (In Russian).
3. Vinogradov A., Bolshev V., Vinogradova A., et al. A system for Monitoring the Number and Duration of Power Outages and Power Quality in 0.38 kV Electrical Networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. 1-10.
4. Solov'ev Yu.V., Samarin G.N. Analiz usloviy razvitiya defektov v polimernykh konstruktsiyakh oborudovaniya VL 6-35 kV s izolirovannymi provodami pri gololedno-vetrovykh nagruzkakh [Analysis of conditions for the development of defects in polymer structures of 6-35 kV overhead line equipment with insulated wires under ice and wind loads]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU*. 2011. N4(135). 63-67 (In Russian).
5. Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Bol'shev V.E., et al. Sistema monitoringa i upravleniya elektricheskimi setyami 0.4 kV [0.4 kV electrical grid monitoring and control system]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. 2021. N1. 58-63.
6. Chernyshov V.A., Semenov A.E., Bolshev V.E., et al. The method of extending drone piloting autonomy when monitoring the technical condition of 6-10 kV overhead power lines. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 124. 02010.
7. Fomin I., Belikov R., Zelyukin V., et al. Improvement of Power Supply Reliability by Means of Remote Control of the Automatic Repeated Swit·shing-on of Sectionalizing Circuit-Breakers. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 124. 01042.
8. Fomin I.N., Belikov R.P., Kudinova T.A., et al. Development of a Method and Algorithm for Inhibiting an Automatic Transfer Swit·sh of the Circuit Breaker for a Sustained Short-Circuit. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 220. 01011.
9. Vinogradov A.V. K opredeleniyu effektivnosti sistem elektrosnabzheniya [Assessing the efficiency of power supply systems]. *Vestnik NGIEI*. 2017. N7(74). 26-35 (In Russian).
10. Vasil'ev A.N., Dorokhov A.S., Ershova I.G., et al. Metodologiya issledovaniya energosberegayushchikh tekhnologicheskikh sistem obrabotki sel'khozproduktsii kak obektov upravleniya [Methodology of research of energy-saving technological systems of processing of agricultural products as objects of management]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. Vol. 12. N4(63). 86-104 (In Russian).
11. Vasil'yev A.N., Dorokhov A.S., Budnikov D.A., Vasil'yev A.A. Trends in the use of the microwave field in the technological processes of drying and disinfection of grain. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020. 51. N3. 63-68.
12. Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Vasiliev A.N., Dorokhov A.S., et al. Place Selection of Sectionalizing Units in 0.38 kV Power Networks: A Methodology for Protection Against Short Circuits. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2021. Vol. 10. N4. 35-52.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Фомин И.Н. – постановка задачи, формулирование основной концепции, подготовка материалов, обобщение и описание результатов;

Беликов Р.П. – подготовка и первичный анализ литературных данных, обобщение и описание результатов, подготовка начального варианта текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Fomin I.N. – problem statement, describing the basic concept, preparation of materials, generalization and description of results;

Belikov R.P. – preparation and primary analysis of literary data, generalization and description of the results, writing the initial manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 12.04.2022
Статья принята к публикации 31.08.2022

УДК 62-83:621.311:621.316:621.341.572 CC BY DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-26-35

Анализ работы системы накопления электрической энергии с пофазным регулированием напряжения

Александр Владимирович Виноградов[1],
доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник,
e-mail: winaleksandr@gmail.com;
Александр Александрович Лансберг[1],
специалист;
Игорь Олегович Голиков[2],
кандидат технических наук, доцент

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

Реферат. *В настоящее время в распределительные электрические сети 0,4 киловольт электросетевой компанией Публичного акционерного общества «Россети Центр и Приволжье» внедрены системы накопления электроэнергии, предназначенные для повышения качества электрической энергии. Оценка эффективности их работы представляет практическую значимость. (Цель исследования) Проанализировать практическое применение системы накопления электрической энергии с пофазным потреблением и выдачей мощности, установленной в сельской электрической сети 0,4 киловольт для повышения качества электроэнергии. (Материалы и методы) Использовали данные автоматизированных систем диспетчерского управления, оперативно-информационного комплекса Systel филиала Публичного акционерного общества «Россети Центр» «Орелэнерго», а также данные, полученные по результатам собственных исследований. Провели анализ качества электроэнергии с помощью сертифицированного анализатора качества электроэнергии типа РЕСУРС-UF2M по нормативным значениям согласно ГОСТ 32144-2013. (Результаты и обсуждение) Выполнили анализ алгоритмов управления системы накопления электрической энергии. Выявили недостатки и преимущества применения исследуемого накопителя для повышения качества электроэнергии в сельских электрических сетях 0,4 киловольт. Рассмотрели влияние системы накопления электроэнергии на показатели качества электрической энергии. (Выводы) Определили, что использование накопителя электроэнергии с пофазным регулированием напряжения в электрической сети позволило не допустить выхода значений фазных напряжений за пределы допустимого отклонения согласно ГОСТ 32144-2013. Зафиксировали снижение значения коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} в 11,2 раза при разряде накопителя электроэнергии по сравнению с его работой в режиме мониторинга сети.*

Ключевые слова: *накопитель электрической энергии, сельские электрические сети, качество электроэнергии, отклонение напряжения, инвертор, литий-ионная аккумуляторная батарея, заряд, разряд.*

Для цитирования: Виноградов А.В., Лансберг А.А., Голиков И.О. Анализ работы системы накопления электрической энергии с пофазным регулированием напряжения // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 26-35. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-26-32. EDN HGTFTU.

Operation of an Electric Energy Storage System with Phase Voltage Adjusting

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

[1]Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;
[2]Orel state agrarian University named after N.V. Parahin, Orel, Russian Federation

Abstract. *Currently, in the 0.4 kilovolt distribution electric grid of the Public Joint Stock Company «Rosseti Center and Volga Region» has implemented electricity storage systems designed to improve the quality of electric energy. Evaluation of the effectiveness of their work is of practical importance. (Research purpose) The research purpose is analyzing the application of an electric energy storage system with phase-by-phase power consumption and supplying installed in a rural 0.4 kilovolt grid to improve the quality of electricity. (Materials and methods) For the research was used data from automated dispatch control systems, the Systel operational information complex of the branch of the Public Joint Stock Company Rosseti Center Orelenergo, as well as data from the results of own research. The article presents an analysis of the quality of electricity using a certified electricity quality analyzer RESOURCE-UF2M according to the standard values according to GOST 32144-2013. (Results and discussion) The control algorithms of the electric energy storage system was analyzed. The article presents the disadvantages and advantages of using the studied storage device to improve the quality of electricity in rural electrical networks of 0.4 kilovolts. The influence of the electric power storage system on the quality indicators of electric energy was described. (Conclusions) The use of an electric power storage device with phase-by-phase voltage regulation in the electrical grid made it possible to prevent the phase voltages from going beyond the standard deviation according to GOST 32144-2013. A decrease in the value of the voltage asymmetry coefficient along the zero sequence* K_{0U} *was recorded by 11.2 times when the electric power storage device was supplying power compared to its operation in the grid monitoring mode.*

Keywords: *electric energy storage, rural electric networks, electricity quality, voltage deviation, inverter, lithium-ion battery, charge, discharge.*

For citation: Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Golikov I.O. Analiz raboty sistemy nakopleniya elektricheskoy energii s pofaznym regulirovaniem napryazheniya [Operation of an electric energy storage system with phase voltage adjusting]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 26-35 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-26-35. EDN HGTFTU.

С 50-х годов прошлого века на протяжении длительного времени в электроэнергетике наиболее технически проработанным решением по хранению электрической энергии было строительство гидроаккумулирующих станций, позволяющих сглаживать пики потребления в энергосистеме. В России самым известным решением в данной сфере стала реализованная рядом с Москвой в 1987 году Загорская гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) с установленной мощностью 1200 МВт, которая дала возможность сгладить пики электропотребления, характерные для большого города [1].

В последние годы в промышленности для решения различных задач находят применение системы накопления электрической энергии (СНЭЭ), выполненные на базе электрохимических способов накопления электроэнергии [2]. Так, в железнодорожной отрасли СНЭЭ используются для обеспечения работы железнодорожного транспорта, что связано с ростом массы подвижного состава и недостаточной мощностью тяговых подстанций на некоторых участках путей [3]. Существует также множество решений по использованию электрохимических накопителей энергии, которые, в том числе уже применяются в электромобилях производства компаний *Renault*, *Nissan*, *Tesla*, а также зарядных станциях, предназначенных для зарядки электромобилей, например, *Schneider Electric*. При этом выпускаемые указанными компаниями электромобили могут также производить обратный процесс отдачи электроэнергии в сеть [1]. В Германии в настоящее время эксплуатируется порядка 1 135 000 электромобилей, при этом число электрозарядных станций с мощностью до 22 кВт составляет 41 993 единиц, а более 22 кВт – 7214 [4].

Сегодня системы накопления электроэнергии с электрохимическими аккумуляторными батареями (АБ) внедряются в электроэнергетику ввиду роста доли электроэнергии, вырабатываемой от возобновляемых источников энергии (ВИЭ). График выработки электроэнергии ВИЭ неравномерен и зависит от природных факторов, а также не совпадает с графиком потребления электроэнергии потребителями [5]. В рамках данного направления множество работ посвящено вопросу выбора номинальной мощности и емкости систем накопления электроэнергии, которые основаны на анализе графиков электрических нагрузок потребителей и электрических параметров сети [6, 7]. При выборе мощности и емкости СНЭ также учитывают влияние накопителей электроэнергии на снижение выбросов углерода [8]. С помощью программного комплекса *MATLAB*/*YALMIP* на модели энергосистемы, содержащей 6 угольных тепловых энергоблоков, 3 ветротурбины и 2 газовых энергоблока, было выявлено, что использование систем накопления электроэнергии на основе железо-ионных батарей позволит повысить потребление электроэнергии, выработанной на ве-

троэлектростанциях, обеспечивая сокращение загрузки тепловых станций, что даст возможность уменьшить выбросы углерода в системе на 5,2% [8]. Важный вопрос эксплуатации систем накопления электроэнергии – обеспечение контроля заряда батареи, решение которого рассматривается в труде [9]. Предложено обеспечивать контроль заряда батарей с применением нейронных сетей. В работе с использованием предложенного метода контролируется состояние заряда двух типов литий-ионных аккумуляторных батарей (ЛИАБ): типа *INR 18650-20R*, разработанной Центром инженерии *CALCE* Колумбийского университета, и типа *18650 NCA*, разработанной лабораторией аккумуляторных батарей Оксфордского университета [10]. Решение данных и других теоретических задач позволило реализовать практические проекты с использованием систем накопления электроэнергии с ЛИАБ.

Многие проекты с СНЭЭ реализованы в зарубежных странах. Так, в Чили, в 2009 году в горнодобывающей компании *AES Gener* был выполнен проект с внедрением накопителя электрической энергии емкостью 4 МВт·ч на основе ЛИАБ для регулирования частоты и замещения вращающего резерва. В США накопители электроэнергии изготавливаются компаниями *A123 Systems и AltairNanotechnologies* мощностью 1-2,5 МВт на основе литий-ионных аккумуляторов и используются для реализации интеллектуальных электрических сетей, регулирования частоты, повышения качества электроэнергии. В России компании ПАО «ФСК ЕЭС» и ПАО «Россети Московский регион» одними из первых реализовали пилотные проекты внедрения накопителей электроэнергии для зарядных станций электромобилей мощностью 100 кВА и емкостью 70 кВт·ч, а также на районных подстанциях «Смирново» и «Сколково» с высшим напряжением 220 кВ с емкостью литий-ионных аккумуляторов 250 кВт·ч. При этом среди электрохимических накопителей электроэнергии самый крупный, внедренный американской компанией *Tesla*, стационарный накопитель емкостью 129 МВт·ч в населенном пункте Хорнсдейл Южной Австралии. Данная система используется как для регулирования качества электрической энергии при колебаниях напряжения, так и в качестве резервного источника питания. Опыт применения накопителей в распределительных электрических сетях 10 кВ описан на сайте «Россети Урал». В Челябинской области на подстанции 35/10 кВ «Большеникольская» для электроснабжения социально значимых потребителей с. Писклово реализован проект по внедрению сетевой СНЭ с ЛИАБ типа $LiFePO_4$ емкостью 1300 кВт·ч и мощностью инвертора 625 кВА.

В последнее время широкое распространение системы накопления электроэнергии получили в электрических сетях низкого напряжения до 1 кВ, которые конструктивно представляют блоки аккумуляторов и инверторы с системами управления и защиты. СНЭЭ имеют 2 назначения:

- для резервирования социально значимых объектов (повышение надежности электроснабжения);
- для регулирования напряжения (повышение качества электроэнергии).

В работах А.А. Лансберга, А.А. Балабина приводятся сведения, что в электросетевой организации ПАО «Россети Центр и Приволжье» в рамках цифровой трансформации электросетевого комплекса за 2019-2022 годы. были введены в эксплуатацию 35 СНЭ, среди которых 16 предназначены для повышения качества электроэнергии, а 19 – для повышения надежности электроснабжения.

Один из проектов СНЭЭ – применение накопителя емкостью 40 кВт·ч и мощностью 50 кВА типа *MRSK2.0/ESS-50.40* производства дочернего общества госкорпорации «Росатом», предназначенного для повышения качества электрической энергии в электрической сети 0,4 кВ с диспетчерским наименованием ВЛ 0,4 кВ № 2, ТП 10/0,4 кВ Пищ-922-1, ВЛ-10 кВ № 922, ПС «Пищевая» 110/10 кВ в Орловском районе электрических сетей (РЭС). Указанная сеть находится на балансе филиала ПАО «Россети Центр» «Орелэнерго», входящего в общую крупную холдинговую электросетевую компанию ПАО «Россети Центр и Приволжье». Анализ практического опыта применения СНЭЭ, режимов работы, преимуществ и недостатков применения конструктивных и технических решений, реализованных в накопителе, рассмотрен в работе [11]. В ходе эксплуатации удалось выявить следующие недостатки СНЭЭ: отсутствие возможности выдачи мощности в любое время суток при ухудшении качества электроэнергии в сети ввиду работы по задаваемым временем циклам заряда и разряда; трехфазная выдача запасенной мощности СНЭЭ в сеть через инвертор в зависимости от среднеарифметического значения по трем фазам; неплавная выдача мощности со значениями 50 и 100% заданного тока разряда, осуществление выдачи и потребления мощности исходя из напряжения электрической сети в точке установки накопителя без контроля напряжения в наиболее удаленных точках сети, неполный учет электроэнергии на собственные нужды (СН), отсутствие средств отключения накопителя энергии (НЭ) при коротком замыкании. Проведенный анализ работы СНЭЭ позволил сделать вывод, что накопители электроэнергии, оснащенные инвертором с трехфазным регулированием потребляемой и выдаваемой мощности, неприемлемы для эксплуатации в электрических сетях 0,4 кВ с однофазными нагрузками. Это связано с тем, что при выдаче мощности они увеличивают степень несимметрии фазных напряжений,

что может привести к выходу из строя электроустановок потребителей. Сформулированы рекомендации по совершенствованию СНЭЭ, предназначенных для повышения качества электроэнергии в электрических сетях 0,4 кВ, представленные в патенте на изобретение РФ № 2767517 и статье [11]. В публикации указано, что накопители электроэнергии, предназначенные для повышения качества электроэнергии в сельских электрических сетях 0,4 кВ, должны: обеспечивать возможность контроля напряжения не только в точке установки накопителя, но и на вводах потребителей; обеспечивать пофазное регулирование выдачи и потребления мощности накопителем; обеспечивать возможность работы в режиме разряда в любое время суток без ограничений по циклам заряда-разряда, а также реализовывать ряд других функций.

В электросетевой организации ПАО «Россети Центр и Приволжье» были установлены накопители электроэнергии с группой из трех однофазных инверторов, осуществляющих пофазную выдачу и потребление мощности. Так, в филиале «Орелэнерго» накопитель данного типа установлен в Кромском РЭС, в связи с чем анализ его работы представляет практическую значимость.

Цель исследования – проанализировать практическое применение системы накопления электрической энергии с пофазным потреблением и выдачей мощности, установленной в сельской электрической сети 0,4 кВ для повышения качества электроэнергии.

Материалы и методы. Использовали результаты анализа качества электроэнергии в электрических сетях 0,4 кВ с системой накопления электроэнергии, а также методы инженерного эксперимента. Анализ эффективности и работоспособности СНЭЭ осуществили по данным, полученным с использованием оперативного информационного комплекса (ОИК) *Systel* филиала ПАО «Россети Центр» «Орелэнерго», а также по результатам собственных исследований. Анализ качества электроэнергии в сельских электрических сетях 0,4 кВ перед установкой СНЭЭ и при оценке эффективности выполнили посредством инструментального обследования с помощью сертифицированного анализатора качества электроэнергии типа *РЕСУРС-UF2M* по нормативным значениям согласно ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения

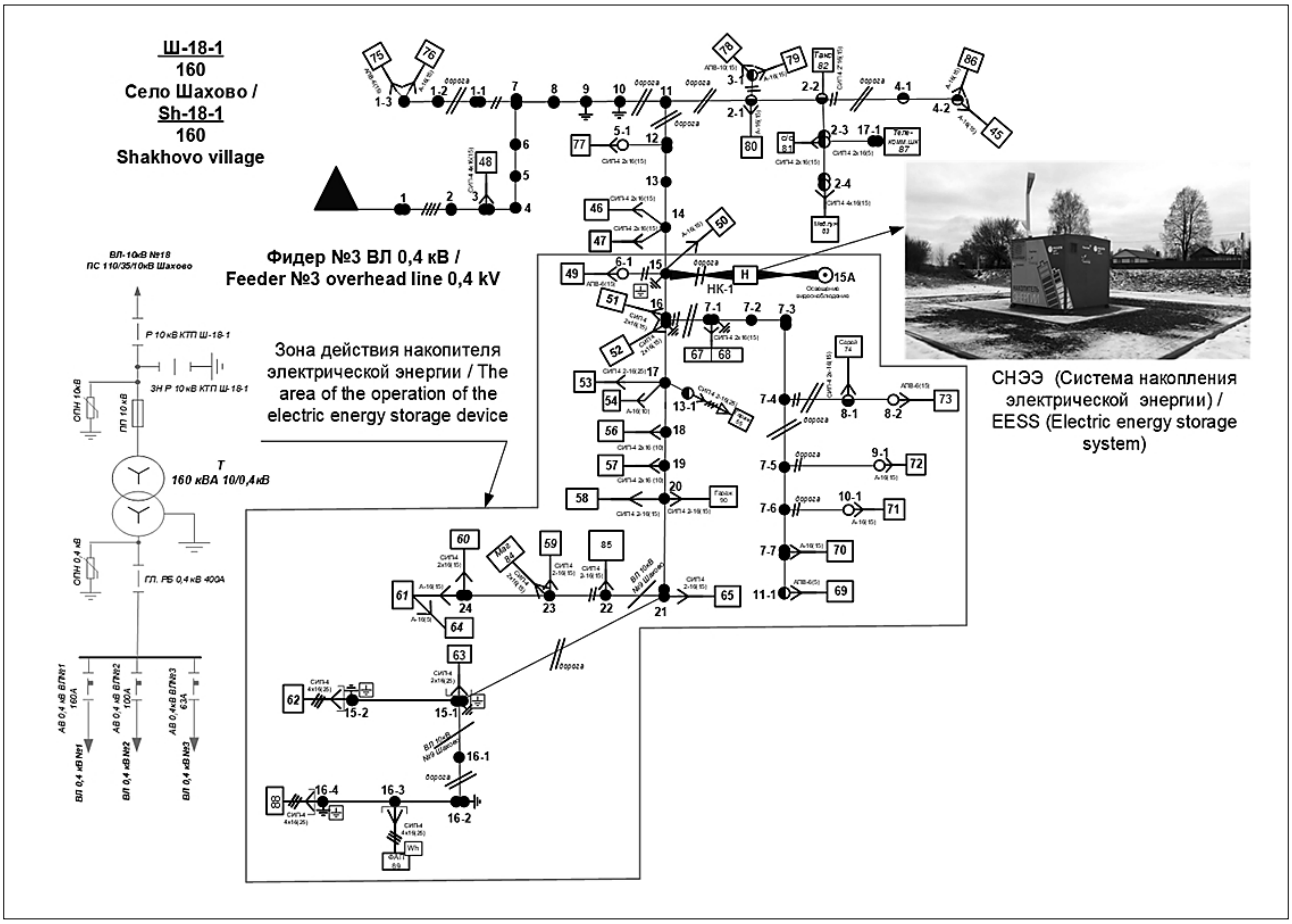


Рис. 1. Поопорная схема электрической сети 0,4 кВ с накопителем электрической энергии и внешний вид накопителя

Fig. 1. The supporting circuit of the 0.4 kV electrical grid with an electric energy storage and the storage device

Table *Таблица*

Длины и сечения проводников сельской электрической сети 0,4 кВ с системой накопления электрической энергии
Lengths and cross-sections of wires of the 0.4 kV rural electric grid with an electric energy storage system

Участки электрической сети (пролеты между опорами) Sections of the electrical network (spans between supports)	Марка и сечение провода Brand and cross section of the wire	Длина, км Length, km
Фидер № 3 / Feeder No. 3		
ТП № 1 / SS No. 1	СИП-2 3 × 50 + 1 × 54,6 SIW-2 3 × 50 + 1 × 54,6	0,045
№ 1-7	СИП-2 3 × 50 + 1 × 54,6 SIW-2 3 × 50 + 1 × 54,6	0,17
№ 7-12	4А-25	0,431
№ 7-1/3	4А-25	0,135
№ 2/1-3/1; № 12-5/1	2А-25	0,11
№ 11-2/4; № 2/4-4/2	СИП-2 3 × 35 + 1 × 54,6 SIW-2 3 × 35 + 1 × 54,6	0,24
№ 15/1-16-4	СИП-2 3 × 35 + 1 × 54,6 SIW-2 3 × 35 + 1 × 54,6	0,092
№ 12-18	СИП-2 3 × 35 + 1 × 54,6 SIW-2 3 × 35 + 1 × 54,6	0,267
№ 18-24	СИП-2 3 × 35 + 1 × 54,7 SIW-2 3 × 35 + 1 × 54,7	0,04
№ 16-7/7	2А-25	0,315
№ 7/6-10/1; № 7/7-11/1	2А-25	0,09
№ 7/5- 9/1; № 17-12/1	2А-25	0,09
№ 17-13/1; № 20-14/1	2А-25	0,09
№ 21-15/2	СИП-2 3 × 35 + 1 × 54,6 SIW-2 3 × 35 + 1 × 54,6	0,07
№ 2/3-17/1	СИП-4 2 × 16 / SIW-4 2 × 16	0,02
№ 15-6/1	АПВ-6 / APV-6	0,025
№ 15 – накопитель / No. 15 – accumulator	КЛ АВБбШв 4 × 50 KL AVBbShv 4 × 50	0,064
Накопитель № 15А / Accumulator No. 15A	КЛ ВВГ нз-LS 3 × 2,5 KL VVG ns-LS 3 × 2,5	0,03
Итого / Total:		**2,324**

общего назначения». Исследуемый накопитель электроэнергии установлен в электрической сети 0,4 кВ суммарной протяженностью 2,324 км, запитанной от трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ с диспетчерским наименованием «Ш-18-1». Поопорная схема электрической сети 0,4 кВ с СНЭЭ представлена на *рисунке 1*. Сведения о протяженности и типах проводниках, используемых в электрической сети 0,4 кВ с СНЭЭ, приведены в *таблице*.

Суммарная протяженность линии 2,324 км не соответствует допустимой протяженности 2 км, указанной в технической политике ПАО «Россети» с изменениями от 2022 года. К линии подключено 45 потребителей, среди которых: фельдшерско-акушерский пункт, магазин, школа, здание сельского совета, больница, таксофон, а остальные – сельские коммунально-бытовые потребители. При этом за точкой установки системы накопления электроэнергии подключено 28 потребителей. Максимальная нагрузка линии составляет 36,3 кВт по итогам замеров в часы вечернего максимума в зимний период, максимальная нагрузка потребителей за опорой № 15 (точкой установки СНЭЭ) – 10,6 кВт. По результатам замеров просадка фазного напряжения в часы пиковых нагрузок на опоре № 21 составляла 162 В, что было зафиксировано 06.03.2021 г. в 18:25 анализатором качества электроэнергии *РЕСУРС-UF2M*. В связи с этим данная линия также как и в Орловском РЭС выбрана для установки СНЭЭ потому, что напряжение у наиболее удаленных потребителей от ТП 10/0,4 кВ выходило за допустимые пределы согласно ГОСТ 32144-2013 [11].

Линия электропередачи преимущественно трехфазная на всем протяжении, однако потребители в большинстве однофазные, что обуславливает несимметрию нагрузок в электрической сети 0,4 кВ.

Исходя из *таблицы*, в представленной электрической сети 0,4 кВ с СНЭЭ 715 м сети из 2,324 км выполнены в однофазном исполнении, а именно: проводом 2А-25 – 695 м, а СИП-4 2 × 16 – 20 м.

Для выбора места установки накопителя электроэнергии сотрудниками отдела метрологии и качества электроэнергии филиала ПАО «Россети Центр» «Орелэнерго» произведены замеры напряжения в разных точках электрической сети 0,4 кВ. Замеры позволили установить, что напряжение превышает пределы допустимого отклонения, установленные ГОСТ 32144-2013, на опоре № 15.

В связи с этим местом установки накопителя выбрали опору № 15 с таким расчетом, чтобы накопитель электроэнергии обеспечивал качество электроэнергии (снижал отклонение напряжения) у наиболее удаленных от ТП 10/0,4 кВ потребителей, подключенных к магистрали (опора № 24) и к отпайке от опоры № 21 (опоры № 16/3-16/4). Методика выбора номинальной мощности и емкости системы накопления электроэнергии с учетом коэффициента полезного действия инвертора и старением с течением времени ЛИАБ осуществлялась также, как и для СНЭЭ в Орловском РЭС. Данная методика рассмотрена в работе [11].

Принципиальная схема СНЭЭ в Кромском РЭС типа СНЭ-К-400-30-70-Б-У1 производства компании ООО «Литэко», дочерней компании АО «Роснано», приведена на *рисунке 2*.

Основные конструктивные части накопителя электроэнергии типа СНЭ-К-400-30-70-Б-У1: система ЛИАБ с собственной системой контроля и управления, конструктивно представляющая 2 стойки, в которых установлено по 7 аккумуляторов (*GB1-GB7* и *GB8-GB14*); группа их трех однофазных инверторов производства российской компании ООО «Энергетические технологии» мощностью 30 кВА; электроприемники СН переменного тока, подключенные за автоматическими выключателями *QF4-QF9*; электроприемники постоянного тока, подключенные за плавкими предохранителями *FU5-FU16*; прибор учета потребляемой и выдаваемой в сеть электроэнергии А10; прибор учета СН А12; преобразователи постоянного напряжения одной величины в постоянное напряжение другой величины А14 и переменного напряжения в постоянное напряжение А15, предназначенные для питания электроприемников СН постоянного тока и обеспечивающие функционирование наиболее ответственных систем работы накопителя. Передача данных телесигналов, телеизмерения и телеуправление осуществляются по протоколу связи МЭК-60870-5-104.

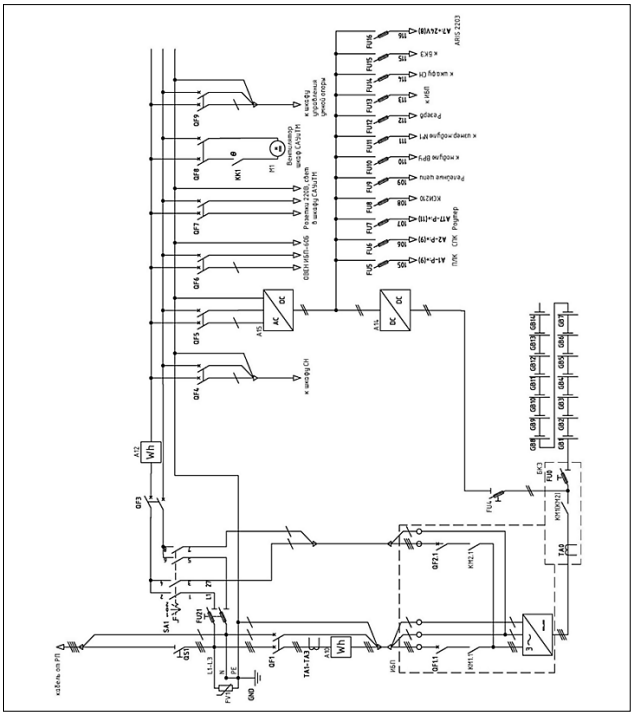


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема системы накопления электрической энергии типа СНЭ-К-400-30-70-Б-У1 в Кромском РЭС

Fig. 2. Schematic diagram of the electric energy storage system SNE-K-400-30-70- B-U 1 in Kromsky distribution zone

Результаты и обсуждение. В ходе анализа работы накопителя в Кромском РЭС филиала ПАО «Россети Центр» «Орелэнерго» типа СНЭ-К-400-30-70-Б-У1 производства компании ООО «Литэко», дочерней компании госкорпорации «Росатом», выявили недостатки и преимущества электроустановки.

Недостатки алгоритмов его работы и конструктивных технических решений заключаются в следующих особенностях.

Первое «слабое место» работы Кромского СНЭЭ, также как и Орловского, заключается в том, что он также работает по интервалам зарядки/разрядки. При этом, в отличие от Орловского накопителя электроэнергии, в течение суток возможно задать по два цикла зарядки и два разрядки.

Второй недостаток накопителя электроэнергии в Кромском РЭС – регулирование выдаваемой и потребляемой мощности в зависимости от фазных напряжений в точке его установки. При этом не учитываются напряжения в наиболее удаленных от ТП 10/0,4 кВ точках сети 0,4 кВ, что также характерно для СНЭЭ в Орловском РЭС типа *MRSK2.0/ESS-50.40*.

Третий недостаток накопителя электроэнергии в Кромском РЭС – он также как и СНЭ в Орловском РЭС не оснащен средствами отключения при коротком замыкании, в том числе однофазном, в сети, к которой он подключен. Это может привести к подпитке точки короткого замыкания. Относительно указанной ситуации производителями реализован алгоритм отключения СНЭ от сети в случае отсутствия напряжения по одной из фаз, что может быть

вызвано перегоранием предохранителя в ТП 10/0,4 кВ, который может быть защитным коммутационным аппаратом (ЗКА) ВЛ 0,4 кВ. Один из путей решения данной проблемы – установка в сеть устройства сетевого секционирования линий электропередачи 0,4 кВ, которое позволит своевременно отключать короткие замыкания [12].

Последний минус накопителя электроэнергии заключается в его конструктивном исполнении. Согласно принципиальной электрической схеме СНЭ, показанной на *рисунке 2*, в нормальном режиме работы установки потребление и отдача мощности осуществляются по цепи коммутационных аппаратов *QS1-QF1-QF1.1-KM1.1* через двунаправленный счетчик А10 *Wh1*. При этом потребление на СН производится через коммутационные аппараты *KM2.1-QF2.1-SA1-QF3*, подключенные в силовой цепи параллельно между группой трех однофазных инверторов и коммутационным аппаратом *KM1.1*, с использованием однофазного счетчика А12 *Wh*. Недостаток конструкции СНЭ заключается в том, что электроприемники шины постоянного тока +24 В подключены между преобразователями А14 *DC/DC* и А15 *AC/DC*, которые осуществляют их одновременное питание. Это приводит к тому, что часть электроэнергии, используемая для их питания и поступающая через А14 *DC/DC*, не учитывается счетчиком А12 *Wh*, то есть входит в потери в инверторе и АБ. В случае возникновения неисправностей в группе трех однофазных инверторов питание СН выполняется через коммутационные аппараты *QS1-FU21-SA1-QF3*. При этом через преобразователь А14 *DC/DC* идет мощность, запасенная в АБ, что может привести к их полному разряду и выходу из строя. Такой случай был зафиксирован в январе 2022 года, после чего они были заменены подрядной организацией, по данным которой их стоимость составляет порядка 50% от общих капиталовложений на сооружение электроустановки. В связи с этим при поступлении аварийных сигналов на диспетчерский пункт Кромского РЭС с накопителя электроэнергии необходимо оперативное принятие мер по отключению батареи от основной цепи постоянного тока, связанное с непосредственным выездом оперативной бригады на электроустановку.

По сравнению с накопителем электроэнергии в Орловском РЭС типа *MRSK2.0/ESS-50.40* СНЭЭ в Кромском РЭС типа СНЭ-К-400-30-70-Б-У1 имеет ряд преимуществ.

Первое значительное преимущество СНЭЭ – его оснащение группой из трех однофазных инверторов единичной мощностью 30 кВА производства российской компании «Энергетические технологии», которые позволяют осуществлять пофазную выдачу и потребление мощности. Выдача мощности в режиме разряда производится исходя из двух параметров: опорного напряжения и отклонения напряжения. Их уставки задаются на экране основных настроек СНЭЭ. Если значение опорного напряжения будет составлять 231 В, а значение отклонения 10 В, то максимальная 100%-ная выдача мощности СНЭ будет проводиться при значении напряжения в сети 221 В и ниже. При значении напряжения 231 В СНЭЭ прекратит выдачу мощности в сеть. Соответственно, при значении напряжения 226 В разряд будет осуществляться при 50%-ной мощности. При этом цикл заряда выполняется аналогично. При установке значений опорного напряжения 210 В и отклонения 6 В, в случае значения напряжения в сети 216 В и более, СНЭ будет потреблять из сети для заряда батареи 100% мощности заряда. А при значении напряжении 210 В и ниже накопитель электроэнергии реализует алгоритм запрета потребления мощности для недопущения большего понижения напряжения в сети, вызванного часами пиковых нагрузок. При значении напряжении 213 В СНЭЭ будет потреблять 50% мощности. В свою очередь, значения потребляемой и выдаваемой мощности в режимах заряда и разряда задаются значениями токов заряда и разряда инверторов на экране сервисных параметров. Исходя из данных значений осуществляется алгоритм выдачи мощности в сеть в зависимости от напряжения. То есть, при максимальном токе разряда 60 А и напряжении в сети ниже 221 В инвертор будет выдавать ток 60 А, при напряжении 226 В – 30 А. При максимальном токе заряда 50 А и напряжении в сети 216 В и более заряд батареи будет осуществляться при токе 50 А, при напряжении 213 В – 25 А. Рассмотренный принцип выдачи и потребления мощности СНЭЭ в Кромском РЭС обеспечивает более плавное регулирование потребления и отдачи мощности в режимах заряда и разряда, чем принцип работы СНЭЭ в Орловском РЭС, обеспечивающий возможность выдачи только 50 и 100% мощности в зависимости от первой и второй уставок по напряжению.

Второе преимущество заключается в более совершенной системе обеспечения внутреннего микроклимата. В отличие от СНЭЭ в Орловском РЭС, оснащенного регулируемыми в ручном режиме кондиционером и обогревателем, накопитель электроэнергии производства компании ООО «Литэко» оснащен системами автоматического управления обогревателем и кондиционером, а также содержит автоматическую систему вентиляции воздуха, которые вместе управляются на основе данных пяти температурных датчиков: 1 – установлен на улице; 2 – возле пола и потолка внутри корпуса, а оставшиеся 2 датчика – в шкафу системы автоматического управления и телеметрии (САУиТМ).

Еще одно достоинство накопителя электроэнергии производства компании ООО «Литэко» – нали-

чие мнемосхемы накопителя электроэнергии на жидкокристаллическом дисплее щита САУиТМ. Это позволяет облегчить действия оперативно-технологического персонала при производстве переключений в цепях СНЭЭ и вводу/выводу его из работы.

На *рисунке 3* представлены суточные изменения напряжения в точке установки накопителя электроэнергии. Исходя из графика, можно выявить, что при выдаче мощности накопителем в сеть в периоды суток с 07:00 до 10:00 и с 18:00 до 21:00 значения фазных напряжений имеют близкие значения. Это свидетельствует о том, что регулирование осуществляется более эффективно и отсутствует значительная разность фазных напряжений по сравнению с выявленной при работе накопителя в Орловском РЭС несимметрией фазных напряжений в часы выдачи мощности [11]. Технический эффект от использования СНЭЭ заключается в недопущении выхода фазных напряжений за пределы верхней и нижней допустимых границ $\pm\Delta U$ согласно ГОСТ 32144-2013 (*рис. 3*), а также снижения коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U}, что показано на *рис. 4*.

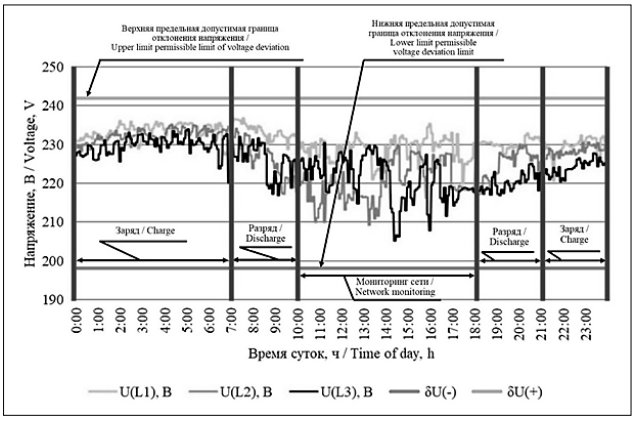


Рис. 3. График значений фазных напряжений в точке установки накопителя электроэнергии в Кромском РЭС 15.05.2022

Fig. 3. Phase voltages at the installation point of the electric power storage in the Kromsky distribution zone 15.05.2022

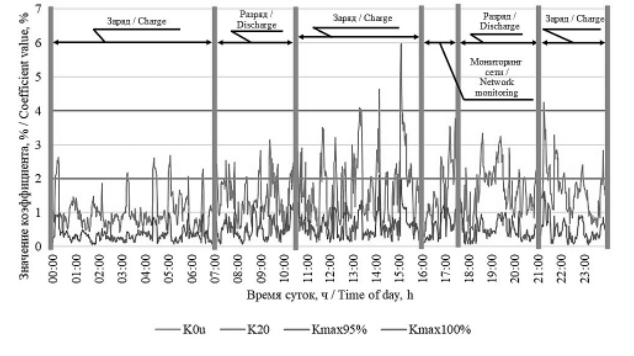


Рис. 4. График суточного изменения K_{0U} и K_{2U} на опоре № 16/4 в электрической сети 0,4 кВ с накопителем электроэнергии в Кромском РЭС 04.06.2022

Fig. 4. Daily change of K_{0U} and K_{2U} on the support No. 16/4 in the 0.4 kV electrical grid with an electric power storage in the Kromsky distribution zone 04.06.2022

Так, за счет обеспечения пофазного регулирования напряжения в электрической сети 0,4 кВ с использованием накопителя электроэнергии в часы выдачи и потребления зафиксировано снижение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} со значения 4,72% при работе накопителя электроэнергии в режиме мониторинга сети с 16:00 до 17:30 до значения 0,42% при цикле разряда с 17:30 до 21:00, то есть в 11,2 раза.

Выводы. Исходя из анализа работы системы накопления электрической энергии типа СНЭ-К-400-30-70-Б-У1 с мощностью 30 кВА и емкостью 70 кВт·ч, установленной в сельской электрической сети 0,4 кВ Кромского РЭС филиала ПАО «Россети Центр» «Орелэнерго», можно сделать следующие выводы.

• Накопитель электроэнергии в Кромском РЭС с пофазным регулированием имеет идентичные с накопителем электроэнергии в Орловском РЭС типа *MRSK2.0/ESS-50.40* недостатки, которые заключаются в следующем: работа по интервалам зарядки/разрядки; регулирование выдаваемой и потребляемой мощности в зависимости от фазных напряжений в точке его установки без учета напряжений в наиболее удаленных от ТП 10/0,4 кВ точках электрической сети; отсутствие защитных коммутационных аппаратов для отключения при коротком замыкании и недопущения подпитки точки короткого замыкания; несовершенное конструктивное исполнение, проявляющееся в неучете части электроэнергии, потребляемой электроприемниками собственных нужд накопителя и возможности выхода из строя ЛИАБ при отказе инвертора.

• Накопитель электроэнергии в Кромском РЭС типа СНЭ-К-400-30-70-Б-У1 с пофазным регулированием по сравнению с СНЭЭ типа *MRSK2.0/ESS-50.40* имеет ряд преимуществ: оснащение группой из трех однофазных инверторов, которые позволяют осуществлять пофазную выдачу и потребление мощности; совершенная система внутреннего микроклимата, включающая системы вентиляции, обогрева и кондиционирования; наличие мнемосхемы накопителя электроэнергии, позволяющей облегчить действия оперативно-технологического персонала при производстве переключений в цепях накопителя и вводе/выводе его из работы.

• Оснащение накопителя электроэнергии типа СНЭ-К-400-30-70-Б-У1 группой из трех однофазных инверторов дает возможность добиться технического эффекта от эксплуатации накопителя. Это заключается в том, что использование пофазного регулирования напряжения в электрической сети позволило не допустить выхода значений фазных напряже-

ний за пределы верхнего и нижнего допустимого отклонения согласно ГОСТ 32144-2013, а также дало возможность снизить значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} в 11,2 раза при разряде накопителя электроэнергии, по сравнению с его работой в режиме мониторинга сети (холостого хода).

Библиографический список

1. Васильев А. Накопители энергии для эффективной работы энергосистемы // *Электротехнический рынок*. 2019. N3. С. 20-24.
2. Shaqsia A.Z.A., Sopiana K., Al-Hinaib A. Review of energy storage services, applications, limitations, and benefits. *Energy Reports*. 2020. Vol. 6. Iss. 5. 288-306.
3. Незевак В.Л., Шатохин А.П. Характеристика тяговой нагрузки для определения параметров накопителя электрической энергии // *Мир транспорта*. 2018. Т. 16. N2(75). С. 84-94.
4. Weiß A., Biedenbach F., Müller M. Probabilistic Load Profile Model for Public Charging Infrastructure to Evaluate the Grid Load. *Energies*. 2022. Vol. 15. Iss. 13. 4748.
5. Qadir S.A., Al-Motairi H., Tahir F., et al. Incentives and strategies for financing the renewable energy transition: A review. *Energy Reports*. 2021. Vol. 7. Iss. 7. 3590-3606.
6. Shi Z., Wang W., Huang Y., et al. Simultaneous optimization of renewable energy and energy storage capacity with the hierarchical control. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*. 2022. Vol. 8. Iss. 1. 95-104.
7. Kumar N., Kumar T., Nema S., et al. A multiobjective planning framework for EV charging stations assisted by solar photovoltaic and battery energy storage system in coupled power and transportation network. *International Journal of Energy Research*. 2021. Vol. 46. 4462-4493.
8. Feng J., Zhou H. Bi-Level Optimal Capacity Planning of Load-Side Electric Energy Storage Using an Emission-Considered Carbon Incentive Mechanism. *Energies*. 2022. Vol. 15. Iss. 13. 4592.
9. Yang B., Wang Y., Zhan Y. Lithium Battery State-of-Charge Estimation Based on a Bayesian Optimization Bidirectional Long Short-Term Memory Neural Network. *Energies*. 2022. Vol. 15. 4670.
10. Raj T., Wang A.A., Monroe C.W., et al. Investigation of Path Dependent Degradation in Lithium-Ion Batteries. *Batteries & Supercaps*. 2020. Vol. 3. Iss. 12. 1377-1385.
11. Балабин А.А., Виноградов А.В., Лансберг А.А. Анализ работы и рекомендации по совершенствованию системы накопления электрической энергии, установленной в сельской электрической сети 0,4 кВ // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24. N1. С. 72-79.
12. Виноградов А.В., Виноградова А.В., Псарёв А.И. и др. Повышение эффективности защиты линий электропередачи 0,4 кВ с отпайками от однофазных коротких замыканий за счет применения мультиконтактной коммутационной системы МКС-2-3В // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 15. N3(59). С. 58-63.

References

1. Vasil'ev A. Nakopiteli energii dlya effektivnoy raboty energosistemy [Energy storage devices for efficient operation of the power system]. *Elektrotekhnicheskiy rynok*. 2019. N3. 20-24 (In Russian).
2. Shaqsia A.Z.A., Sopiana K., Al-Hinaib A. Review of energy storage services, applications, limitations, and benefits. *Energy Reports.* 2020. Vol. 6. Iss. 5. 288-306.
3. Nezevak V.L., Shatokhin A.P. Kharakteristika tyagovoy nagruzki dlya opredeleniya parametrov nakopitelya elektricheskoy energii [Features of the traction load for assessing the parameters of the electric energy storage device]. *Mir transporta*. 2018. Vol. 16. N2(75). 84-94 (In Russian).
4. Weiß A., Biedenbach F., Müller M. Probabilistic Load Profile Model for Public Charging Infrastructure to Evaluate the Grid Load. *Energies*. 2022. Vol. 15. Iss. 13. 4748.
5. Qadir S.A., Al-Motairi H., Tahir F., et al. Incentives and strategies for financing the renewable energy transition: A review. *Energy Reports*. 2021. Vol. 7. Iss. 7. 3590-3606.
6. Shi Z., Wang W., Huang Y., et al. Simultaneous optimization of renewable energy and energy storage capacity with the hierarchical control. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*. 2022. Vol. 8. Iss. 1. 95-104.
7. Kumar N., Kumar T., Nema S., et al. A multiobjective planning framework for EV charging stations assisted by solar photovoltaic and battery energy storage system in coupled power and transportation network. *International Journal of Energy Research*. 2021. Vol. 46. 4462-4493.
8. Feng J., Zhou H. Bi-Level Optimal Capacity Planning of Load-Side Electric Energy Storage Using an Emission-Considered Carbon Incentive Mechanism. *Energies*. 2022. Vol. 15. Iss. 13. 4592.
9. Yang B., Wang Y., Zhan Y. Lithium Battery State-of-Charge Estimation Based on a Bayesian Optimization Bidirectional Long Short-Term Memory Neural Network. *Energies*. 2022. Vol. 15. 4670.
10. Raj T., Wang A.A., Monroe C.W., et al. Investigation of Path Dependent Degradation in Lithium-Ion Batteries. *Batteries & Supercaps*. 2020. Vol. 3. Iss. 12. 1377-1385.
11. Balabin A.A., Vinogradov A.V., Lansberg A.A. Analiz raboty i rekomendatsii po sovershenstvovaniyu sistemy nakopleniya elektricheskoy energii, ustanovlennoy v sel'skoy elektricheskoy seti 0,4 kV [Operation analysis and recommendations for improving the electric energy storage system installed in the rural 0.4 kV po-

wer grid]. *Agroinzheneriya*. 2022. Vol. 24. N1. 72-79 (In Russian).
12. Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Psarev A.I., et al. Povyshenie effektivnosti zashchity liniy elektroperedachi 0,4 kV s otpaykami ot odnofaznykh korotkikh zamykaniy za schet primeneniya mul'tikontaktnoy kommutatsionnoy sistemy MKS-2-3V [Increasing the protection efficiency of 0.4 kV power transmission lines with branch lines from single-phase short circuits using multi-contact switching system MSS-2-3]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020. Vol. 15. N3(59). 58-63 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Виноградов А.В. – научное руководство, формулирование концепции исследования, участие в анализе полученных данных и разработке рекомендаций, критическом анализе и доработке текста;

Лансберг А.А. – поиск аналитических материалов в отечественных и зарубежных источниках, участие в обсуждении материалов статьи, первичном анализе полученных результатов, подготовке текста статьи, технических работах по эксплуатации накопителя;

Голиков И.О. – участие в анализе полученных данных и разработке рекомендаций.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Vinogradov A.V. – scientific guidance, writing the research concept, participation in the analysis of the data obtained and the development of recommendations, critical analysis and revision of the manuscript;

Lansberg A.A. – search for analytical materials in domestic and foreign sources, participation in the discussion of the manuscript, primary analysis of the results obtained, writing the manuscript, technical work on the operation of the drive;

Golikov I.O. – participation in the analysis of the data obtained and the writing recommendations.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 09.07.2022
Статья принята к публикации 02.09.2022

УДК 621.3

(cc) BY

DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-36-42

Алгоритм работы устройства деления электрической сети

Вадим Евгеньевич Большев[1],
кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
Алина Васильевна Виноградова[1],
кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
Александр Владимирович Виноградов[1],
доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, e-mail: winaleksandr@gmail.com;
Алексей Валерьевич Букреев[1],
младший научный сотрудник;
Николай Сергеевич Сорокин[2],
старший преподаватель

[1]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
[2]Орловский государственный аграрный университет, г. Орел, Российская Федерация

Реферат. *На примере одного из районов электрических сетей приведены сведения о защищенности линий электропередачи 0,4 киловольт от удаленных однофазных коротких замыканий автоматическими выключателями, установленными в начале линий. Обоснована необходимость повышения защищенности линий от данного режима. На основании литературного обзора представлены сведения о средствах управления конфигурацией электрических сетей, в том числе средствах секционирования линий 0,4 киловольт. Одно из таких устройств – устройство деления электрической сети. (Цель исследования) Разработать алгоритм работы устройства деления электрической сети при реализации способа защиты линии электропередачи от удаленных однофазных коротких замыканий и перегрузок. (Материалы и методы) Проанализировали литературные источники, степень защищенности линий электропередачи. Использовали общенаучные методы, методы информатики в части составления алгоритмов работы. (Результаты и обсуждение) Предложили способ защиты линии электропередачи от удаленных однофазных коротких замыканий и перегрузок с применением устройства деления сети, разработали структурную схему его реализации. Разработали алгоритм работы устройства деления электрической сети при реализации предложенного способа. Показали, что реализация способа с применением устройства деления сети позволяет обеспечить защищенность линии на всем протяжении и способствует повышению надежности электроснабжения потребителей. (Выводы) Выявили, что реализация разработанного алгоритма работы устройства деления сети при способе защиты линий электропередачи от удаленных однофазных коротких замыканий и перегрузок дает возможность обеспечить защищенность от данных режимов всей длины линии, определять причины отключения участков линии и информировать об этом диспетчера сети. Установили, что применение устройства деления электрической сети обосновано в линиях, где нет ответственных потребителей, но не обеспечена защита линий от удаленных коротких замыканий и перегрузок.*

Ключевые слова: *сельские электрические сети, управление конфигурацией, устройство деления электрической сети, алгоритм, защита от удаленных коротких замыканий.*

Для цитирования: Большев В.Е., Виноградова А.В., Виноградов А.В., Букреев А.В., Сорокин Н.С. Алгоритм работы устройства деления электрической сети // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 36-42. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-36-42. EDN HYSLHN.

Operation algorithm of the device for dividing an electrical grid

Vadim E. Bolshev[1],
Ph.D.(Eng.), senior research officer;
Alina V. Vinogradova[1],
Ph.D.(Eng.), senior research officer;
Aleksandr V. Vinogradov[1],
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, leading researcher, e-mail: winaleksandr@gmail.com;

Aleksey V. Bukreev[1],
junior researcher;
Nikolay S. Sorokin[2],
senior lecturer

[1]Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;
[2]Orel State Agrarian University, Orel, Russian Federation

Abstract. *The article presents the protection of 0.4 kilovolt transmission lines from distant single-phase short circuits by circuit breakers installed at the beginning of the lines on the example of one of the electrical grids. The necessity of protecting the lines from this short curcuits is justified. Based on the literature review, the article describes the means for managing the structure of electrical grids, including means of sectioning. One of these devices is a device for splitting the electrical grid. (Research purpose) The research purpose is developing an algorithm for the operation of an electrical grid sectioning device implementing a method for protecting a power line from distant single-phase short circuits and overloads. (Materials and methods) The analyzed literature sources describes the protection of power transmission lines. Authors used general scientific methods, methods of computer science in terms of algorithms of work. (Results and discussion) The article presents the method for protecting a power transmission line from distant single-phase short circuits and overloads using a grid sectioning device, and a block diagram of its structure. Authors developed an algorithm for the operation of the electric grid sectioning device implementing the proposed method. The implementation of the method with the grid sectioning device makes it possible to ensure the reliability of electrical line and power supply to consumers. (Conclusions) The implementation of the developed algorithm of the grid sectioning device with the protecting power lines from distant single-phase short circuits and overloads makes it possible to ensure protection from these modes of the entire length of the line, evaluate the reasons for disconnecting sections of the line and inform the grid dispatcher about it. The use of an electrical grid sectioning device is justified in lines where there are no critical consumers, but the lines are not protected from distant short circuits and overloads.*

Keywords: *rural electrical networks, configuration management, electrical grid sectioning device, algorithm, protection against remote short circuits.*

For citation: Bolshev V.E., Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Bukreev A.V., Sorokin N.S. Algoritm raboty ustroystva deleniya elektricheskoy seti [Operation algorithm of the device for dividing an electrical grid]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 36-42 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-36-42. EDN HYSLHN.

Цель управления конфигурацией сельской электрической сети – сокращение количества и продолжительности перерывов в электроснабжении сельских потребителей, повышение качества электроэнергии. Управление конфигурацией осуществляется на разных уровнях напряжения. В сетях 6-10 кВ для этого служат пункты секционирования и резервирования, реклоузеры. Проводится большое количество исследований, посвященных их применению, выбору рациональных мест установки, оценке эффективности и другим аспектам [1-6].

Для управления конфигурацией сельских электрических сетей 0,4 кВ разработан ряд устройств, среди которых: секционирующие пункты (СП), секционирующие пункты с функцией автоматического включения резерва (СПАВР), мультиконтактные коммутационные системы (МКС) разных типов [7].

Одним из средств управления конфигурацией сельской электрической сети служит устройство деления электрической сети (УДС), предназначенное для секционирования, то есть разделения сети на участки, и мониторинга параметров режимов работы сети в точке его установки. Особенность данного устройства, по сравнению с СП, СПАВР, МКС, заключается в более низкой стоимости за счет применения в качестве коммутационного элемента аппаратов, не позволяющих осуществлять коммутацию токов короткого замыкания (КЗ). Варианты использования устройства рассмотрены в работах [8, 9]. Однако в них приведены не все случаи возможного применения УДС и отсутствуют сведения об алгоритмах его работы.

Анализ обеспеченности чувствительности защитных аппаратов в линиях электропередачи (ЛЭП) 0,4 кВ к удаленным однофазным коротким замыканиям (ОКЗ), выполненный на примере одного из районов электрических сетей (РЭС) Орловской области, показал, что из установленных 395 защитных аппаратов достаточной чувствительностью к токам ОКЗ обладают лишь 246, что в процентом соотно-

шении составляет 62,3%. При этом защищенность ЛЭП протяженностью более 500 м с установленными автоматическими выключателями марок *AE2046*, *AE2056*, *AE2066* (в рассматриваемом РЭС их 157 штук с номинальными рабочими токами 50, 80, 100 и 125 А) от токов ОКЗ не обеспечена во всех случаях. Автоматические выключатели марки *OEZ* установлены на 8,04% отходящих линий, а марки *OptiMat* на 3%, они обладают более широкой настройкой чувствительности к токам КЗ, благодаря изменяемым уставкам расцепителей и, как правило, обеспечивают необходимую чувствительность, хотя и не всегда.

Таким образом, необходимо принимать меры по повышению защищенности ЛЭП от удаленных ОКЗ, что отмечается и другими авторами [10]. Такие мероприятия, как разделение нагрузки на две ЛЭП, выполнение ЛЭП двухцепной, увеличение сечения проводов ЛЭП, уменьшение длины ЛЭП за счет установки дополнительной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, требуют значительных вложений в реконструкцию сети и могут быть выполнены постепенно в ходе модернизации электрических сетей района. В большинстве случаев следует выбрать или разработать способы, реализуемые быстро и с привлечением незначительных затрат.

Цель исследования – разработать алгоритм работы устройства деления электрической сети 0,4 кВ в случае его применения для защиты ЛЭП 0,4 кВ от удаленных коротких замыканий и перегрузок.

Материалы и методы. Использовали материалы анализа обеспеченности чувствительности защитных аппаратов в ЛЭП 0,4 кВ к токам КЗ, литературный обзор. В качестве методологической основы применили общенаучные методы исследования, методы построения алгоритмов, систем управления и передачи данных, анализ научно-технической информации. Учли методические требования нормативных документов.

Результаты и обсуждение. Одним из способов защиты ЛЭП от удаленных ОКЗ служит способ, основанный на применении УДС (*рис. 1*).

Позиции *1-8* входят в состав УДС. Способ реализуется следующим образом. Определяется расстояние по длине ЛЭП11 от ЗКА12 до максимально удаленной точки КЗ, в которой обеспечивается чувствительность ЗКА1 к коротким замыканиям. На этом расстоянии или несколько меньшем устанавливают в ЛЭП11 УДС, содержащий КЭ1. УДС с помощью ДТ3 контролирует ток в линии. При этом зона чувствительности УДС должна быть более длины ЛЭП11 за точкой его установки, то есть УДС должен чувствовать токи короткого замыкания всех возможных видов в точках линии от К9 до К10. С помощью ДН4 контролируется напряжение до и после КЭ1, что дает возможность мониторинга состояния КЭ1

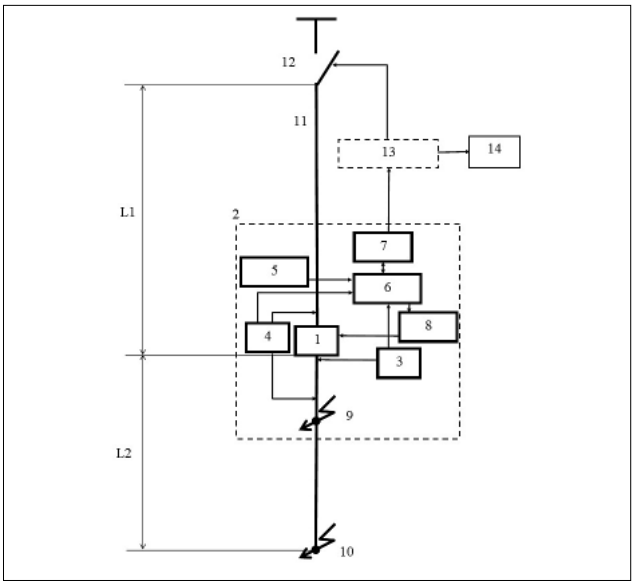


Рис. 1. Структурная схема реализации способа: 1 – коммутационный элемент без возможности отключения тока короткого замыкания (КЭ1); 2 – щит УДС с возможностью крепления на опору (Щ2); 3 – датчик тока (ДТ3); 4 – датчик напряжения (ДН4); 5 – датчик положения дверцы щита (ДПДЩ5); 6 – блок обработки информации и управления (БОИиУ6); 7 – устройство приема и передачи данных (УПД7); 8 – блок местного управления (БМУ8); 9, 10 – точки короткого замыкания (К9, К10); 11 – линия электропередачи (ЛЭП11); 12 – защитный коммутационный аппарат с возможностью дистанционного управления (ЗКА12); 13 – канал связи (КС13); 14 – диспетчер сети (ДС14); L1 – зона чувствительности аппарата *12*; L2 – зона чувствительности аппарата 1

Fig. 1. Block diagram of the method: 1 – switching element without the capability to turn off SC current (SE1); 2 – box with the support mounting (B2); 3 – current sensor (CS3); 4 – voltage sensor (VS4); 5 –door position sensor (BDPS5); 6 – information processing and control unit (IPCU6); 7 – device for receiving and transmitting data (DRTD7); 8 – local control unit (LCU8); 9, 10 – short circuit points (SC9, SC10); 11 – power line (PL11); 12 – protective switching device with the remote control PSD12); 13 – communication channel (CC13); 14 – network dispatcher (ND14); L1 is the protection zone of apparatus *12*; L2 is the protection zone of apparatus 1

и значений напряжения в указанных точках. С помощью ДПДЩ5 контролируется положение дверцы щита УДС для определения фактов доступа в щит.

При появлении тока КЗ в ЛЭП11 за точкой установки УДС этот факт фиксируется в БОИиУ6 УДС, с помощью УППД7 по каналу связи *13* передается сигнал на отключение ЗКА12, который отключается и затем повторно включается через заданное время бестоковой паузы. Время бестоковой паузы перед повторным включением ЗКА12 задается исходя

из особенностей конструкции КЭ1 и должно быть достаточным для отключения за это время КЭ1. Во время бестоковой паузы отключается КЭ1. БОИиУ6 выдает сигнал на блокирование включения КЭ1. На основании данных, получаемых от датчиков тока, напряжения, делаются выводы о состоянии и результатах работы КЭ1 и отправляется информация об этом диспетчеру сети *14*. Включение КЭ1 в работу осуществляется после устранения повреждения на участке линии ЛЭП11.

Этот способ реализуется при использовании в качестве КЭ1 коммутационных аппаратов, например, магнитных пускателей, не позволяющих непосредственно отключать токи КЗ. В то же время применение таких аппаратов значительно удешевляет стоимость УДС. Перед и после КА2 в УДС могут устанавливаться коммутационные аппараты с ручным управлением для вывода КЭ1 в ремонт и обеспечения безопасного выполнения работ на линии за УДС [9].

Алгоритм работы УДС представлен на *рисунках 2*, *3*. В нормальном режиме УДС функционирует по следующей последовательности алгоритма: блоки *1-4*, *10*, *11*, *15*, *25*, *28*, *40*, *45*, *46*, *47*, *53*. Запуск алгоритма работы устройства осуществляется из ограничителя «Начало» (блок *1*), после чего производится мониторинг сигналов от датчика напряжения (ДН4), контролирующего напряжение с двух сторон коммутационного элемента (КЭ1), датчика тока (ДТ3), датчика положения дверцы щита (ДПДЩ5) и команд от диспетчера электросетевой организации, после чего они проверяются на условия блоков *3*, *10*, *15*, *28*, *46*.

Блок *3* проверяет открыта или закрыта дверца шкафа: в первом случае – $S_{\text{ДПДЩ}} = 1$, во втором – $S_{\text{ДПДЩ}} = 0$. Если дверца открыта, то условие блока *3* выполняется и, согласно разработанному алгоритму, устройство запоминает это блоком *8*, приравнивая *s* к единице и записывая эту информацию в БОИиУ. Если дверца закрыта, то устройство приравняет *s* к нулю и также запишет в память данных об этом (блоки *5* и *6*, соответственно). Блоки условий *4* и *7* служат для избежания многократных повторных действий, например, если уже производилась запись об открытии дверцы в память, то алгоритм минует блоки *8* и *9*, и переключится на *10*.

Блок *10* служит для проверки условия поданной команды от диспетчера на включение КЭ. Если $D_{\text{Диспетчер}}$ равно 1, то диспетчер отправил команду на включение КЭ, если равно 0, то – на отключение КЭ. При подаче команды на включение УДС, условие блока *10* выполнится и устройство запишет эту информацию к себе в память и приравняет *D* к единице, а затем запустится предопределенный процесс (блок *14*):

1) отключение управляемого коммутационного аппарата ЗКА12, расположенного в начале линии;

2) отключение коммутационного элемента КЭ1;

3) включение ЗКА12.

Данная последовательность требуется, чтобы избежать необходимости использования дорогих коммутационных элементов, способных производить коммутацию токов КЗ. При подаче команды на отключение УДС, хронология последовательности будет обратная (блок *13*). Блоки *11* и *14* нужна для избежания многократных повторных действий.

Далее проверяется напряжение до КЭ блоком *15*. Если напряжение будет отсутствовать, то устройство последовательно проверяет условия блоков *16*,

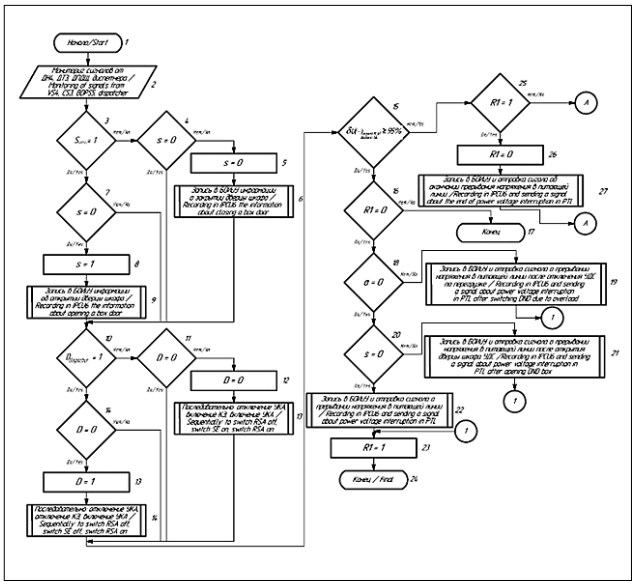


Рис. 2. Алгоритм работы устройства деления электрической сети

Fig. 2. Operation of the electric grid sectioning device

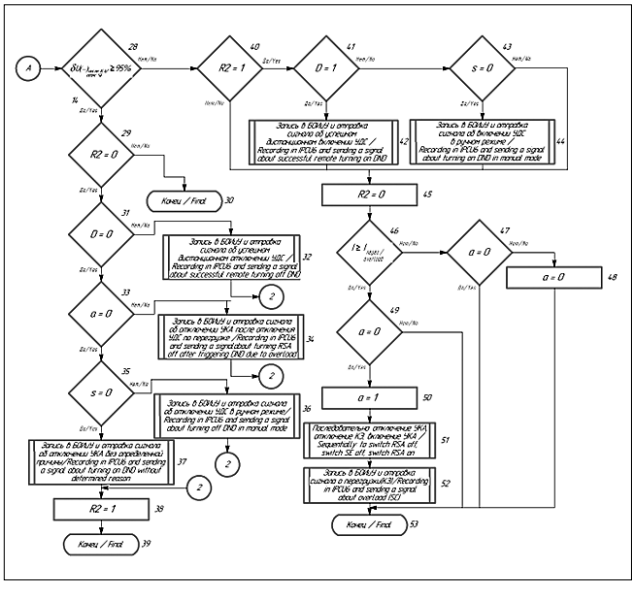


Рис. 3. Алгоритм работы устройства деления электрической сети (продолжение)

Fig. 3. Operation of the electric grid sectioning device (continued)

18, *20*. Блок *16* служит для избежания многократных повторных действий, проверяя условие *R1* = 0. Если отсутствие напряжения уже фиксировалось, то условие будет не соблюдено, и алгоритм закончит свое действие на блоке *17*. Если фиксация производится впервые, то алгоритм переходит к проверке остальных условий, в конце которых *R1* приравняется к 1, в результате чего на следующем цикле условие блока *16* будет выполняться. Блок *18* служит для проверки фиксировался ли ток перегрузки или КЗ (блоки *45-51*, *рис. 3*). Если да, то зафиксируется прерывание напряжения в питающей линии после отключение УДС по нагрузке (КЗ). Блок *20* служит для проверки фиксировалось ли открывание дверцы щита УДС. Если да, то это будет означать, что прерывание напряжение в питающей линии произошло при выполнении работ в УДС с открытой дверцей щита.

Если напряжение перед коммутационным элементом будет присутствовать, то условие блока *15* не выполнится, проверится было ли зафиксировано ранее прерывание (блок *25*). Если да, то *R1* приравняется к 0 (блоки *26*), произведется запись в устройство и оправка сигнала об окончании прерывания напряжения.

Затем проверяется напряжение после КЭ, алгоритм для которого (блоки *28-42*, *рис. 3*) работает аналогично алгоритму для определения напряжения до КЭ (блоки *15-27*, *рис. 2*). Блоком *28* проверяется прерывание напряжение после КЭ, блоком *29* – предыдущая фиксация прерывания, блоком *34* – фиксирующийся ранее ток перегрузки (или КЗ), блоком *35* – открытая дверь щита. Единственное отличие, наличие блока *31*, проверяющего условие была ли подана диспетчером команда на отключение КЭ. Если да, то условие выполнится и устройство зафиксирует в память этот факт и отправит сигнал об успешном дистанционном отключении УДС. В случае удовлетворения условия блока *35* (открытая дверца щита), будет зафиксировано отключение УДС в ручном режиме (ремонтным персоналом). Включение УДС фиксируется последовательностью блоков *40-42*.

Как только напряжение появится после КЭ, это будет свидетельствовать о том, что КЭ включен дистанционно, что определится блоками *41*, *42* или в ручном режиме блоками *43*, *44*. Информация об этом зафиксируется и передастся диспетчеру.

Если в сети, питаемой УДС, будет наблюдаться ток перегрузки (или КЗ), то условие блока *47* не выполнится и блоком *50а* приравняется к единице, что будет использоваться далее при определении причин отключения УДС (блоки *33*, *34*) или ЗКА12 (блоки *18*, *19*). Блок *51* запускает предопределенный процесс отключения ЗКА12 в таком же порядке, как и блок *14*. Фиксация факта перегрузки и отправки сигнала об этом производится согласно блоку *52*.

Структурная схема и алгоритм реализации способа защиты ЛЭП от удаленных коротких замыканий и перегрузок с применением устройства деления сети позволяют производить дистанционное отключение электроснабжения питаемой сети, защиту этой сети от токов перегрузки и КЗ, определение причин прерывания напряжения. Разработанный алгоритм дает возможность выполнять дистанционное обесточивание питаемой сети с помощью УДС таким образом, чтобы можно было использовать в качестве коммутационных элементов в УДС недорогие коммутационные аппараты, не способные коммутировать токи короткого замыкания. Например, стоимость вакуумного контактора *LSM/TEL* с возможностью коммутации токов КЗ составляет более 25 тысяч рублей, в то время как стоимость магнитного пускателя *TDM KTH-5115*, 115А, который также можно использовать в УДС не превышает 7 тысяч рублей.

Недостаток реализации предложенного способа – необходимость отключения (на время бестоковой паузы автоматического повторного включения ЗКА12) питания потребителей на участке ЛЭП до УДС. Поэтому применение УДС обосновано в линиях сельских населенных пунктов, где нет ответственных потребителей и ущерб от таких отключений минимален. Тем не менее применение УДС повышает надежность электроснабжения потребителей на участке ЛЭП до него, так как в случае отсутствия УДС данные потребители были бы отключены на все время ремонта ЛЭП.

Выводы. Применение УДС при реализации способа защиты ЛЭП от удаленных однофазных коротких замыканий и перегрузок позволяет обеспечить защищенность от данных режимов всей длины ЛЭП, осуществлять секционирование ЛЭП, обеспечивать информирование диспетчера сети об отключениях как самого устройства с указанием причин, так и о параметрах режимов работы электрической сети в точке установки устройства, причинах отключения питания потребителей. Преимущество использования УДС заключается в более низкой стоимости по сравнению с другими типами средств секционирования при наличии функций мониторинга режима работы сети и дистанционного управления. Недостаток – необходимость отключения питания потребителей на участке ЛЭП до УДС на время отключения УДС. Поэтому применение УДС обосновано в линиях, где нет ответственных потребителей, но не обеспечена защита ЛЭП от удаленных КЗ и перегрузок. Дополнительным эффектом от установки УДС в этом случае служит сокращение перерывов в электроснабжении потребителей на участке ЛЭП до него.

Библиографический список

1. Семикин С.Д., Белов С.И. Определение оптимального местоположения реклоузеров в электрических сетях 10 кВ сельскохозяйственного назначения // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N1(46). С. 31-37.
2. Haakana J., Lassila J., Kaipia T., et al. Comparison of reliability indices from the perspective of network automation devices. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2010. Vol. 25. Iss. 3. 1547-1555.
3. Palfi J., Tompa M., Holcsik P. Analysis of the Efficiency of the Recloser Function of LV Smart Switchboards. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2017. Vol. 14. Iss. 2. 131-150.
4. Папков Б.В., Вуколов В.Ю. Вопросы повышения эффективности функционирования территориальных сетевых организаций // *Промышленная энергетика*. 2012. N5. С. 18-21.
5. Abedi A., Gaudard L., Romerio F. Power flow-based approaches to assess vulnerability, reliability, and contingency of the power systems: The benefits and limitations. *Reliability Engineering & System Safety*. 2020. Vol. 201. 106961.
6. Da Silva L.G.W., Pereira R.A.F., Mantovani J.R.S. Allocation of protective devices in distribution circuits using nonlinear programming models and genetic algorithms. *Electric Power Systems Research*. 2004. Vol. 69. Iss. 1. 77-84.
7. Виноградов А.В. Принципы управления конфигурацией сельских электрических сетей и технические средства их реализации: монография. Орел: Картуш. 2022. 392 с.
8. Виноградова А.В., Виноградов А.В. Устройство деления электрической сети и вариант его применения // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N2(47). С. 42-46.
9. Виноградов А.В., Виноградова А.В., Гареев Т.В. Совершенствование схемы устройства секционирования линии электропередачи 0,4 кВ // *Агротехника и энергообеспечение*. 2022. N2(35). С. 5-13.
10. Ершов А.М., Сидоров А.И., Валеев Р.Г. Защита электрических сетей напряжением 380 В при однофазных коротких замыканиях: монография. М.; Вологда: Инфра-Инженерия. 2021. 232 с.

References

1. Semikin S.D., Belov S.I. Opredelenie optimal'nogo mestopolozheniya reklouzerov v elektricheskikh setyakh 10 kV sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [The optimal location of reclosers in 10 kV agricultural electrical grids]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N1(46). 31-37 (In Russian).
2. Haakana J., Lassila J., Kaipia T., et al. Comparison of reliability indices from the perspective of network automation devices. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2010. Vol. 25. Iss. 3. 1547-1555.
3. Palfi J., Tompa M., Holcsik P. Analysis of the Efficiency of the Recloser Function of LV Smart Switchboards. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2017. Vol. 14. Iss. 2. 131-150.
4. Papkov B.V., Vukolov V.Yu. Voprosy povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya territorial'nykh setevykh organizatsiy [Issues of increasing the efficiency of local grid organizations]. *Promyshlennaya energetika*. 2012. N5. 18-21 (In Russian).
5. Abedi A., Gaudard L., Romerio F. Power flow-based approaches to assess vulnerability, reliability, and contingency of the power systems: The benefits and limitations. *Reliability Engineering & System Safety*. 2020. Vol. 201. 106961.
6. Da Silva L.G.W., Pereira R.A.F., Mantovani J.R.S. Allocation of protective devices in distribution circuits using nonlinear programming models and genetic algorithms. *Electric Power Systems Research*. 2004. Vol. 69. Iss. 1. 77-84.
7. Vinogradov A.V. Printsipy upravleniya konfiguratsiey sel'skikh elektricheskikh setey i tekhnicheskie sredstva ikh realizatsii: monografiya [Principles of configuration management of rural electrical grids and technical means of their implementation: monograph]. Orel: Kartush. 2022. 392 (In Russian).
8. Vinogradova A.V., Vinogradov A.V. Ustroystvo deleniya elektricheskoy seti i variant ego primeneniya [The device for sectioning the electrical grid and a variant of its application]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N2(47). 42-46 (In Russian).
9. Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Gareev T.V. Sovershenstvovanie skhemy ustroystva sektsionirovaniya linii elektroperedachi 0,4 kV [Improving the scheme of the line sectioning device of power transmission line 0.4 kV]. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2022. N2(35). 5-13 (In Russian).
10. Ershov A.M., Sidorov A.I., Valeev R.G. Zashchita elektricheskikh setey napryazheniem 380 V pri odnofaznykh korotkikh zamykaniyakh: monografiya [Protection of electrical grids of 380 V during single-phase short circuits: monograph]. Moscow; Vologda: Infra-Inzheneriya. 2021. 232 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Большев В.Е. – участие в подготовке и первичном анализе литературных данных, подготовка матери-

алов, описание результатов, участие в подготовке начального варианта текста;

Виноградова А.В. – участие в подготовке и первичный анализ литературных данных, подготовка материалов, обобщение и описание результатов, участие в подготовке начального варианта текста;

Виноградов А.В. – постановка задачи, формулирование основной концепции, анализ и доработка текста;

Букреев А.В. – участие в подготовке материалов, обобщении и описании результатов, участие в подготовке начального варианта текста;

Сорокин Н.С. – участие в подготовке материалов, обобщении и описании результатов, участие в подготовке начального варианта текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Bolshev V.E. – primary analysis of literary data, analyzing materials, writing the results, writing the initial manuscript;

Vinogradova A.V. – primary analysis of literary data, analysing materials, writing the results, writing the initial manuscript;

Vinogradov A.V. – problem statement, writing the basic concept, analysis and revision of the manuscript;

Bukreev A.V. – analyzing materials, writing the results, writing the initial manuscript;

Sorokin N.S. – analyzing materials, writing the results, writing the initial manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 05.07.2022
Статья принята к публикации 06.09.2022

УДК 631.371 (cc) BY DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-43-48

Разработка микрогазотурбинной установки для получения электрической и тепловой энергии

Валентин Александрович Гусаров,
доктор технических наук, e-mail: cosinys50@mail.ru;
Михаил Петрович Миронов,
аспирант

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Микрогазотурбинные установки – новое направление в развитии энергетики, которое привлекает не только научное сообщество, но и сферу бизнеса. Преимущество установок по сравнению с другими состоит в экологичности процесса. Рассмотрели возможность применения таких установок для повышения энергетической безопасности страны. Научно обосновали, что децентрализованное энергоснабжение необходимо для населения, у которого система тепло- и электроснабжения неудовлетворительная либо автономные источники энергии выработали свой ресурс. (Цель исследования) Разработать и изготовить микрогазотурбинную установку для электрической и тепловой энергии, применяемую для сельского жилого дома площадью до 150 квадратных метров. (Материалы и методы) Использовали материалы: компрессор; воздухопровод; камеру сгорания; форсунки; проточную часть; рабочие лопатки; редуктор; гребной винт; пусковой винт; переключатель, аккумулятор. (Результаты и обсуждение) Положили в основу разработки и изготовления установки принцип «воздушного строения»: топливо поступает в аэрокомпрессор, а продукты сгорания, выходя, имеют температуру от 900-1200 градусов Цельсия; после того, как пройдена турбина газы направляются в котел-утилизатор, где и образуется энергия. Составили принципиальную схему и алгоритм работы микрогазотурбинной установки. (Выводы) Разработали бюджетную установку электрической мощности до 15 киловатт-час, имеющий турбокомпрессор российского производства. Выбрали при проектировании установки турбокомпрессор двигателя внутреннего сгорания. Рекомендовали использование микрогазотурбинной установки в сельском хозяйстве, чтобы гарантировать подачу на объект тепла и электроснабжения, так как установка относится к новым типам газовых турбин. Показали, что микрогазотурбинные установки применяются для прикладных задач генерации энергии в стационарной энергетике.*
Ключевые слова: *микрогазотурбинная установка, топливо, камера сгорания, турбокомпрессор, переключатель.*

Для цитирования: Гусаров В.А., Миронов М.П. Разработка микрогазотурбинной установки для получения электрической и тепловой энергии // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 43-48. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-43-48. EDN IFDEFF.

The Micro-gas Turbine Plant for Generating Electric and Thermal Energy

Valentin A. Gusarov,
Dr.Sc.(Eng.), e-mail: cosinys50@mail.ru;
Michael P. Mironov,
graduate student

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Micro gas turbine installations are a new direction in the power engineering, which attracts not only the scientific community, but also the business sector. The advantage of these installations in comparison with others is the environmental safety of the process. The article considers the possibility of using such installations to improve the energy security of the country. Decentralized energy supply is necessary for the population whose heat and electricity supply system is unsatisfactory or autonomous energy sources have exhausted their resource. (Research purpose) The research purpose is developing a micro gas turbine*

installation for electric and thermal energy for a rural residential building of up to 150 square meters. (Materials and methods) The installation uses: compressor; air line; combustion chamber; nozzles; flow part; working blades; gearbox; propeller; starting screw; switch, battery. (Results and discussion) The principle of «air structure» was used as the basis for the development of the installation: fuel enters the air compressor, the combustion products leaving have a temperature of 900-1200 degrees Celsius; after the turbine, the gases are piped to the recovery boiler, where energy is generated. The article presents a schematic diagram and an operation algorithm of the micro gas turbine installation. (Conclusions) The article describes the budget installation of electric power up to 15 kilowatt with a Russian-made turbocharger. The turbocharger of the internal combustion engine was chosen when designing the installation. The use of a micro gas turbine installation in agriculture can guarantee the supply of heat and electricity to the facility, since they belong to new types of gas turbines. Micro gas turbine installations are used for applied tasks of generating energy in stationary power engineering.

Keywords: *micro gas turbine plant, fuel, combustion chamber, turbocharger, switch.*

For citation: Gusarov V.A., Mironov M.P. Razrabotka mikrogazoturbinnoy ustanovki dlya polucheniya elektricheskoy i teplovoy energii [The micro-gas turbine plant for generating electric and thermal energy]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 43-48. (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-43-48. EDN IFDEFF.

В России около 65% территории охвачено автономным энергоснабжением. Система теплоснабжения находится в неудовлетворительном состоянии – более 50% оборудования необходимо заменить, 15% работает в аварийном состоянии [1]. На каждые 100 км тепловых сетей потери составляют 30%.

С каждым годом из-за старения оборудования снижается технико-экономический показатель в электрических сетях [2]. Свыше 30% линий электропередач (630 тыс. км) и около 140 тыс. шт. трансформаторных подстанций отработали свой эксплуатационный ресурс. К 2018 году эксплуатационный ресурс всех электрических сетей имел 50%, что влияет на качество электроэнергии.

Из вышеизложенного следует, что проблему тепло- и электроснабжения позволяет решить система автономного тепло- и электроснабжения. К автономным источникам относят: бензиновые, дизельные и газовые станции.

Также могут быть использованы возобновляемые источники энергии (ВИЭ), например солнечные электростанции и ветроэнергетические установки [3-5]. Недостаток данных установок заключается в том, что ветер относится к изменчивой характеристике, скорость и траектория движения все время разные. А солнечные установки обладают малой энергоэффективностью в дождливую, пасмурную погоду и ночью [6]. Бензиновые генераторы чаще всего применяют как запасные системы электроснабжения, они имеют недолгое время работы. В магазинах, торговых центрах в качестве источника питания могут использоваться дизельные электростанции [7]. Их преимущество в том, что они на 20-30% меньше потребляют топлива чем, бензиновые генераторы, недостаток состоит в больших габаритных размерах, высокой стоимости.

Применение газовых электростанций – это актуальное решение возникших проблем. Природный газ обладает экологическим преимуществом, низкой ценовой категорией в отличие от твердого или жидкого топлива [8]. На внутреннем и внешнем рынках в продаже есть микротурбины производителей *Turbec*, *Capstone*, *Ingersoll Rand*. Такие установки характеризует когенерационный режим работы, их мощность варьируется от 30 до 350 кВт.

Микротурбины имеют такой же принцип работы, что и газотурбинные установки (ГТУ), но меньшие размеры и мощность до 400 кВт [9]. Преимущество когенерационных установок на базе микротурбин состоит в компактности их конструкции [10].

В России такие установки начали пользоваться популярностью, и на крупных объектах частично произошла замена газопоршневых и дизельных установок, спрос ежегодно растет на 20-30%. Микрогазотурбинные установки (МГТУ) применяются свыше 10 лет. Они зарекомендовали себя в качестве надежного и эффективного источника энергии и получили распространение в сельском хозяйстве.

Цель исследования – разработать и изготовить микрогазотурбинную установку для электрической и тепловой энергии, применяемую для сельского жилого дома площадью до 150 м^2.

Материалы и методы. Использовали материалы: компрессор; воздухопровод; камеру сгорания; форсунки; проточную часть; рабочие лопатки; редуктор; гребной винт; пусковой винт; переключатель, аккумулятор.

Результаты и обсуждение. Установка базируется на принципе сжигания газа в котле, при котором возникает энергия. Прототипом стала МГТУ с количеством вырабатываемого CO_2 23,76 кг/ч с электрической мощностью 3 кВт и тепловой 56,1 кВт [11]. Но-

визна разрабатываемой установки – в применении переключателя потоков отработанных газов от основной ГТУ. Составили принципиальную схему работы установки, которая представлена на *рисунке 1.*

Принцип работы установки заключается в попеременной работе двух турбин, одна из которых работает с генератором электрической энергии, который подзаряжает цепь от аккумуляторных батарей (АКБ). После АКБ ток в инверторе преобразовывается до напряжения необходимого потребителю. Поступающее тепло из аккумулятора идет в тепловой контур.

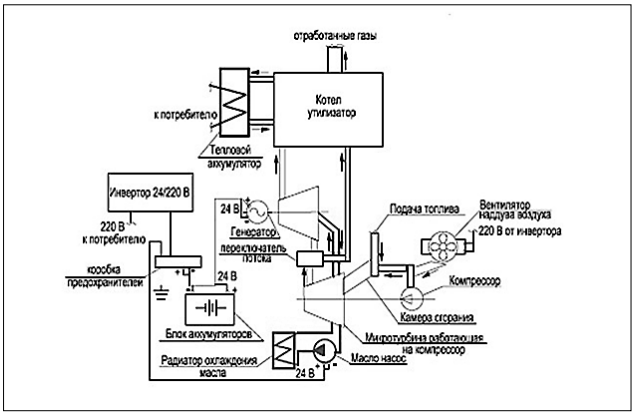


Рис. 1. Принципиальная схема работы микрогазотурбинной установки
Fig. 1. Schematic diagram of operation of the micro gas turbine plant

По мере разряжения установленного электрического и теплового аккумуляторов для их беспрерывной работы предлагается использовать переключатель потоков отработанных газов. Переключатель имеет сервопривод, который начинает работать от сигнала зарядного устройства, размещенного в электрических батареях, и термопары. Для осуществления тепловой энергии необходим тепловой аккумулятор 400 л. Он будет аккумулировать тепло, которое исходит при работе МГТУ, отдавая в систему отопления и горячего водоснабжения. Для дома общей площадью 150 м^2 электрическая мощность будет составлять 10 кВт, а тепловая 30 кВт.

С целью выполнения последовательности действий и достижения конкретной цели составили алгоритм работы установки, который показан на *рисунке 2.*

После включения установки происходит опрос состояния, далее исследуется емкость АКБ. Если заряд АКБ меньше установленного значения, то происходит его подзарядка при напряжении 12,5 В. Когда АКБ зарядилась до нужного значения, запускается надув турбины. Смесь воздуха с газом поступает на лопатки и сжигается в камере сгорания. Затем включается масляная система, необходимая для насосов при прокачке.

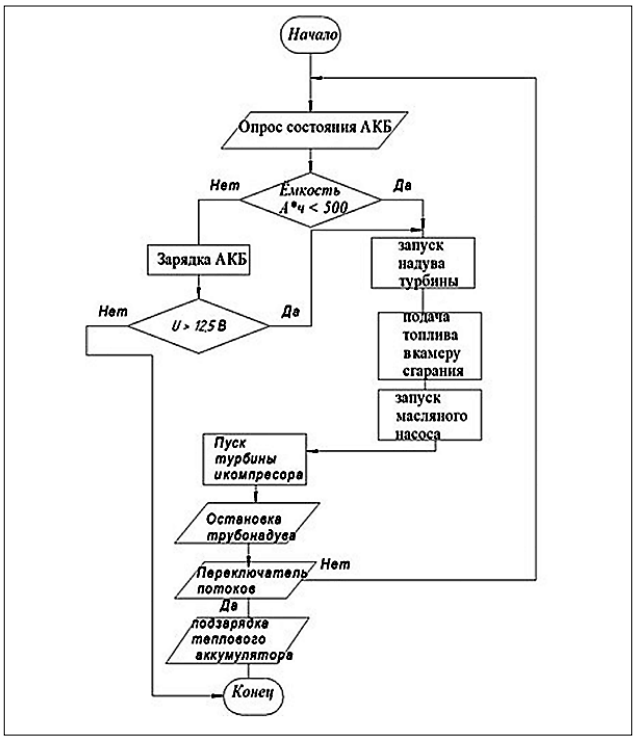


Рис. 2. Алгоритм работы микротурбинной установки
Fig. 2. The algorithm of the microturbine plant

После того как сработала турбина и компрессор, останавливается турбонадув. Для непрерывной работы электрического и теплового аккумулятора используется переключатель потоков отработанных газов. Во время проектирования МГТУ выбрали турбокомпрессор двигателя внутреннего сгорания (ДВС), требуется найти необходимые параметры. Однако методических пособий и расчетов турбокомпрессора от ДВС не существует.

Разработка МГТУ начинается с двигателя, состоящего из: турбокомпрессора ДВС и камеры сгорания. Все расчеты провели согласно методике по определению параметров турбокомпрессора ДВС [12].

Методика расчета турбокомпрессора основана на следующих параметрах: производительности компрессора, необходимой электрической мощности, КПД газотурбинной установки и вида топлива:

$$N_{\text{В}} = \frac{N_{\text{эл}} \cdot \alpha \cdot L_{\text{о}}}{Q_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{э.г.}} \cdot \eta_{\text{с.т.}}(1 - \text{Р})}, \quad (1)$$

где $N_{\text{В}}$ – количество газа, кг/ч;

$N_{\text{эл}}$ – теоретическая электрическая мощность, кВт;

α – коэффициент избытка воздуха;

$L_{\text{о}}$ – количество воздуха кг/кг;

$Q_{\text{т}}$ – процесс горения топлива, кВт·ч/кг;

$\eta_{\text{э.г.}}$ – КПД электрогенератора мощностью 5-10 кВт (0,75-0,85);

$\eta_{\text{с.т.}}$ – коэффициент силовой турбины;

P – теоретический коэффициент, показывающий

долю энергии потока, затрачиваемую на работу компрессора – 60-70% [13, 14].

Для сжигания топливной смеси необходимо придерживаться следующих условий:

$$\alpha = \frac{G_{\text{В}}}{Lo} = \frac{N_B}{Lo}, \quad (2)$$

где α– коэффициент избытка воздуха; $G_{\text{в}}$ – расход воздуха;

$$L_{\text{о}} = \frac{G_{\text{о}}}{0{,}232}, \quad (3)$$

где 0,232 – массовая доля кислорода;

$G_{\text{о}}$ – массовое количество кислорода.

Полученная методика позволяет найти теоретическую электрическую мощность МГТУ по техническим параметрам турбокомпрессора ДВС:

$$N_{\text{эл}} = N_{\text{Т}} \cdot Q_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{э.г.}} \cdot \eta_{\text{с.т.}}(1 - \text{Р}) = \\ = \frac{N_{\text{в}} \cdot Q_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{э.г.}} \cdot \eta_{\text{с.т.}}(1 - \text{Р})}{\alpha \cdot L_{\text{о}}}, \quad (4)$$

где $N_{\text{т}}$ – расход топлива, кг/ч.

При использовании МГТУ для механического привода формула (4) принимает вид:

$$N_{\text{пр}} = N_{\text{Т}} \cdot Q_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{с.т.}}(1 - \text{Р}) = \\ = \frac{N_{\text{в}} \cdot Q_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{с.т.}}(1 - \text{Р})}{\alpha \cdot L_{\text{о}}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{пр}}$ – мощность, кВт.

По формуле осуществлен расчет мощности компрессора:

$$N_{\text{В}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot \alpha \cdot L_{\text{о}}}{Q_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{с.т.}}(1 - \text{Р})}. \quad (6)$$

Автомобильные турбокомпрессоры от ТКР6-ТКР11С31К имеют производительность 0,113-0,3 кг/с или 406-1080 кг/ч.

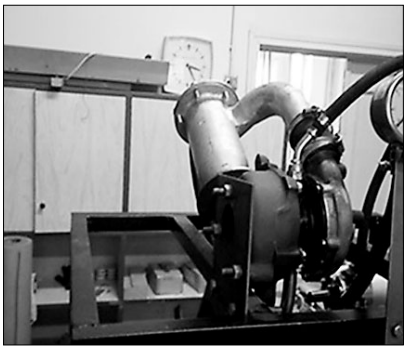


Рис. 3. Турбокомпрессор К27-179-01
Fig. 3. Turbocharger K27-179-01

Данные характеристики позволяют устанавливать их на МГТУ, принцип работы которых основан на пропан-бутановой смеси. На *рисунке 3* представлена экспериментальная МГТУ с двигателем турбокомпрессора К27-179-01.

Выводы. Согласно экспертным оценкам, износ электрических и тепловых сетей составляет 50%, в результате чего повышаются эксплуатационные расходы без учета начальной капитализации оборудования, тем самым образуется препятствие для электроснабжения удаленных и труднодоступных территорий.

Представленная информация указывает на необходимость применения автономных источников энергии. Эти источники могут быть использованы в виде резервного питания либо в снабжении объекта энергией на постоянной основе. В большинстве случаях данные устройства обеспечивают подачу напряжения более высокого качества, чем от центральной сети.

Микрогазотурбинные установки применяются в таких сферах, как: малая энергетика, тяжелая промышленность, сельское хозяйство. В сельском хозяйстве данные установки служат перспективным направлением развития для решения следующих задач: гарантированная подача энергоснабжения на объект, уменьшение себестоимости производства, создание собственных энергетических мощностей.

Разработали принципиальную схему установки, поясняющую принцип работы. Составили алгоритм работы, показывающий последовательность действий. Согласно методике по определению параметров турбокомпрессора ДВС подобрали турбокомпрессор К27-179-01.

Библиографический список

1. Галишина Г.В., Гришин А.Н. Парогазовая установка на базе газотурбинной установки gt26 и котла-утилизатора П-96 // *Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. 2020. N1(22). С. 38-40.
2. Ольховский Г.Г. Авиапроизводные ГТУ для энергетики (обзор) // *Теплоэнергетика*. 2021. N11. С. 26-34.
3. Кесель Б.А., Кесель Л.Г. Энергоэффективность мобильной газотурбинной электростанции малой мощности для электроснабжения буровой установки // *Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева*. 2021. Т. 77. N1. С. 71-75.
4. Rajbhandari S., Limmeechokchai B. Assessment of greenhouse gas mitigation pathways for Thailand towards achievement of the 2°C and 1.5°C Paris Agreement targets. *Climate Policy*. 2021. Vol. 21. Iss. 4. 492-513.
5. Salyga S., Szablowski L., Badyda K. Comparison of constant volume energy storage systems based on compressed air. *International Journal of Energy Research*. 2021. Vol. 45. Iss. 5. 8030-8040.
6. Гуляев И.В., Груздев В.В., Малькова Н.Е. и др. Повышение эффективности газоперекачивающих агрегатов за счет организации потоков циклового воздуха и выхлопных газов // *Автоматизация и IT в нефтегазовой области*. 2022. N2(48). С. 24-31.

7. Садов А.А., Новопашин Л.А. Модель экспериментального стенда для исследования эксплуатационных показателей дизельной электростанции // *Научно-технический вестник: Технические системы в АПК*. 2020. N2(7). С. 4-10.
8. Пассар А.В., Тимошенко Д.В., Фершалов Ю.Я. Влияние конструктивного угла выхода рабочего колеса турбины на характер течения газа в межлопаточном канале // *Двигателестроение*. 2022. N2(288). С. 39-52.
9. Чередниченко А.К. Анализ эффективности применения метанола для судовой газотурбинной установки с термохимической регенерацией тепла отходящих газов // *Проблемы региональной энергетики*. 2019. N1(39). С. 102-111.
10. Guo X., Yang Y., Liu H. Effects of solar radiation on root and shoot growth of maize and the quantitative relationship between them. *Crop Science*. 2021. Vol. 61. Iss. 2.
11. Рыбаков Б.А. Применение водорода в энергетике: вопросы экологии // *Турбины и дизели*. 2021. N1. С. 10-16.
12. Гусаров В.А., Харченко В.В. Микрогазотурбинная установка ГТЭ-10С // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N1(30). С. 49-55.
13. Fedorov V., Sokratov S., Frolov D. The Tendencies of Change of the Incoming Solar Radiation to the Upper Atmosphere Boundary and Their Spatial Localization. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020. Vol. 56. Iss. 9. 1034-1041.
14. Li H., Mahmud A., Arzaghi E., et al. Assessments of economic benefits for hydro-wind power systems: Development of advanced model and quantitative method for reducing the power wastage. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 277. 123823.

References

1. Galishina G.V., Grishin A.N. Parogazovaya ustanovka na baze gazoturbinnoy ustanovki gt26 i kotla-utilizatora P-96 [Combined-cycle gas plant based on gt26 gas turbine unit and P-96 heat recovery boiler]. *Molodezhnyy vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*. 2020. N1(22). 38-40. (In Russian).
2. Ol'khovskiy G.G. Aviaproizvodnye GTU dlya energetiki (obzor) [Aircraft-derived GTU for power engineering (review)]. *Teploenergetika*. 2021. N11. 26-34 (In Russian).
3. Kesel' B.A., Kesel' L.G. Energoeffektivnost' mobil'noy gazoturbinnoy elektrostantsii maloy moshchnosti dlya elektrosnabzheniya burovoy ustanovki [Energy efficiency of a low-power mobile gas turbine power plant for power supply of a drilling rig]. *Vestnik KGTU im. A.N. Tupoleva*. 2021. Vol. 77. N1. 71-75 (In Russian).
4. Rajbhandari S., Limmeechokchai B. Assessment of greenhouse gas mitigation pathways for Thailand towards achievement of the 2°C and 1.5°C Paris Agreement targets. *Climate Policy*. 2021. Vol. 21. Iss. 4. 492-513.
5. Salyga S., Szablowski L., Badyda K. Comparison of constant volume energy storage systems based on compressed air. *International Journal of Energy Research*. 2021. Vol. 45. Iss. 5. 8030-8040.
6. Gulyaev I.V., Gruzdev V.V., Mal'kova N.E., et al. Povyshenie effektivnosti gazoperekachivayushchikh agregatov za schet organizatsii potokov tsiklovogo vozdukha i vykhlopnykh gazov [Improving the efficiency of gas pumping units by organizing the flow of cyclic air and exhaust gases]. *Avtomatizatsiya i IT v neftegazovoy oblasti*. 2022. N2(48). 24-31 (In Russian).
7. Sadov A.A., Novopashin L.A. Model' eksperimental'nogo stenda dlya issledovaniya ekspluatatsionnykh pokazateley dizel'noy elektrostantsii [Model of an experimental stand for the study of operational indicators of a diesel power plant]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik: Tekhnicheskie sistemy v APK*. 2020. N2(7). 4-10 (In Russian).
8. Passar A.V., Timoshenko D.V., Fershalov Yu.Ya. Vliyanie konstruktivnogo ugla vykhoda rabochego kolesa turbiny na kharakter techeniya gaza v mezhlopatochnom kanale [Influence of the design angle of the turbine impeller outlet on the gas flow in the inter-blade channel]. *Dvigatelestroyenie*. 2022. N2(288). 39-52 (In Russian).
9. Cherednichenko A.K. Analiz effektivnosti primeneniya metanola dlya sudovoy gazoturbinnoy ustanovki s termokhimicheskoy regeneratsiey tepla otkhodyashchikh gazov [Effectiveness of the use of methanol for a marine gas turbine plant with thermochemical recovery of waste gas heat]. *Problemy regional'noy energetiki*. 2019. N1(39). 102-111 (In Russian).
10. Guo X., Yang Y., Liu H. Effects of solar radiation on root and shoot growth of maize and the quantitative relationship between them. *Crop Science*. 2021. Vol. 61. Iss. 2.
11. Rybakov B.A. Primenenie vodoroda v energetike: voprosy ekologii [The use of hydrogen in energy: environmental issues]. *Turbiny i dizeli*. 2021. N1. 10-16 (In Russian).
12. Gusarov V.A., Kharchenko V.V. Mikrogazoturbinnaya ustanovka GTE-10S [Micro gas turbine installation GTE-10S]. *Vestnik VIESH*. 2018. N1(30). 49-55 (In Russian).
13. Fedorov V., Sokratov S., Frolov D. The Tendencies of Change of the Incoming Solar Radiation to the Upper Atmosphere Boundary and Their Spatial Localization. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020. Vol. 56. Iss. 9. 1034-1041.
14. Li H., Mahmud A., Arzaghi E., et al. Assessments of economic benefits for hydro-wind power systems: Development of advanced model and quantitative method for reducing the power wastage. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 277. 123823.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Гусаров В.А. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, разработка теоретических предпосылок, доработка текста, формирование общих выводов и литературный анализ;

Миронов М.П. – подготовка начального варианта статьи, проведение теоретических и экспериментальных исследований, обработка результатов исследований, визуализация.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Gusarov V.A. – scientific guidance, writing the main research directions, and theoretical prerequisites, general conclusions and literary analysis, revision of the manuscript;

Mironov M.P. – writing the manuscript, conducting theoretical and experimental studies, processing research results, visualization.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 08.07.2022
Статья принята к публикации 09.09.2022

УДК 631.331

CC BY

DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-49-55

Автоматизированные технические средства в посевной технике для селекции и семеноводства сельхозкультур

Арсен Хасанбиевич Текушев,
кандидат технических наук, e-mail: kmk3.vim@mail.ru;
Михаил Евгеньевич Чаплыгин,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
Андрей Сергеевич Чулков,
кандидат технических наук;
Марсель Марселевич Шайхов,
ведущий специалист, , e-mail: mars.shaihov@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Средства автоматизации посевных машин – комплекс специальных электронных технических средств, предназначенных для обеспечения высокой производительности, повышения качества и надежности выполнения технологического процесса посева. (Цель исследования) Выполнить обзор и провести анализ конструкций и технических характеристик автоматизированных селекционных сеялок для посева зерновых и других культур на опытных делянках. (Материалы и методы) Представили ряд автоматизированных технических средств для посева различных сельхозкультур в целях селекции и первичного семеноводства. Проанализировали различные конструктивные решения и отметили наиболее рациональные элементы конструкций применяемых машин. (Результаты и обсуждение) Подготовили обзор селекционных сеялок, оснащенных различными системами автоматизации и контроля технологического процесса. (Выводы) В ближайшей перспективе развития отечественного сельхозмашиностроения должно наблюдаться интенсивное внедрение автоматизированных систем управления и контроля технологических процессов, гибридных и аккумуляторных электроприводов, в том числе и в селекционной посевной технике. Анализ конструкций представленных образцов селекционных сеялок показал важные направления повышения их технического уровня и совершенствования машинных технологий селекционного посева сельхозкультур.*
Ключевые слова: *селекционная сеялка, семеноводство, посев зерновых, автоматизированное техническое средство, технологический процесс, система управления и контроля, высевающее устройство, рабочий орган.*

Для цитирования: Текушев А.Х., Чаплыгин М.Е., Чулков А.С., Шайхов М.М. Автоматизированные технические средства в посевной технике для селекции и семеноводства сельхозкультур // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 49-55. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-49-55. EDN GYNJWX.

The Automated Technical Means in Sowing Equipment for Breeding and Seed Production of Agricultural Crops

Arsen Kh. Tekushev,
Ph.D.(Eng.), e-mail: kmk3.vim@mail.ru;
Mikhail E. Chaplygin,
Ph.D.(Eng.), chief researcher;
Andrey S. Chulkov,
Ph.D.(Eng.);
Marsel' M. Shaykhov,
leading specialist, e-mail: mars.shaihov@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Means of automation of sowing machines – a set of special electronic technical means designed to ensure high productivity, improve the quality and reliability of the sowing process. (Research purpose)*

To review and analyze the designs and technical characteristics of automated selection planters for sowing grain and other crops in experimental plots. (Materials and methods) Presented a number of automated technical means for sowing various crops for breeding and primary seed production. We analyzed various design solutions and noted the most rational structural elements of the machines used. (Results and discussion) Prepared an overview of selective seeders equipped with various automation and process control systems. (Conclusions) In the near future development of the domestic agricultural machinery industry, intensive introduction of automated control and monitoring systems for technological processes, hybrid and battery electric drives, including in selective sowing equipment, should be observed. An analysis of the designs of the presented samples of selective seeders showed important directions for improving their technical level and improving machine technologies for selective sowing of crops.

Keywords: *breeding seeder, seed production, grain crops sowing, automated technical means, technological process, management and control system, seeding device, working body.*

For citation: Tekushev A.Kh., Chaplygin M.E., Chulkov A.S., Shaykhov M.M. Avtomatizirovannye tekhnicheskie sredstva v posevnoy tekhnike dlya selektsii i semenovodstva sel'khozkul'tur [The automated technical means in sowing equipment for breeding and seed production of agricultural crops]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 49-55 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-49-55. EDN GYNJWX.

Средства автоматизации посевных машин – комплекс специальных электронных технических средств и систем, предназначенных для обеспечения высокой производительности, повышения качества и надежности выполнения технологического процесса посева. Повышение технического уровня сеялок, совершенствование машинных технологий селекционных посевов сельхозкультур существенно зависят от внедрения автоматизированных систем управления и контроля технологических процессов, в том числе с применением гибридных и аккумуляторных электроприводов. В настоящее время остро стоит задача импортозамещения указанных технических средств на основе развития отечественной элементной базы [1-4].

Цель исследования – выполнить обзор и провести анализ конструкций и технических характеристик автоматизированных селекционных сеялок для посева зерновых и других культур на опытных делянках.

Материалы и методы. Представили ряд автоматизированных технических средств для выполнения технологий посева различных сельхозкультур в целях селекции и первичного семеноводства. Проанализировали различные технические решения и отметили наиболее рациональные элементы конструкций применяемых машин.

Результаты и обсуждение. При относительно небольшом объеме рынка селекционных сеялок в Российской Федерации их производством занято значительное количество компаний. Это компании МСНПП «КЛЕН» (сеялки «Клен-1,5»; «Клен-2,8»), ПАО «Миллеровосельмаш» («Селекта-2,8 С»), ФГБНУ «АНЦ «Донской» («Деметра») и другие. Широко представлены на российском рынке компании *Zürn Harvesting GmbH & Co. KG* (Германия) с селекционными сеялками серии *D* и наиболее распространенными моделями *ZÜRN* (*D82*, *D90*, *D92*); *WINTERSTEIGER AG* (Австрия) с селекционными сеялками *Rowseed* различных серий *S*, *XL*, *XXL*, *TC* и других. В ФНАЦ ВИМ разработано много моделей селекционных сеялок для различных этапов селекционно-семеноводческих работ, в том числе экспериментальный образец сеялки для посева колосьями [5-7].

Привели обзор селекционных сеялок, оснащенных различными системами автоматизации и контроля технологического процесса. Представили краткое описание некоторых моделей с приведением технических характеристик и указанием рациональных элементов конструкций.

Селекционная сеялка «Клен-1,5» (изготовитель – МСНПП «КЛЕН») представлена на *рисунке 1.*

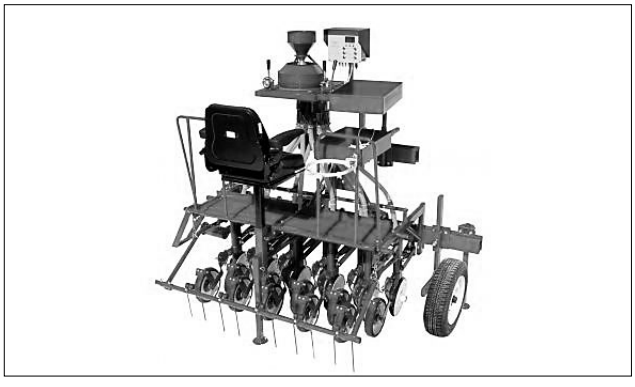


Рис. 1. Сеялка селекционная «Клен-1,5»
Fig. 1. Breeding seeder «Klen-1.5»

По данным разработчиков машины, благодаря автоматизированной системе управления и контроля работы высевающая система «Клен» позволяет точно дозировать семена различных культур (от амаранта до сои). Минимальная норма высева – 200 г/га. Контроль работы высевающего аппарата – электронный со световой и звуковой сигнализацией неис-

правности. Реализованы автоматический учет пройденных делянок и скорости движения сеялки. Переход от мелкосеменных культур к крупносеменным и обратно осуществляется с помощью пульта управления. В памяти пульта управления сохраняется до 50 комбинаций параметров посева, что можно использовать при настройке сеялки на различные нормы высева и фракции семян. Датчик скорости и движения, расположенный внутри опорного колеса, постоянно считывает информацию, используемую для автоматической корректировки работы высевающего аппарата.

Селекционная сеялка «Клен-2,8» (МСНПП «КЛЕН») (*рис. 2*) –пневматическая сеялка точного высева.

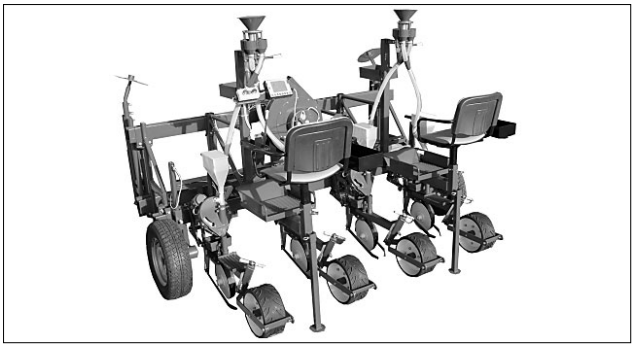


Рис. 2. Сеялка селекционная «Клен-2,8»
Fig. 2. Breeding seeder «Klen-2,8»

По данным изготовителя, высевающий аппарат сеялки – вакуумный дозатор с электроприводом, оснащенный электронным управлением и контролем посевного процесса. Высевающая система «Клен» позволяет дистанционно с пульта управления задавать и при необходимости корректировать параметры высева, вести статистический учет засеянной площади и контролировать процесс работы машины.

Селекционная сеялка «Селекта-2,8С» (изготовитель – ПАО «Миллеровосельмаш») (*рис. 3* – с сайта https://подшипникмашсаратов.рф) оснащается высевающей системой с микропроцессорным управлением и контролем высева.

Рис. 3. Сеялка селекционная «Селекта-2,8С»
Fig. 3. Breeding seeder «Selekta-2,8S»

Основные показатели селекционной сеялки «Селекта-2,8С»: настройка нормы высева – с пульта оператора, индивидуальный электропривод каждого дозатора, отсутствие механических редукторов, валов и цепей, отображение качества высева на пульте оператора.

Селекционная сеялка «Деметра» (изготовитель – ФГБНУ «АНЦ «Донской», Ростовская область, г. Зерноград) (*рис. 4* – с сайта https://skmis.ru) рекомендована к применению в сельхозпроизводстве Северо-Кавказской МИС (протокол испытаний № 11-02-20 (1030022) от 15.07.2020 г.).

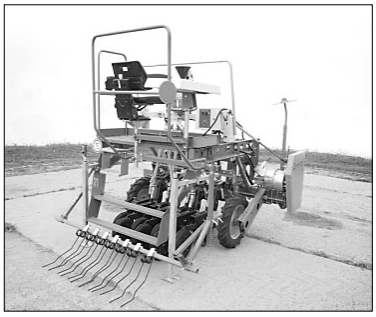


Рис. 4. Сеялка селекционная «Деметра»
Fig. 4. Breeding seeder «Demetra»

Электронная система параллельного вождения *Agr Own Guidance* обеспечивает возможность автоматического управления посевом, располагая делянки на поле в соответствии со схемой опыта. Навигационная система включает комплект навигации для селекционных сеялок *Agr Own Seed Master*, базовую станцию *RTK – Agr Own Base*, два дисплея (для тракториста и оператора сеялки).

На *рисунке 5* представлена селекционная сеялка *ZÜRN D82* (изготовитель – *Zürn Harvesting GmbH & Co. KG*, Германия).

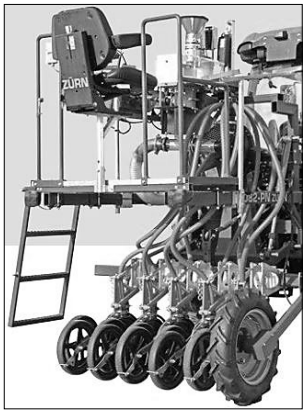


Рис. 5. Сеялка селекционная *ZÜRN D82*
Fig. 5. Breeding seeder *ZÜRN D82*

Система автоматического выравнивания при работе на склонах обеспечивает равномерное распределение семенного материала. Специальный контроллер отслеживает длину делянки. Сеялки селекционные *ZÜRN D90*/*D92* производят высев автома-

тически с использованием магазинной системы. Помещенный в магазинные камеры посевной материал подается к ленточным головкам высевающего аппарата без перемешивания сортов, и семена каждого сорта поступают в отдельный посевной ряд. Сеялка селекционная *ZÜRN D96* управляется автоматически из кабины трактора. Быстрая настройка параметров посева, управление и привод обеспечиваются посредством электронного приводно-управляющего узла.

Селекционная сеялка *HALDRUP SB-25* (изготовитель – *HALDRUP GmbH*, Германия) (*рис. 6*) имеет стальную головку (диаметр – 29 см), электрическую систему поднятия воронок, автоматическую систему навески головки и бесступенчатую систему настройки на длину делянок от 1,5 до 26 м (при ступенчатом регулировании с цепью – от 0,75 до 34 м).

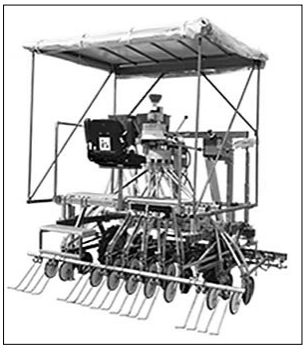


Рис. 6. Сеялка селекционная *HALDRUP SB-25*
Fig. 6. Breeding seeder *HALDRUP SB-25*

Сеялка селекционная *HALDRUP SP-35* предназначена для пунктирного высева калиброванных и некалиброванных семян кукурузы, подсолнечника, клещевины, сорго, сои, рапса и других культур с одновременным, раздельным от семян внесением гранулированных минеральных удобрений и прикатыванием почвы в рядках (количество посевных рядков – от 2 до 18). Имеет модульную конструкцию, создана на базе сеялки *Monosem*. Оснащена пневматической системой транспортировки семян от распределителя до баков, а также различными современными системами контроля, в том числе *GPS*.

Сеялка селекционная *Monoseed B*/*GP*/*DT* (изготовитель – *WINTERSTEIGER AG*, Австрия) приведена на *рисунке 7*.

Посев полностью автоматизирован. Зерновые ящики вместимостью 6 л на каждый ряд позволяют засевать большие делянки или участки размножений. Пуск посевного цикла выполняется с помощью измерительного колеса с телеметрическим датчиком. Сигнал датчика может корректироваться системой тросового управления или сигналом *GPS*.

Система контроля регистрирует каждое зерно, попадающее из высевающего аппарата в сошник. В случае превышения количества высеянных семян, в сравнении с предварительно настроенным количеством, раздается звуковой сигнал.

Рис. 7. Сеялка селекционная *Monoseed B*/*GP*/*DT*
Fig. 7. Breeding seeder *Monoseed B*/*GP*/*DT*

После прохождения делянки на дисплее отображается количество семян, высеянных в каждый ряд. Вместе с документацией по делянке полученные данные записываются на карту памяти и в дальнейшем могут быть обработаны. При использовании сеялки селекционной *Rowseed* (*S*, *XL*, *XXL*, *TC*) благодаря системе глобального контроля высева *GSC* (*global seed control*) посев производится полностью автоматически.

Сеялка селекционная *Dynamic Disc* с возможностью припосевного внесения удобрений оснащена надежным электрическим приводом высевающих элементов, обеспечивающим высокую производительность и точность посева. Система *GSC* объединяет все функции управления, гарантирующие высокую точность распределения семян. Подача семенного материала может осуществляться различными способами: раздельным способом (одна загрузочная воронка на каждый ряд); с помощью центрального дозатора посевного материала (семена одного сорта распределяются по всем рядкам делянки); с использованием кассетного стола (семена засыпаются в четырех- или шестирядные кассеты); с помощью устройства продолжительного высева (применяются зерновые ящики вместимостью 6 л для каждого ряда, что позволяет засевать большие делянки или участки размножения). Норма внесения удобрений устанавливается индивидуально для каждого ряда. Электрический привод разбрасывателя удобрений регулируется с учетом скорости движения сеялки.

В ФНАЦ ВИМ разработан опытный образец самоходной селекционной сеялки «ССС-2-6» (*рис. 8*). На самоходном шасси ВТЗ-30СШ установлены несущая рама и привод высевающего аппарата, адаптированные для работы с агрегатами сеялки *Wintersteiger Rowseed S*. Высевающий аппарат обеспечивает одновременный высев различных образцов семян отдельно в каждый рядок длиной от 1 до 5 м. Кассет-

ное загрузочное устройство управляется компьютером [8-10].

Рис. 8. Сеялка селекционная самоходная «ССС-2-6»
Fig. 8. Self-propelled breeding seeder «SSS-2-6»

Выводы. В связи с остро стоящими перед машиностроением страны задачами импортозамещения, в ближайшей перспективе на основе развития отечественной элементной базы должно наблюдаться интенсивное внедрение автоматизированных систем управления и контроля технологических процессов, гибридных и аккумуляторных электроприводов на сельхозмашинах, в том числе и в селекционной посевной технике. Анализ конструкций представленных образцов селекционных сеялок и имеющихся данных об их использовании показал важные направления повышения технического уровня посевных машин, совершенствования машинных технологий селекционного посева сельхозкультур с сохранением сортовой чистоты, обеспечением технико-экономической эффективности, экологической безопасности, улучшением условий труда операторов.

Библиографический список

1. Федоренко В.Ф., Буклагин Д.С., Колчина Л.М. и др. Машины для селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства полевых культур. М.: Росинформагротех. 2009. 224 с.
2. Анискин В.И., Некипелов Ю.Ф. Механизация опытных работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых и зернобобовых культур. М.: ВИМ. 2004. 200 с.
3. Михеев В.В., Хамуев В.Г., Текушев А.Х. и др. Инновационное технологическое и техническое совершенствование селекции и семеноводства сахарной свеклы // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N3(32). С. 66-75.
4. Шайхов М.К., Шайхов М.М., Хисметов Н.З. и др. К вопросу обновления парка посевных машин // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2020. N6. С. 70-73.
5. Шайхов М.К., Жалнин Э.В., Шайхов М.М. и др. К разработке селекционной сеялки для посева зерновых культур колосьями // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N3(32). С. 114-120.
6. Чаплыгин М.Е., Шайхов М.М., Чулков А.С., Подзоров А.В. Определение показателей ленто-кассетного высевающего устройства для селекционного посева зерновых культур колосьями // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N2. С. 56-61.
7. Шайхов М.К., Сизов О.А., Шайхов М.М. и др. Универсальная селекционно-фермерская сеялка // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. N3. С. 39-43.
8. Lavrov A., Smirnov I., Litvinov M. Justification of the construction of a self-propelled selection seeder with an intelligent seeding system. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 224. 05011.
9. Yaropud V., Datsiuk D. By improving breeding seeder sowing device small seeded crops. *Vibrations in Engineering and Technology*. 2021. Iss. 1(100). 152-162.
10. Zhu Q., Wu G., Chen L., et al. Structural design and optimization of seed separated plate of wheat wide-boundary sowing device. Nongye Gongcheng Xuebao. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 35. Iss. 1. 1-11.
11. Годжаев З.Д., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Ценч Ю.С., Зубина В.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (Прогноз) // *Технический сервис машин*. 2019. N4(137). С. 220-229.
12. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Квас С.А. Технология комбинированного способа посева и высевающие аппараты для его осуществления // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N4(33). С. 61-65.
13. Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N3. С. 45-52.
14. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С.и др. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мабильного агрегата // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. N4. С. 63-68.
15. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Миронова А.В. Разработка и исследование дозирующей системы высевающего устройства пневматической сеялки // *Техника и оборудование для села*. 2021. N6(288). С. 8-11.
16. Лобаческий Я.П. Проблема механизации работ в селекции и семеноводстве. В сб. "Золотая осень" – демонстрация достижений российских аграриев, материалы мероприятий в рамках деловой программы 11-й Российской агропромышленной выставки, 9-12 октября 2009 г. Москва: Минсельхоз РФ. Росинформагротех. 2010. С. 110-111.
17. Измайлов А.Ю., Гришин А.А., Гришин А.П., Лобачевский Я.П. Экспертные системы интоеллектуальной автоматизации технических средств сельскохозяйственного назначения // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий. Сб. научных докладов Международной

научно-технической конференции. 2014.С. 379-382.
18. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Развитие производств техники для селекции и семеноводства – одна их приоритетных задач сельскохозяйственного машиностроения. В сб.: Состояние и развитие регионального машиностроения. М.: 2010. С. 96-103.
19. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Кынев Н.Г. ВИМ – основатель производства селекционной техники в России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2008. N4. С. 9-11.

References

1. Fedorenko V.F., Buklagin D.S., Kolchina L.M., et al. Mashiny dlya selektsii, sortoispytaniya i pervichnogo semenovodstva polevykh kul'tur [Machines for breeding, variety testing and primary seed production of field crops]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2009. 224 (In Russian).
2. Aniskin V.I., Nekipelov Yu.F. Mekhanizatsiya opytnykh rabot v selektsii, sortoispytanii i pervichnom semenovodstve zernovykh i zernobobovykh kul'tur [Mechanization of experimental work in breeding, variety testing and primary seed production of grain and leguminous crops]. Moscow: VIM. 2004. 200 (In Russian).
3. Mikheev V.V., Khamuev V.G., Tekushev A.Kh., et al. Innovatsionnoe tekhnologicheskoe i tekhnicheskoe sovershenstvovanie selektsii i semenovodstva sakharnoy svekly [Innovative technological and technical improvement of sugar beet breeding and seed production]. *Vestnik VIESH*. 2018. N3(32). 66-75 (In Russian).
4. Shaykhov M.K., Shaykhov M.M., Khismetov N.Z., et al. K voprosu obnovleniya parka posevnykh mashin [The issue of updating the park of sowing machines]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2020. N6. 70-73 (In Russian).
5. Shaykhov M.K., Zhalnin E.V., Shaykhov M.M., et al. K razrabotke selektsionnoy seyalki dlya poseva zernovykh kul'tur kolos'yami [Developing a breeding seeder for sowing grain crops with ears]. *Vestnik VIESH*. 2018. N3(32). 114-120 (In Russian).
6. Chaplygin M.E., Shaykhov M.M., Chulkov A.S., Podzorov A.V. Opredelenie pokazateley lento-kassetnogo vysevayushchego ustroystva dlya selektsionnogo poseva zernovykh kul'tur kolos'yami [Specifying the indicators of a breeding tape-cassette sowing device for sowing grain crops by ears]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N2. 56-61 (In Russian).
7. Shaykhov M.K., Sizov O.A., Shaykhov M.M., et al. Universal'naya selektsionno-fermerskaya seyalka [Universal breeding and farming seeder]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2014. N3. 39-43 (In Russian).
8. Lavrov A., Smirnov I., Litvinov M. Justification of the construction of a self-propelled selection seeder with an intelligent seeding system. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 224. 05011.
9. Yaropud V., Datsiuk D. By improving breeding seeder sowing device small seeded crops. *Vibrations in Engineering and Technology*. 2021. Iss. 1 (100). 152-162.
10. Zhu Q., Wu G., Chen L., et al. Structural design and optimization of seed separated plate of wheat wide-boundary sowing device. Nongye Gongcheng Xuebao. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 35. Iss. 1. 1-11.
11. Godzhaev Z.D., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu.S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda (Prognoz) [Strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia until 2030 (Forecast)]. *Tekhnicheskiy servis mashin*. 2019. N4(137). 220-229 (In Russian).
12. Ahalaya B.Kh., Tsench Yu.S., Kvas S.A. Tekhnologiya kombinirovannogo sposoba poseva i vysevayushchie apparaty dlya ego osushchestvleniya [Technology of the combined method of sowing and seeding machines for its implementation]. *Vestnik VIESH*. 2018. N4(33). 61-65 (In Russian).
13. Nesmiyan A.Yu., Tsench Yu.S. Tendentsii i perspektivy razvitiya otechestvennoy tekhniki dlya poseva zernovyh kul'tur [Trends and prospects of development of domestic equipment for sowing grain crops]. *Sel'skohozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N3. 45-52 (In Russian).
14. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy YaA.P., Tsench Yu.S., et al. O sinteze robotizirovannogo sel'skokhozyaystvennogo mabil'nogo agregata [About the synthesis of a robotic agricultural mobile unit]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2019. N4. 63-68 (In Russian).
15. Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S., Mironova A.V. Razrabotka i issledovanie doziruyushchey sistemy vysevayushchego ustroystva pnevmaticheskoy seyalki [Development and research of the dosing system of the pneumatic seeder sowing device]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2021. N6(288). 8-11 (In Russian).
16. Lobacheskiy Ya.P. Problema mekhanizatsii rabot v selektsii i semenovodstve. V sb. "Zolotaya osen" – demonstratsiya dostizheniy rossiyskikh agrariev, materialy meropriyatiy v ramkakh delovoy programmy 11 Rossiyskoy agropromyshlennoy vystavki, 9-12 oktyabrya 2009 g. Moscow: Minsel'khoz RF. Rosinformagrotekh. 2010. 110-111 (In Russian).
17. Izmaylov A.Yu., Grishin A.A., Grishin A.P., Lobachevskiy Ya.P. Ekspertnye sistemy intoellektual'noy avtomatizatsii tekhnicheskikh sredstv sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Expert systems of intelligent automation of agricultural equipment]. Innovatsionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy. Sb. nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. 2014. 379-382 (In Russian).

18. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Razvitie proizvodstv tekhniki dlya selektsii i semenovodstva – odna ikh prioritetnykh zadach sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya [The development of machinery for breeding and seed production is one of the priority tasks of agricultural engineering]. V sb.: Sostoyanie i razvitie regional'nogo mashinostroeniya. Moscow: 2010. 96-103 (In Russian).
19. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Kynev N.G. VIM – osnovatel' proizvodstva selektsionnoy tekhniki v Rossii [VIM is the founder of the production of breeding equipment in Russia]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2008. N4. 9-11 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Текушев А.Х. – составление начального варианта статьи, доработка текста, визуализация материалов, формирование общих выводов;

Чаплыгин М.Е. – формулирование основных целей и задач исследования, доработка текста, формирование общих выводов;

Чулков А.С. – доработка текста и оформление материалов, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи;

Шайхов М.М. – анализ литературных источников, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Tekushev A.H. – writing the initial draft, revision of the text and design of materials, visualization of research results, writing general conclusions;

Chaplygin M.E. – writing the main goals and objectives of the study, revision of the manuscript, writing general conclusions;

Chulkov A.S. – revision of the manuscript and design of materials, writing general conclusions, final processing of the manuscript;

Shaykhov M.M. – analysis of literary sources, writing general conclusions, final processing of the manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 10.07.2022
Статья принята к публикации 15.09.2022

УДК 631.53.01 CC BY DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-56-62

Лабораторные испытания гравитационной колонки при очистке и калибровке семян сои

Виктор Геннадьевич Хамуев,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: victor250476@yandex.ru;
Максим Николаевич Московский,
доктор технических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник;
Станислав Александрович Герасименко,
младший научный сотрудник;
Сергей Игоревич Борзенко,
младший научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *С увеличением посевных площадей сои возрастает и нагрузка на зерноочистительные машины, где основным рабочим органом для очистки традиционно остается решето. Самый большой недостаток решета – это его забиваемость примесями и половинками семян сои. Наблюдается засоренность дробленой соей (половинок сои) в конечном продукте. Для решения данного вопроса необходимо разработать аппарат с высокими показателями качества конечного продукта (отсутствие дробленой сои) и низким энергопотреблением. (Цель исследования) Провести лабораторные исследования гравитационной установки для высокоэффективной сепарации и калибровки семян сои. (Материалы и методы) Представили общий вид, конструктивную и технологическую схемы гравитационной очистительной машины. Определили, что опытный образец очистительной машины может производить как очистку, так и калибровку семян сои. Испытали разработанную установку для очистки и калибровки семян сои гравитационным способом. (Результаты и обсуждение) Установили, что с увеличением количества выделяемого материала во фракцию отход повышается чистота семян во фракции семена. Показали, что потери семян с увеличением массы фракции отход увеличиваются до 19,15 процентов, но по качеству они резко отличаются от семян в очищенном материале; масса 1000 штук семян оказалась ниже в 1,4-2,6 раза. Выявили, что при выделении в отход 4,26 процентов материала масса 1000 штук семян в отходе равнялась 102,03 грамма, а в очищенном материале 224,89 грамм; при калибровании чистота каждой фракции соответствующего размера составила не менее 98,96 процентов. (Выводы) Констатировали, что установка при производительности до 3,619 тонн в час позволяет получать семена сои категории оригинальные и элитные семена ГОСТ Р 52325-2005 и при этом потери семян составили 0,46-1,38 процентов, но это неполноценные семена с массой 1000 штук и более, чем в два раза меньшей массы 1000 штук семян в очищенном материале.*

Ключевые слова: *семена сои, очистка семян, сортировка семян, сепарация семян, гравитационная колонка, калибровка.*

Для цитирования: Хамуев В.Г., Московский М.Н., Герасименко С.А., Борзенко С.И. Лабораторные испытания гравитационной колонки при очистке и калибровке семян сои // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 56-62. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-56-62. EDN CWYYNU.

Laboratory Testing of a Gravity Column for Cleaning and Calibrating of Soybean Seeds

Viktor G. Khamuev,
Ph.D.(Eng.), leading researcher; e-mail: victor250476@yandex.ru;
Maksim N. Moskovskiy,
Dr.Sc.(Eng.), professor of the Russian Academy of Sciences, chief researcher;
Stanislav A. Gerasimenko,
junior researcher;
Sergei I. Borzenko,
junior researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *With the increase in the sown areas of soybeans, the load on grain cleaning machines also increases, where the sieve traditionally remains the main part for cleaning. The biggest drawback of the sieve is its clogging with impurities and halves of soybean seeds. There is impurity of crushed soy (soy halves) in the final product. To solve this issue, it is necessary to develop a device with high quality indicators of the final product (absence of crushed soy) and low energy consumption. (Research purpose) The research purpose is conducting laboratory studies of a gravity plant for high efficient separation and calibration of soybean seeds. (Materials and methods) The article presents the design and technological schemes of the gravity cleaning machine. The prototype of the cleaning machine can perform both cleaning and calibration of soybean seeds. Authors tested the developed plant for cleaning and calibration of soybean seeds by gravity. (Results and discussion) With an increase in the amount of material released into the waste fraction, the purity of seeds in the seed fraction increases. Seed losses increase to 19.15 percent with an increase in the mass of the waste fraction, but they differ sharply in quality from seeds in the purified material; the mass of 1000 pieces of seeds was 1.4-2.6 times lower. When 4.26 percent of the material was put into the waste, the mass of 1000 pieces of seeds in the waste was 102.03 grams, and in the purified material of 224.89 grams; during calibration, the purity of each fraction of the corresponding size was at least 98.96 percent. (Conclusions) The plant with a capacity of up to 3,619 tons per hour allows separating and calibrating soybean seeds of the original and elite seeds category GOST R 52325-2005. At the same time seed losses are of 0.46-1.38 percent, but these are defective seeds with a mass of 1000 pieces more than twice the mass of 1000 pieces of seeds in the purified material.*

Keywords: *soybean seeds, seed cleaning, seed sorting, seed separation, gravity column, calibration.*

For citation: Khamuev V.G., Moskovskiy M.N., Gerasimenko S.A., Borzenko S.I. Laboratornye ispytaniya gravitatsionnoy kolonki pri ochistke i kalibrovke semyan soi [Laboratory testing of a gravity column for cleaning and calibrating of soybean seeds]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 56-62. (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-56-62. EDN CWYYNU.

Соя – ключевая культура в агропроизводстве как в Российской Федерации, так и в мире [1-3]. Она обладает высокой урожайностью и содержит до 50% белка. Посевные площади сои в 2021 году выросли на 5,7% по сравнению с 2020 годом, и составили 3021,0 тыс. га в РФ [4-6]. С увеличением посевных площадей возрастает и нагрузка на зерноочистительные машины, где основным рабочим органом для очистки сои традиционно остается решето [7-9]. Самый большой недостаток решета – это его забиваемость примесями и половинками семян сои [10-12]. Важно отметить, что наблюдается засоренность дробленой соей (половинок сои) в конечном продукте [13-15]. Для решения данного вопроса необходимо разработать аппарат с высокими показателями качества конечного продукта (отсутствие дробленой сои) и низким энергопотреблением.

Цель исследования – провести лабораторные исследования гравитационной установки для высокоэффективной сепарации и калибровки семян сои.

Материалы и методы. Качество работы установки определили согласно ГОСТ 33735-2016 «Техника сельскохозяйственная. Машины зерноочистительные. Методы испытаний». Лабораторные испытания включали две серии опытов:

- при одинаковой производительности и разном соотношении выходов;

- при разной производительности и одинаковом соотношении выходов.

Испытания при одинаковой производительности калибратора и разном соотношении выходов

Исходный материал – соя влажностью 9,8% с чистотой 96,11%, с содержанием примеси 3,89% удовлетворял исходным требованиям [16-23].

Примеси состояли из размолотых стручков 1,33% длиной до 30 мм, 0,71% щуплых семян сои, 1,17% битых семян и 0,68% мертвого сора.

Испытания осуществили при одинаковой производительности 2,5±5% т/ч и разном соотношении выходов, в центральном канале установили гребенки с зазором 8,0 и 7,0 мм, а в боковых – с зазором: 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 мм.

Исследования выполнили на разработанной в ФНАЦ ВИМ установке для очистки и калибровки семян сои (*рис. 1*).

Установка состоит из корпуса *1*, внутри которого вмонтированы держатели *2* для кронштейнов *3* с сепарирующими прутковыми гребенками *4*, образующими зигзагообразные центральный *5* и боковые *6* гравитационные сепарирующие каналы (*рис. 1*).

Сепарирующие прутковые гребенки *4*, закрепленные болтовыми соединениями на кронштейнах *3*, представляют собой консольно-закрепленные в планке вогнутые прутки из пружинной проволоки. Цен-

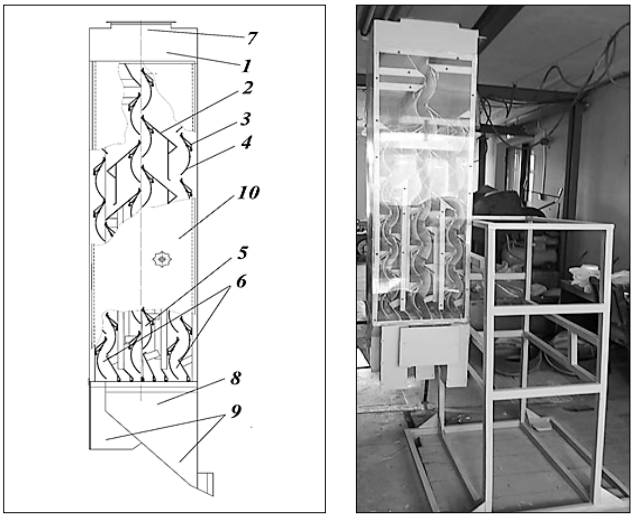


Рис. 1. Конструктивно-компоновочная схема и общий вид установки: 1 – корпус; 2 – держатели; 3 – кронштейны; 4 – сепарирующие прутковые гребенки; 5, 6 – центральный и боковые гравитационные сепарирующие каналы; 7 – приемная камера; 8 – приемник фракций; 9 – патрубки вывода фракций; 10 – запирающая дверца

Fig. 1. Layout and general view of the installation: 1 – housing; 2 – holders; 3 – brackets; 4 – separating rod combs; 5 and 6 – central and side gravity separating channels; 7 – receiving chamber; 8 – fraction receiver; 9 – fraction output pipes; 10 – locking door

тральный канал *4*, предназначенный для выделения крупных фракций, содержит 12 штук гребенок, а боковые 5 (выделение мелкой фракции) по 8 штук.

В верхней части корпуса вмонтирована приемная камера *7* исходного материала, через выходное отверстие которой он самотеком поступает в центральный канал *5*. К нижней части корпуса *1* крепится приемник фракций *8*, который включает патрубки вывода *9* крупной, средней и мелкой фракций.

Для обеспечения доступа к просеивающим устройствам, осмотра и смены прутковых гребенок при переходе к очистке другой культуры корпус выполнен с запирающей дверцей *10*.

В центральном канале устанавливаются гребенки *2* с большими зазорами от 6,0 до 12 мм, через которые проходит основная масса материала вместе с мелкими примесями, щуплыми и дроблеными зерновками, а крупные примеси и фракции зерновок сходят с решет и поступают к выпускному каналу *6*.

Прототип калибратора установлен на держатель, для наблюдения за процессом разделения обрабатываемого материала вместо запирающей дверцы установлено прозрачное органическое стекло.

Результаты и обсуждение. С увеличением количества выделяемого материала во фракцию отход повышается чистота семян во фракции семена. Так, при увеличении в отход материала от 2,25 до 22,10% чистота семян повысилась от 98,78 до 99,75%. При выделении до 3% материала в отход семена соответствуют категории ОС, ЭС (оригинальные и элитные семена) (*рис. 2-4*).

Масса 1000 штук семян повысилась с 220,92 до 224,05 г при увеличении выхода материала в отход.

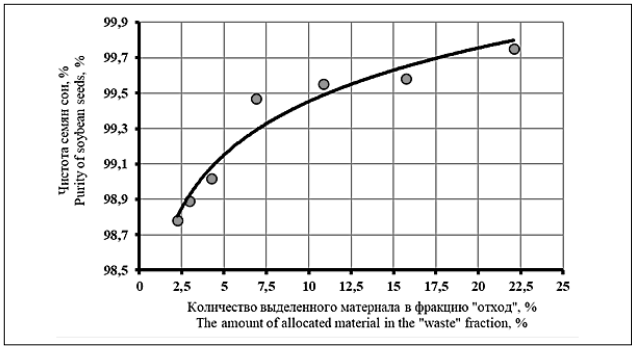


Рис. 2. Изменение чистоты семян сои в зависимости от количества выделенного материала во фракцию отход при очистке

Fig. 2. Purity of soybean seeds depending on the amount of material isolated into the “waste” fraction during cleaning

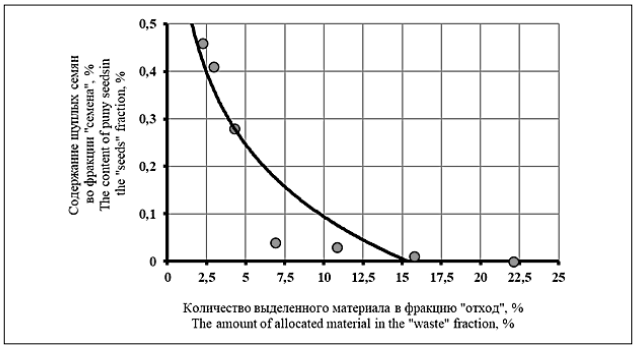


Рис. 3. Изменение содержания щуплых семян во фракции семена в зависимости от количества выделенного материала во фракцию отход при очистке сои

Fig. 3. Content of feeble seeds in the «seeds» fraction depending on the amount of material separated into the «waste» fraction during soybean cleaning

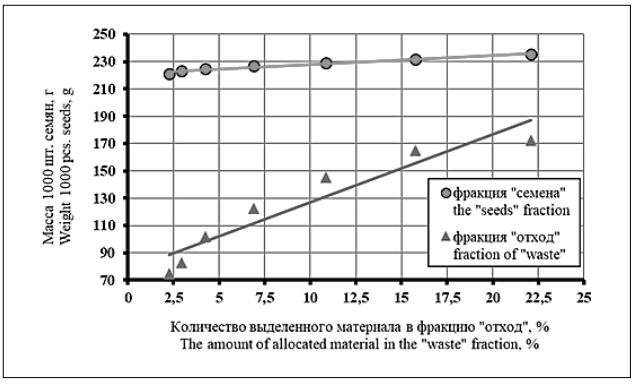


Рис. 4. Изменение массы 1000 штук семян во фракциях в зависимости от количества выделенного материала во фракцию отход при очистке сои

Fig. 4. Weight of 1000 pieces seeds in fractions depending on the amount of material separated into the “waste” fraction during soybean cleaning

Количество щуплых семян уменьшается в очищенном материале при увеличении массы отхода. Уже при выделении в отход до 4,3% в очищенном материале остается незначительное количество (не более 0,04%).

Стручковые примеси выделяются в центральном канале. Так, при высоком их содержании в исходном материале они практически полностью выделились в первом опыте, то есть при выделении в отход 2,25% материала.

Потери семян с увеличением массы фракции отход увеличиваются до 19,15%, но по качеству они резко отличаются от семян в очищенном материале. Так, масса 1000 штук семян их ниже в 1,4-2,6 раз. Например, при выделении в отход 4,26% материала масса 1000 шт. семян в отходе равнялась 102,03 г, а в очищенном материале 224,89 г.

При калибровании чистота каждой фракции соответствующего размера составляла не менее 98,96%. Из неоткалиброванных семян осталось не более 1,04%.

Таким образом, прототип калибровщика хорошо выделяет из семян сои стручковые, щуплые и мертвые примеси, а также битые вдоль семена сои.

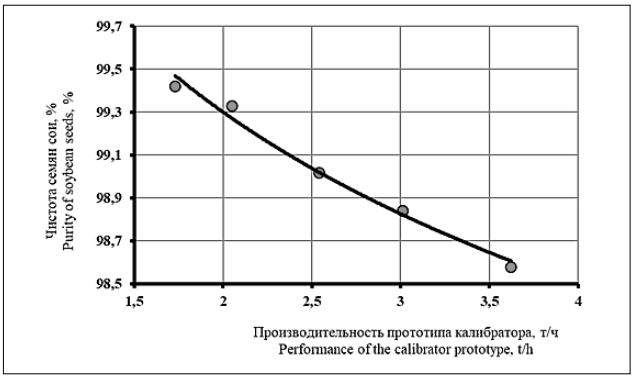


Рис. 5. Изменение чистоты семян сои в зависимости от производительности

Fig. 5. Purity of soybean seeds depending on productivity

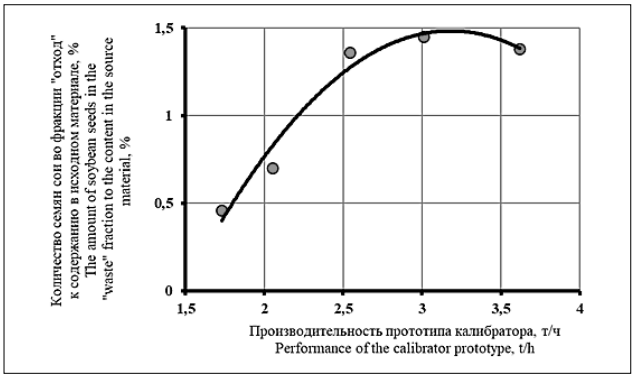


Рис. 6. Изменение количества семян сои во фракции отход к содержанию в исходном материале в зависимости от производительности

Fig. 6. Share of soybean seeds in the waste fraction to the content in the original material depending on productivity

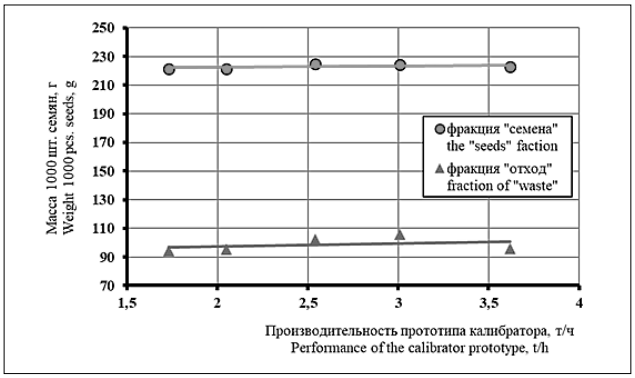


Рис. 7. Изменение массы 1000 шт. семян в зависимости от производительности

Fig. 7. Weight of 1000 seeds depending on productivity

Недостаточно хорошо, точнее удовлетворительно, выделяет битые поперек семена сои.

Испытания провели на режимах производительности в пределах 1,726-3,619 т/ч. Набор гребенок для гравитационных каналов калибратора тот же, что и в первой серии опытов. Полученные результаты приведены на *рисунках 5-7.*

Выводы. При всех производительностях полностью выделены стручковые примеси и мертвый сор, содержание в очищенном материале щуплых семян уменьшилось в 2,45-7,9 раз, битых семян – 1,5-2,4 раза.

Потери семян составили 0,46-1,38%, но это неполноценные семена с массой 1000 штук и более, чем в два раза меньшей массы 1000 штук семян в очищенном материале.

В результате очистки образцов сои прототип калибратора при производительности до 3,619 т/ч семена доведены до категории ОС и ЭС ГОСТ Р 52325-2005.

На основании результатов проведенных испытаний следует, что установка хорошо выполняет технологический процесс, а качественные показатели ее работы соответствуют исходным требованиям на основные технологические операции послеуборочной обработки зерна и семян.

Библиографический список

1. Щучка Р.В. Проблематика возделывания сои в условиях расширения посевных площадей центрально-черноземной зоны // *Заметки ученого.* 2022. N2. С. 123-127.
2. Иванов А.А., Алексеева С.Н., Чуворкина Т.Н. и др. Развитие производства зернобобовых культур и сои – фактор динамичного развития аграрного сектора региона на примере Пензенской области // *Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки.* 2021. Т. 7. N3(27). С. 284-295.
3. Ткаченко М.А., Волкова А.С., Гненный Е.Ю. и др.

Динамика изменения посевных площадей в России некоторых технических культур // *Colloquium-journal*. 2021. N3-2(90). С. 50-52.
4. Синеговский М.О. Современное состояние производства сои в Амурской области // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур.* 2015. N3(163). С. 86-90.
5. Зотиков В.И., Наумкина Т.С., Сидоренко В.С. Производство зернобобовых и крупяных культур в России: состояние, проблемы, перспективы // *Земледелие*. 2015. N4. С. 3-5.
6. Зубарева К.Ю. Соя в России // *Вестник сельского развития и социальной политики*. 2020. N4(28). С. 23 25.
7. Ахмедов А.Н., Ибодуллаева М.С.К., Рахматов Э.Р. Совершенствование процесса очистки семян сои // *Universum: технические науки*. 2022. N4-7(97). С. 16-20.
8. Смолянинов Ю.Н. Пути совершенствования технологии послеуборочной обработки зерна // *Бюллетень науки и практики*. 2017. N11(24). С. 97-102.
9. Харитонов М.К., Гиевский А.М., Оробинский В.И. и др. Повышение эффективности работы решётной очистки зерноочистительных машин // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 13. N1(64). С. 19-27.
10. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. N1. С. 2-9.
11. Хамуев В.Г. Обоснование параметров гравитационной очистительной колонки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N4. С. 26-32.
12. Дорохов А.С., Московский М.Н., Хамуев В.Г. и др. Определение оптимальных кинематических параметров решетного стана при сепарации образцов селекционных семян // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина».* 2018. N6(88). С. 4-10.
13. Doshi J.S., Patel V.B., Patel J.B., et al. Quantification of Quality Improvement in Wheat Seed Processing. *Journal of Agricultural Engineering*. 2013. Vol. 4. Iss. 159. 83-86.
14. Kroulík M., Hůla J., Rybka A., et al. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream. *Research in Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 62. Iss. No. 2. 56-63.
15. Łukaszuk J., Molenda M., Horabik J., et al. Airflow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method. *Research in Agricultural Engineering*. 2008. Vol. 54. Iss. No. 2. 50-57.
16. Елизаров В.П., Антышев Н.М., Бейлис В.М. и др. Исходные требования на технологические операции в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. N1. С. 11-14.
17. Moskovsky M.N., Chaava M.M., Chumak I.V. Development of a structural-functional model of a single production process obtaining seed material in farms. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. Iss. 6. 2157-2165.
18. Годжаев З.Д., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Ценч Ю.С., Зубина В.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (Прогноз) // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 220-229.
19. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. *Agricultural mashinery and technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 17-25.
20. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // История науки и техники. 2019. N12. С. 46-55.
21. Дринча В.М., Ценч Ю.С. Эволюция зерно- и семяочистительной техники в России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. N1. С. 24-33.
22. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. Т. 3. N1. С. 2-9.
23. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // *История науки и техники*. 2019. N12. С. 46-55.

References

1. Shchuchka R.V. Problematika vozdelyvaniya soi v usloviyakh rasshireniya posevnykh ploshchadey tsentral'no-chernozemnoy zony [The problems of soybean cultivation due to expansion of the sown areas of the central black-soil zone]. *Zametki uchenogo*. 2022. N2. 123-127 (In Russian).
2. Ivanov A.A., Alekseeva S.N., Chuvorkina T.N., et al. Razvitie proizvodstva zernobobovykh kul'tur i soi – faktor dinamichnogo razvitiya agrarnogo sektora regiona na primere Penzenskoy oblasti [The development of the production of leguminous crops and soybeans as a factor of dynamic development of the agricultural sector on the example of the Penza region]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki*. 2021.

Vol. 7. N3(27). 284-295 (In Russian).
3. Tkachenko M.A., Volkova A.S., Gnennyy E.Yu., et al. Dinamika izmeneniya posevnykh ploshchadey v Rossii nekotorykh tekhnicheskikh kul'tur [Dynamics of changes in acreage of some industrial crops in Russia]. *Colloquium-journal*. 2021. N3-2(90). 50-52 (In Russian).
4. Sinegovskiy M.O. Sovremennoe sostoyanie proizvodstva soi v Amurskoy oblasti [The current state of soybean production in the Amur region]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*. 2015. N3(163). 86-90 (In Russian).
5. Zotikov V.I., Naumkina T.S., Sidorenko V.S. Proizvodstvo zernobobovykh i krupyanykh kul'tur v Rossii: sostoyanie, problemy, perspektivy [Production of legumes and cereals in Russia: status, problems, prospects]. *Zemledelie*. 2015. N4. 3-5 (In Russian).
6. Zubareva K.Yu. Soya v Rossii [Soy in Russia]. *Vestnik sel'skogo razvitiya i sotsial'noy politiki*. 2020. N4(28). 23-25 (In Russian).
7. Akhmedov A.N., Ibodullaeva M.S.K., Rakhmatov E.R. Sovershenstvovanie protsessa ochistki semyan soi [Improvement of the soybean seed cleaning process]. *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2022. N4-7(97). 16-20 (In Russian).
8. Smolyaninov Yu.N. Puti sovershenstvovaniya tekhnologii posleuborochnoy obrabotki zerna [Ways to improve the technology of post-harvest grain processing]. Byulleten' nauki i praktiki. 2017. N11(24). 97-102 (In Russian).
9. Kharitonov M.K., Gievskiy A.M., Orobinskiy V.I., et al. Povyshenie effektivnosti raboty reshetnoy ochistki zernoochistitel'nykh mashin [Improving the efficiency of sieve cleaning in grain cleaning machines]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020. Vol. 13. N1(64). 19-27 (In Russian).
10. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Zyulin A.N. Razrabotka i vnedrenie vysokoeffektivnykh, resurso- i energosberegayushchikh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv posleuborochnoy obrabotki zerna i podgotovki semyan [Development of highly efficient, resource- and energy-saving technologies and technical means of post-harvest grain processing and seed preparation]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2009. N1. 2-9 (In Russian).
11. Khamuev V.G. Obosnovanie parametrov gravitatsionnoy ochistitel'noy kolonki [Justification of the parameters of the gravitational cleaning column]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N4. 26-32 (In Russian).
12. Dorokhov A.S., Moskovskiy M.N., Khamuyev V.G., et al. Opredelenie optimal'nykh kinematicheskikh parametrov reshetnogo stana pri separatsii obraztsov selektsionnykh semyan [Determination of optimal kinematic parameters of the sieve mill for separation of breeding seed samples]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina»*. 2018. N6(88). 4-10 (In Russian).
13. Doshi J.S., Patel V.B., Patel J.B., et al. Quantification of Quality Improvement in Wheat Seed Processing. *Journal of Agricultural Engineering*. 2013. Vol. 4. Iss. 159. 83-86.
14. Kroulík M., Hůla J., Rybka A., et al. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream. *Research in Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 62. Issue No. 2. 56-63.
15. Łukaszuk J., Molenda M., Horabik J., et al. Airflow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method. *Research in Agricultural Engineering*. 2008. Vol. 54. Iss. No. 2. 50-57.
16. Elizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M., et al. Iskhodnye trebovaniya na tekhnologicheskie operatsii v rastenievodstve [Initial requirements for technological operations in crop production]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2011. N1. 11-14 (In Russian).
17. Moskovsky M.N., Chaava M.M., Chumak I.V. Development of a structural-functional model of a single production process obtaining seed material in farms. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. Iss. 6. 2157-2165.
18. Godzhaev Z.D., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu.S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda (Prognoz) [Strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia until 2030 (Forecast)]. *Tekhnicheskiy servis mashin*. 2019. N4(137). 220-229 (In Russian).
19. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. *Agricultural mashinery and technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 17-25.
20. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozdanie i razvitie sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve [Creation and development of machine systems and technologies for complex mechanization of technological processes in crop production]. *Istoriya nauki i tekhniki*. 2019. N12. 46-55 (In Russian).
21. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Evolyutsiya zerno- i semyaochistitel'noy tekhniki v Rossii [Evolution of grain and seed cleaning equipment in Russia]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N1. 24 33 (In Russian).
22. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Zyulin A.N. Razrabotka i vnedrenie vysokoeffektivnykh, resurso- i energosberegayushchikh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv posleuborochnoy obrabotki zerna i podgotovki semyan [Development and implementation of highly efficient, resource- and energy-saving technologies and

technical means of post-harvest grain processing and seed preparation]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2009. Vol. 3. N1. 2-9 (In Russian).
23. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozdanie i razvitie sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve [Creation and development of machine systems and technologies for complex mechanization of technological processes in crop production]. Istoriya nauki i tekhniki. 2019. N12. 46-55 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Хамуев В.Г. – научное руководство, проведение опыта, формирование общих выводов, обобщение данных литературы, итоговая переработка статьи;

Московский М.Н. – научное руководство, обобщение данных литературы;

Герасименко С.А. – проведение опыта, обработка данных опыта, составление начального варианта статьи;

Борзенко С.И. – проведение опыта, литературный анализ, доработка текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Khamuev V.G. – scientific guidance, conducting experiments, writing general conclusions, generalization of literature data, final revision of the manuscript;

Moskovskiy M.N. – scientific guidance, generalization of literature data;

Gerasimenko S.A. – conducting experiments, processing the experimental data, compiling the initial manuscript;

Borzenko S.I. – conducting experiments, literary analysis, revision of the manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 19.04.2022
Статья принята к публикации 24.08.2022

УДК 631.171:004.3:681.587.78 CC BY **DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-63-68**

Разработка алгоритма управления технологическим процессом маслонаполнения полимеров и композитов на заданную глубину

Владимир Сергеевич Бычковский,
аспирант, e-mail: bikovskii vs@mai.ru;
Александр Валерьевич Лившиц,
доктор технических наук, профессор

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

Реферат. *Для обеспечения высокой производительности с минимизацией участия человека и повышения качества продукции, а именно, деталей узлов трения машин и оборудования, применяемых в аграрно-промышленном комплексе, разработан алгоритм управления технологическим процессом маслонаполнения полимерных и композиционных материалов на заданную глубину проникновения наполнителя. Реализация этого процесса стала возможной благодаря автоматизированному процессу исследования маслонаполнения полимеров и композитов. (Цель исследования) Разработать алгоритм управления технологическим процессом маслонаполнения полимеров и композитов масляным наполнителем на основе моторного масла М8-В и гексана. (Материалы и методы) Взяли за основу, разработанную ранее базу данных по скорости проникновения масляного наполнителя. Составили схему установки электротермического маслонаполнения. Создали исходя из схему блока управления автоматизированной установки маслонаполнения. Выполнили по указанным схемам практическую реализацию установки для электротермического маслонаполнения, а именно собрали блок управления, изготовили ванну-электрод, подготовили к проведению экспериментов доработанную промышленную установку УЗП 2500. Разработали и описали алгоритм комплексной автоматизированной системы управления технологическим процессом электротермического маслонаполнения полимерных и композиционных материалов. (Результаты и обсуждение) Показали, что разработанная технология позволяет наполнять полимеры и композиты на заданную глубину проникновения, зная управляющие параметры процесса (скорость и глубину проникновения). (Выводы) Выявили, что по составленному алгоритму управления технологическим процессом маслонаполнения полимеров и композитов появлется возможность повышения эксплуатационных характеристик деталей, применяемых в аграрной промышленности с увеличением производительности по их модернизации благодаря данному процессу, что приводит к минимизации участия человека.*

Ключевые слова: *алгоритм маслонаполнения, УЗП 2500, глубина проникновения, электротермическое маслонаполнение, скорость пропитки.*

Для цитирования: Бычковский В.С., Лившиц А.В. Разработка алгоритма управления технологическим процессом маслонаполнения полимеров и композитов на заданную глубину // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 63-68. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-63-68. EDN AGOXGV.

An Algorithm for Controlling the Filling of Polymers and Composites by Oil to a Given Level

Vladimir S. Bychkovskiy,
postgraduate; e-mail: bikovskii_vs@mai.ru;
Aleksandr V. Livshits,
Dr.Sc.(Eng.), professor

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. *To ensure high productivity while minimizing human impact and improve the quality of friction units of machines and equipment used in the agricultural and industrial complex, an algorithm for controlling the technological process of oil filling of polymer and composite materials to a given level of filler penetration*

has been developed. The implementation of this process has become possible thanks to the automated process of studying the oil filling of polymers and composites. (Research purpose) The research purpose is developing an algorithm for controlling the technological process of oil filling of polymers and composites with an oil filler based on M8-B engine oil and hexane. (Materials and methods) A previously developed database on the penetration rate of oil filler has been taken as the basis. The article presents the installation of electrothermal oil filling. The practical implementation of the installation for electrothermal oil filling was carried out according to these schemes: the control unit, the electrode bath, and the modified industrial installation UZP 2500 were prepared for the experiments. The algorithm of a complex automated control system for the technological process of electrothermal oil filling of polymer and composite materials has been developed and described. (Results and discussion) The developed technology allows filling polymers and composites to a given level, knowing the control parameters of the process (speed and depth of penetration). (Conclusions) According to the compiled algorithm for controlling the technological process of oil filling of polymers and composites, it will be possible to increase the performance characteristics of parts used in the agricultural industry with an increase in productivity for their modernization due to this process, which leads to minimizing labour.

Keywords: *oil filling algorithm, UZP 2500, penetration depth, electrothermal oil filling, impregnation rate.*

For citation: Bychkovskiy V.S., Livshits A.V. Razrabotka algoritma upravleniya tekhnologicheskim protsessom maslonapolneniya polimerov i kompozitov na zadannuyu glubinu [An algorithm for controlling the filling of polymers and composites by oil to a given level]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 63-68 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-63-68. EDN AGOXGV.

Для обеспечения повышения ресурса работы оборудования и машин, используемых в аграрной промышленности, создаются способы наполнения полимеров и композитов, применяемых главным образом в узлах трения, моторными маслами. Эти процессы позволяют минимизировать выход из строя машин в случаях длительного простоя или в условиях повышенной загрязненности и запыленности, когда основной смазочной системы недостаточно. Данные процессы имеют один значительный недостаток, касаемый процесса автоматизации как для обеспечения повышения производительности модернизации полимерных и композиционных изделий, так и для минимизации привлечения участия человека в проведении процесса. С целью решения указанной проблемы разработан алгоритм управления технологическим процессом маслонаполнения полимеров и композитов.

Цель исследования – разработать алгоритм управления технологическим процессом маслонаполнения полимеров и композитов на заданную глубину.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- составить алгоритм технологического процесса электротермического маслонаполнения;

- выполнить описание последовательностей технологического процесса;

- осуществить практическую реализацию автоматизированной установки на основе промышленного оборудования УЗП 2500 для автоматизации технологического процесса маслонаполнения.

Материалы и методы. По проведенному ранее автоматизированному исследованию процесса электротермического маслонаполнения полимерных и композиционных материалов масляным наполнителем на основе моторного масла М8-В и гексана, необходимого для понижения вязкости масла, определили управляющие параметры, а именно скорость и время пропитки на заданную глубину [1-3]. Это позволило сформировать базы данных для различных полимерных и композиционных материалов по скорости пропитки масляным наполнителем, требуемой для данного исследования.

Результаты и обсуждение. С целью составления планов на выполнение автоматизации технологического процесса создали схему установки электротермического маслонаполнения (*рис. 1*) с условным обозначением полимерного изделия в виде параллелепипеда.

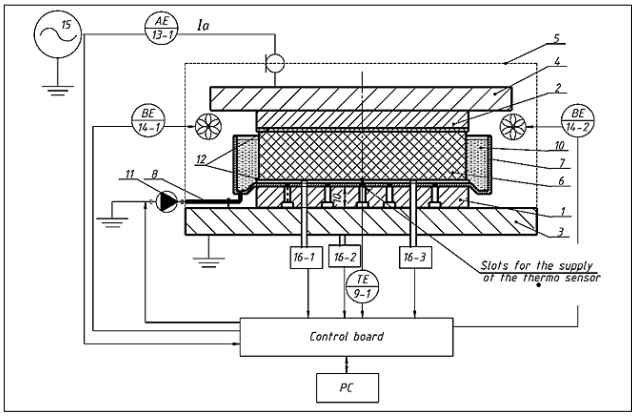


Рис. 1. Схема установки для электротермического маслонаполнения: 1 – заземленный электрод; 2 – высокопотенциальный электрод; 3 – низкопотенциальная опорная плита; 4 – высокопотенциальная плита; 5 –

защитный экран; 6 – обрабатываемое изделие; 7 – ванна; 8 – трубка для подвода и отвода наполнителя (масла); 9 – термодатчик 9-1 для контроля температуры по всему объему и уровня заполнения маслом образца; 9-6 – контроль поддержание температуры масла; 10 – масло; 11 – насос; 12 – изолятор из картона; 13 – амперметр; 14 – вентилятор; 15 – генератор ВЧ; 16-1…16-3 – подъемники электромагнитные.

Fig. 1. The installation for electrothermal oil filling: 1 – grounded electrode; 2 – high-potential electrode; 3 – low–potential base plate; 4 – high-potential plate; 5 – protective shield; 6 – processed product; 7 – bath; 8 – tube for supply and discharge of filler (oil); 9 – temperature sensor 9-1 for temperature control throughout the volume and filling level; 9-6 – oil temperature control; 10 – oil; 11 – pump; 12 – cardboard insulator; 13 – ammeter; 14 – fan; 15 – HF generator; 16-1...16-3 – electromagnetic lifts.

По составленным планам для настоящего исследования доработали блок управления автоматизированной установки маслонаполнения на основе оборудования УЗП 2500 [4-6]. В данном блоке демонтировали четыре термодатчика, термодатчик Т1, установленный заподлицо с верхней плоскостью ванны-электрода, добавили электромагнит и реле для управления им, необходимые для поднятия над наполнителем полимерного изделия по истечении заданного времени пропитки. Блок управления представлен на *рисунке 2*.

вательской установки на основе промышленного оборудования УЗП-2500 (*рис. 3*).

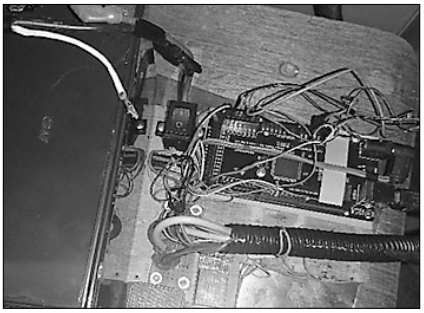


Рис. 3. Блок управления экспериментально-исследовательской установки

Fig. 3. Experimental research unit control

Блок управления экспериментально-исследовательской установки для электротермического маслонаполнения полимерных и композиционных материалов состоит из основных компонентов: управляющая плата *Arduino Mega*; механическое реле; аккумулятор 12 В; батарея 9 В; плата разъемов; тумблер, электромагнит.

С целью автоматизации управления технологическим процессом маслонаполнения разработали алгоритм управления, представленный на рисунке 4.

Для составленной блок-схемы алгоритма управления технологическим процессом электротермического маслонаполнения полимерных и композици-

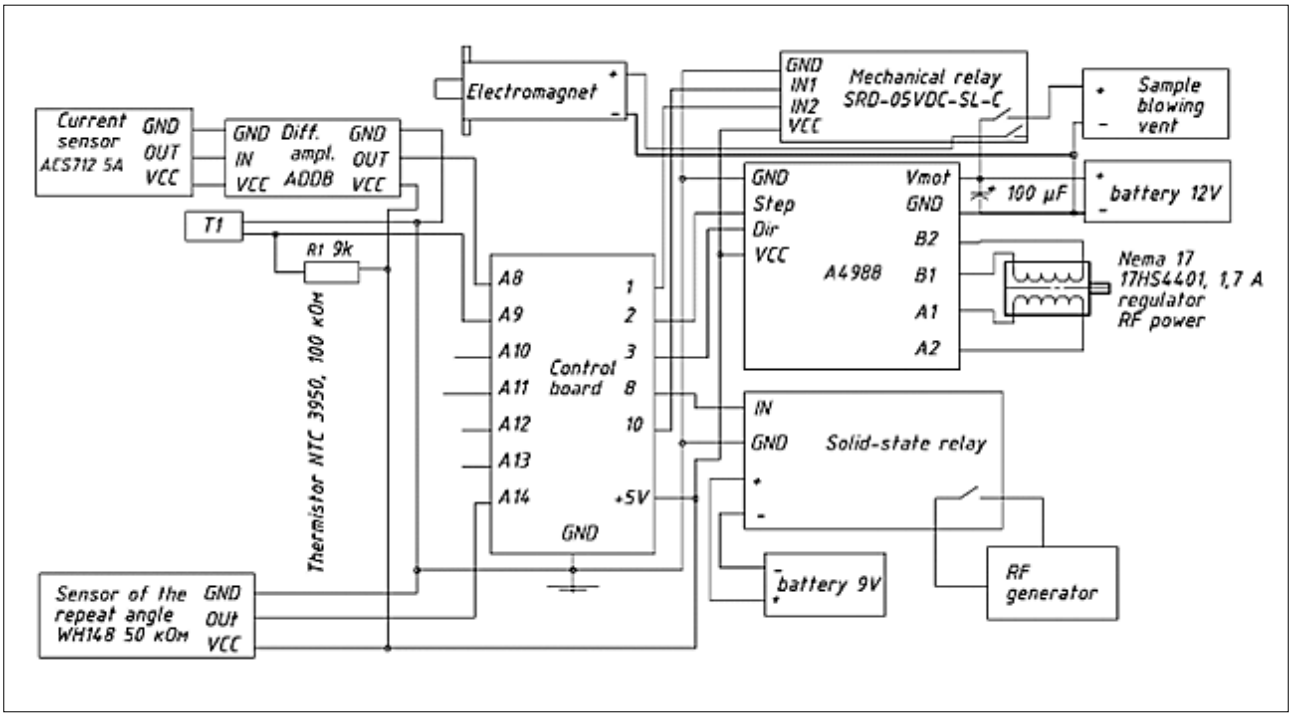


Рис. 2. Схема блока управления автоматизированной установки маслонаполнения

Fig. 2. The control unit of the automated oil filling plant

Для проведения экспериментов выполнили практическую реализацию экспериментально-исследо-

онных материалов выполнили описание последовательности действий.

Оператором запускается блок управления техпроцессом и подключается к компьютеру. Устанавливается полимерное изделие, которое необходимо наполнить маслом, в загрузочное место установки. После в управляющую программу задаются параметры [7-9]:

- *h* – необходимая глубина проникновения наполнителя, мм;

- *U* – объем изделия, необходимый для расчета объема подачи масляного наполнителя в ванну по формуле:

$$U_{\text{масла}} = 20 + 0{,}0016U; \quad (1)$$

- материал для определения управляющей программы из базы данных скорости *V*, пропитки, для каждого материала своя скорость пропитки, установленная на основании исследований на автоматизированной установке процессов маслонаполнения (*рис. 3*). Значение 20, чтобы скрыть дно. Далее произвели запуск установки: закрывается колпак, включается магнит, подается питание на ВЧ-генератор *15*.

Управляющая программа производит расчет среднего значения из 50 замеров анодного *Ia*, и сравнивает его с предыдущим значением для определения точки экстремума – максимум, что соответствует достижению сушки полимерного образца.

После достижения сухого состояния исследуемого объекта, отключается ВЧ-установка *15*. Рассчитывается объем масла по формуле (1).

Для охлаждения и обдува остаточной поверхности на изделие включаются вентиляторы *14*.

Далее термодатчиком Т1 осуществляется контроль температуры исследуемого объекта до температуры маслонаполнения 75ºС (для содержания гексана в масляном наполнителе 40%).

Как только достигнута температура наполнения, отключаются вентиляторы и при помощи шагового двигателя, используемого для перемещения поршня в емкости с масляным наполнителем, подается рассчитанный объем масла. Шаги мотора откалиброваны для подачи необходимого на наполнение масляного наполнителя. Для того чтобы не происходило испарение гексана из масла в емкости с масляным наполнителем, установлен запорный клапан [10-11].

После подачи наполнителя начинается отсчет времени до того момента, пока он не пропитается на заданную глубину. Расчет времени пропитки определяется по формуле:

$$t_{\text{нап}} = h/V. \quad (2)$$

По достижении времени пропитки изделие поднимается над масляным наполнителем.

Алгоритм комплексной автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) электротермического маслонаполнения полимерных и композиционных материалов показан на *рисунке 4*.

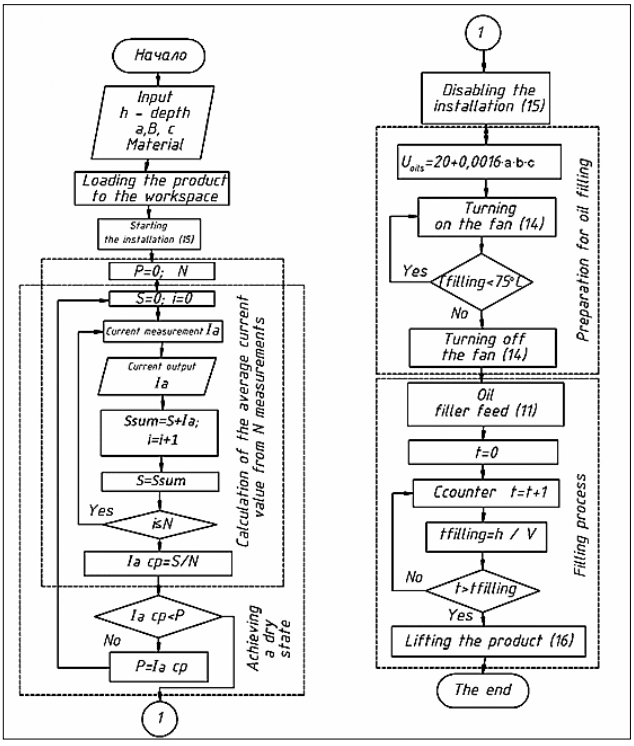


Рис. 4. Блок-схема алгоритма управления технологическим процессом маслонаполнения полимерных и композиционных материалов

Fig. 4. Flow diagram for controlling the technological process of oil filling of polymer and composite materials

Разработанный алгоритм состоит из основных этапов выполнения технологического процесса: достижение сухого состояния путем определения точки максимума по зависимости анодного тока от времени [4], что показывает полное испарение влаги из тела полимерного изделия; подготовка к маслонаполнению, а именно, нагрев масляного наполнителя до заданной температуры и обдув поверхностей изделия от остаточной влаги; процесс наполнения, отсчет времени, значение которого зависит от скорости проникновения наполнителя на заданную глубину, исходя из базы данных по скорости пропитки различных полимерных и композиционных материалов.

Выводы. По окончании разработки АСУ ТП электротермического маслонаполнения полимерных и композиционных материалов выполнили следующие этапы:

- составили алгоритм технологического процесса электротермического маслонаполнения;

- произвели описание последовательностей технологического процесса;

- осуществили практическую реализацию автоматизированной установки на основе промышленного оборудования УЗП 2500 для автоматизации технологического процесса маслонаполнения.

По итогу решенных поставленных задач достигнута цель настоящего исследования: разработка ал-

горитма управления технологическим процессом маслонаполнения полимеров и композитов на заданную глубину.

Разработанный автоматизированный технологический процесс маслонаполнения позволит выполнять омасление полимерных изделий, эксплуатируемых в различных узлах трения, на заданную глубину проникновения, что даст возможность повысить износостойкость к истиранию и увеличить срок службы данного изделия. Помимо этого, автоматизация данного процесса позволяет минимизировать участие человека, а также увеличить скорость проведения процесса маслонаполнения полимерных и композиционных изделий.

Библиографический список

1. Бычковский В.С., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В. и др. Автоматизированная система управления исследования процесса маслонаполнения полимерных и композиционных материалов // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика*. 2022. N2(51). С. 25-38.
2. Бычковский В.С., Филиппенко Н.Г., Баканин Д.В. и др. Исследование изменения температуры полимерного образца при высокочастотном разогреве в зависимости от изменения объема тела и влияния конвекции // *Молодая наука Сибири*. 2018. N1(1). С. 89-97.
3. Бычковский В.С., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В. и др. Автоматизированный способ контроля наполнения маслом полимерных и композиционных материалов // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2021. Т. 68. N4(45). С. 9-16.
4. Федоров А.Л., Петрова П.Н. Износостойкие композиты на основе ПТФЭ, полученные модифицированием моторными маслами // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2011. Т. 13. N1-2. С. 404-406.
5. Bychkovsky V.S., Butorin D.V., Bakanin D.V., et al. Volume temperature control at automated high-frequency processing of polymer and composite materials. *Siberian Journal of Science and Technology*. 2020. Vol. 21. Iss. 2. 155-162.
6. Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г., Каргапольцев С.К. Высокочастотная обработка полимерных материалов. Организация систем управления. Иркутск: Иркутский государственный университет путей сообщения. 2013. 172 с.
7. Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В., Фарзалиев Э.Ф. и др. Автоматизированная система регулирования температуры с учетом прогнозируемых изменений метеоусловий // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2021. Т. 68. N1(42). С. 73-79.
8. Думчев И.С., Ларченко А.Г., Филиппенко Н.Г. и др. Восстановление полиамидных сепараторов подшипников буксового узла подвижного состава ОАО РЖД // *Молодой ученый*. 2012. N12. С. 48-51.
9. Буторин Д.В., Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г. Автоматизация процесса контроля фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах // *Информационные системы и технологии*. 2017. N1(99). С. 44-53.
10. Kargapoltsev S.K., Shastin V.I., Gozbenko V.E., et al. Laser alloying of wear surfaces with metal components. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. Vol. 12. Iss. 17. 6499-6503.
11. Дорохов А.С., Свиридов А.С., Гончарова Ю.А., Алехина Р.А. Оценка химической стойкости полиуретановых компаундов, применяемых при изготовлении диафрагм мембранно-поршневых насосов // *Техника и оборудование для села*. 2021. N8(290). С. 41-44.

References

1. Bychkovskiy V.S., Filippenko N.G., Livshits A.V., et al. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya issledovaniya protsessa maslonapolneniya polimernykh i kompozitsionnykh materialov [Automated control system for studying the process of oil filling of polymer and composite materials]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*. 2022. N2(51). 25-38 (In Russian).
2. Bychkovskiy V.S., Filippenko N.G., Bakanin D.V., et al. Issledovanie izmeneniya temperatury polimernogo obraztsa pri vysokochastotnom razogreve v zavisimosti ot izmeneniya obema tela i vliyaniya konvektsii [Changes in the temperature of a polymer sample during high-frequency heating depending on changes in body volume and the convection]. *Molodaya nauka Sibiri*. 2018. N1(1). 89-97 (In Russian).
3. Bychkovskiy V.S., Filippenko N.G., Livshits A.V., et al. Avtomatizirovannyy sposob kontrolya napolneniya maslom polimernykh i kompozitsionnykh materialov [Automated method for controlling oil filling of polymer and composite materials]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2021. Vol. 68. N4(45). 9-16 (In Russian).
4. Fedorov A.L., Petrova P.N. Iznosostoykie kompozity na osnove PTF·E, poluchennye modifitsirovaniem motornymi maslami [Wear-resistant PTFE-based composites obtained by modification with motor oils]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2011. Vol. 13. N1-2. 404-406 (In Russian).
5. Bychkovsky V.S., Butorin D.V., Bakanin D.V., et al. Volume temperature control at automated high-frequency processing of polymer and composite materials. *Siberian Journal of Science and Technology*. 2020. Vol. 21. Iss. 2. 155-162.
6. Livshits A.V., Filippenko N.G., Kargapol'tsev S.K. Vysokochastotnaya obrabotka polimernykh materia-

lov. Organizatsiya sistem upravleniya [High-frequency processing of polymer materials. Organization of control systems]. Irkutsk: Irkutskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya. 2013. 172. (In Russian).
7. Filippenko N.G., Livshits A.V., Farzaliev E.F., et al. Avtomatizirovannaya sistema regulirovaniya temperatury s uchetom prognoziruemykh izmeneniy meteousloviy [Automated temperature control system taking into account the predicted changes in weather conditions]. Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. 2021. Vol. 68. N1(42). 73-79 (In Russian).
8. Dumchev I.S., Larchenko A.G., Filippenko N.G., et al. Vosstanovlenie poliamidnykh separatorov podshipnikov buksovogo uzla podvizhnogo sostava OAO RZhD [Restoration of polyamide separators of bearings of the axle box assembly at the rolling stock of JSC Russian Railways]. *Molodoy uchenyy*. 2012. N12. 48-51 (In Russian).
9. Butorin D.V., Livshits A.V., Filippenko N.G. Avtomatizatsiya protsessa kontrolya fazovykh i relaksatsionnykh prevrashcheniy v polimernykh materialakh [Automation of the process of phase and relaxation transformations in polymer materials]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii*. 2017. N1(99) 44-53 (In Russian).
10. Kargapoltsev S.K., Shastin V.I., Gozbenko V.E., et al. Laser alloying of wear surfaces with metal components. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. Vol. 12. Iss. 17. 6499-6503.
11. Dorokhov A.S., Sviridov A.S., Goncharova Yu.A., Alekhina R.A. Otsenka khimicheskoy stoykosti poliuretanovykh kompaundov, primenyaemykh pri izgotovlenii diafragm membranno-porshnevykh nasosov [Evaluation of chemical resistance of polyurethane compounds used in the manufacture of diaphragm piston pumps]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2021. N8(290). 41-44 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Бычковский В.С. – сбор и обработка материалов, подготовка первоначального варианта текста;

Лившиц А.В. – общее руководство проектом, анализ и дополнение текста статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Bychkovskiy V.S. – collection and processing of materials, writing the manuscript;

Livshits A.V. – general project management, analysis and extending of the manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 18.04.2022
Статья принята к публикации 18.08.2022

УДК 681.521:62.523 (cc) BY **DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-69-75**

Программируемая система управления процессами в блочной теплице

Виталий Александрович Каргин[1],
доктор технических наук, доцент, e-mail: vakargin@mail.ru;
Константин Михайлович Усанов[2],
доктор технических наук, профессор;
Владимир Александрович Стрельников[2],
доктор технических наук, профессор;
Александр Михайлович Борисевский[1],
аспирант

[1]Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Российская Федерация;
[2]Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация

Реферат. *В настоящее время автоматизированные системы управления операциями и процессами на объектах сельхозпроизводства и агропромышленного комплекса выполняются на основе цифровых микропроцессорных устройств, характеризующихся, в сравнении с электромеханическими средствами, расширенной функциональностью, возможностью и простотой оперативной перенастройки логической части, необходимой, например, при смене технологической установки и электропривода. Контроль позиционирования исполнительного органа, обеспечиваемый в многопозиционных электроприводах набором контактных (бесконтактных) концевых (путевых) выключателей, несмотря на кажущуюся очевидность и простоту, усложняет, удорожает систему, настройку и обслуживание установки. (Цель исследования) Создать многофункциональную, перенастраиваемую автоматизированную систему управления для технологических процессов компактных блочных теплиц с использованием микропроцессорных программируемых технических средств отечественных производителей. (Материалы и методы) Привели схему и представили протестированную разработку логической части автоматизированной системы управления на примере многопозиционного электропривода открывания-закрывания фрамуг компактной блочной теплицы на основе программируемых логических контроллеров отечественных производителей приборов и средств автоматизации. (Результаты и обсуждение) Проиллюстрировали особенности формирования логической части системы в среде CoDeSys с использованием библиотек стандартных функциональных блоков. Выбрали временные интервалы, предложили порядок настройки виртуальных таймеров, задаваемых программированием программируемых логических контроллеров и определяющих свойства позиционирования исполнительного органа электропривода. (Выводы) Установили, что представленный подход реализации мультипозиционирования в реверсивных электроприводах с единственным концевым выключателем контроля исходного положения исполнительного органа электропривода улучшает показатели типового двухпозиционного регулирования вида «Открыто-Закрыто». Предложили термин «квазипропорциональный» для определения реализованного процесса регулирования.*

Ключевые слова: *система автоматического управления, программируемые логические контроллеры, логические схемы управления, цифровые технические средства автоматизации.*

Для цитирования: Каргин В.А., Усанов К.М., Стрельников В.А., Борисевский А.М. Программируемая система управления процессами в блочной теплице // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). 69-75. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-69-75. EDN CUNZDG.

Programmable Control System for a Block Greenhouse

Vitaliy A. Kargin[1],
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, e-mail: vakargin@mail.ru;
Konstantin M. Usanov[2],
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Vladimir A. Strel'nikov[2],
Dr.Sc.(Eng.), professor;

Aleksandr M. Borisevskiy[1],
postgraduate

[1]Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation;
[2]Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russian Federation

Abstract. *Automated control systems for processes at agricultural production facilities and agro-industrial complex are performed using digital microprocessor devices, characterized, in comparison with electromechanical means, by enhanced functionality, possibility of operational reconfiguration of the logical part, necessary, for example, when changing a technological installation and electric drive. Control of the positioning of the executive part, provided in multi-position electric drives by a set of contact (contactless) limit (track) switches, despite the apparent obviousness and simplicity, complicates, increases the cost of the system, setup and maintenance of the installation. (Research purpose) The research purpose is creating a multifunctional, reconfigurable automated control system for technological processes of compact block heaters using microprocessor programmable technical means of domestic manufacturers. (Materials and methods) The article presents a diagram and the logical part of an automated control system using the example of a multi-position electric drive for opening and closing transoms of a compact block based on programmable logic controllers of domestic manufacturers. (Results and judgment) The features of the logical part of the system in the CoDeSys environment using libraries of standard functional blocks were described. The article presents the choice of time intervals and the settings of virtual timers, which are set by programming programmable logic controllers and determine the positioning properties of the electric drive executive part. (Conclusions) The presented approach to the implementation of multi-positioning in reversible electric drives with a single limit switch for controlling the initial position of the electric drive improves the performance of a typical two-position regulation of the «Open-Closed» type. The term «quasi-proportional» was proposed to define the implemented regulatory process.*
Keywords: *automatic control system, programmable logic controllers, logic control circuits, digital automation equipment.*

For citation: Kargin V.A., Usanov K.M., Strel'nikov V.A., Borisevskiy A.M. Programmiruemaya sistema upravleniya protsessami v blochnoy teplitse [Programmable control system for a block greenhouse]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 69-75. (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-69-75. EDN CUNZDG.

Локальные системы автоматизации операций и процессов на объектах сельхозпроизводства и агропромышленного комплекса выступают неотъемлемым условием реализации комплекса технологических требований к показателям продукта, достижения энергосбережения и служат характеристикой современного уровня, технической оснащенности и культуры предприятия [1-4].

Логическую и исполнительную часть несложных управляющих устройств таких систем обычно выполняют на основе заслуживших обоснованное доверие электроаппаратных технических средств со свойственными изделиям достоинствами и недостатками [5-7]. Однако, получившие вследствие глобального применения микропроцессоров широкую доступность во всех сферах деятельности цифровые средства управления, представляют здесь наибольший интерес, позволяя легко перенастраивать при смене управляемого объекта логическую часть системы с помощью прикладных пакетов программ с минимальной доработкой (без нее) исполнительной аппаратной части системы [8-10].

Современные теплицы оснащаются совокупностью инженерных систем: системой отопления; системой форточной вентиляции; системой досвечивания; системой рециркуляции воздуха и другими, которые дают возможность управлять, в том числе микроклиматом помещений. Применение существующих автоматизированных систем управления (АСУ), предназначенных в основном для теплиц с промышленными объемами производимой продукции растениеводства, представляется не всегда обоснованным, например, для небольших фермерских хозяйств.

Цель исследования – создать многофункциональную, перенастраиваемую АСУ для технологических процессов компактных блочных теплиц с использованием микропроцессорных программируемых технических средств отечественных производителей.

Материалы и методы. Рассмотрели результат создания локальной комбинированной автоматизированной системы управления реверсивным электроприводом открытия-закрытия фрамуг блочной

теплицы, обеспечивающей температурно-влажностные характеристики объекта. Система может быть построена на основе как программируемого реле ПР110–220, так и программируемого логического контроллера ОВЕН ПЛК150, выпускаемых отечественным производителем приборов и средств автоматизации ОВЕН [1, 2, 11, 12]. Предлагаемая для этих изделий разработчиком в свободном доступе среда программирования *OWEN Logic* и *CoDeSys* имеет русскоязычный интерфейс, справку, и выстраивает алгоритм на стандартных языках [13]. Важным достоинством таких приложений представляется опция эмуляции – отладки разработанной схемы (проекта) без физического подключения микропроцессорного устройства и управляемого объекта [13].

Результаты и обсуждение. С учетом рекомендаций, создали и неоднократно опробовали на объекте автоматизированную систему управления реверсивным электроприводом фрамуг в компактной блочной теплице [14-20]. Особенностью разработанной АСУ положением фрамуг служит единственный концевой выключатель контроля их исходного состояния «Закрыто». Открытое состояние обеспечивается набором программно сформированных, например, в ПЛК150, виртуальных таймеров, определяющих последовательные положения фрамуги «Приоткрыто», «Полуоткрыто» и так далее, и выбираемых заказчиком.

Визуальное программирование логического контроллера осуществляется в среде *CoDeSys* на языке *CFC* (непрерывные функциональные схемы) с использованием стандартных библиотек функциональных блоков.

Пример обозначения глобальных входов-выходов ПЛК приведен в *таблице.*

Логическая схема АСУ реверсивным электроприводом открытия-закрытия фрамуг блочной теплицы представлена на *рисунке 1.*

Условием включения электропривода фрамуг в состояние «Открыто» (*transom_open*) служит перевод переключателя режимов в положение «Автоматическое» (*true* на дискретном входе *automatic*) и значение температуры $\theta_{вн}$ внутри помещения больше заданной $\theta_{задан}$, например, >28°С (блок *1* формирования входных сигналов на *рис. 1*), сравнение которой осуществляется в двоичном операторе «*>*» (*GT* – больше).

Если выполняется условие $\theta_{вн} > \theta_{задан1}$ (блок *2* сравнения реальной температуры в помещении с заданной на *рис. 1*), на вход *ENABLE* генератора прямоугольных импульсов *blinker_1* подается *true*, который генерирует сигналы с временем импульса (*TIMEHIGH*) *T#1s* и временем паузы (*TIMELOW*) *T#10m* (блок *3* реализации выдержки времени работы электропривода при открытии (закрытии) фрамуг на *рис. 1*). Кратковременный (10 мс) импульс с выхода *Q rtrig_1* запускает таймер *tp_1* и увеличивает выход *CV* инкрементно/декрементного счетчика *ctud_1* на единицу (блок *4* инкрементного (декрементного) счета срабатывания электропривода открытия (закрытия) фрамуг (*рис. 1*)). На выходе *transom_open* устанавливается *true* (блок *6* формирования выходных сигналов), запуская электропривод на приоткрывание фрамуги в течение, например, 7 с.

Table *Таблица*

Глобальные входы и выходы программируемого логического контроллера
Global inputs and outputs of a programmable logic controller

№ N	Наименование Name	Обозначение Designation	Тип входа/выхода Input/Output type
	ВХОДЫ / INPUTS		
1	Переключатель выбора режима работы (автоматический/ручной) Operation mode selection switch (automatic/manual)	automatic	Дискретный Discrete
2	Концевой выключатель контроля состояния фрамуги «Закрыто» The switch for monitoring the closed state of the transom	SQ_closed	Дискретный Discrete
3	Датчик температуры Temperature sensor	sensor_temp	Аналоговый Analog
	ВЫХОДЫ / OUTPUTS		
1	Электропривод фрамуги на «Открыто» «Open» electric transom drive	transom_open	Дискретный Discrete
2	Электропривод фрамуги на «Закрыто» «Close» electric transom drive	transom_closed	Дискретный Discrete
3	Световая индикация «Фрамуга открыта» Light indication «Transom is open»	indicat_open	Дискретный Discrete
4	Световая индикация «Фрамуга закрыта» Light indication «Transom is closed»	indicat_closed	Дискретный Discrete

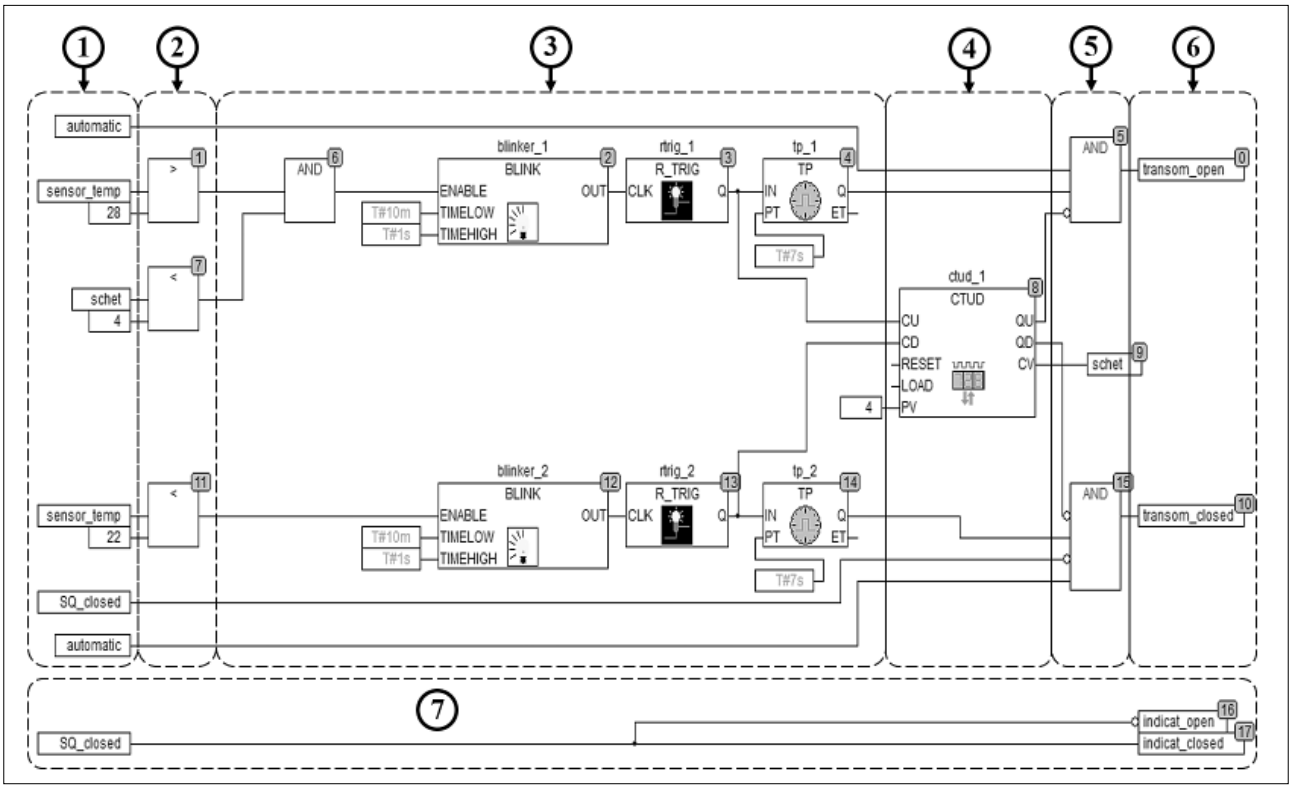


Рис. 1. Логическая схема автоматизированной системы управления реверсивным электроприводом открытия (закрытия) фрамуг компактной блочной теплицы: 1 – блок формирования входных сигналов; 2 – блок сравнения реальной температуры в помещении с заданной; 3 – блок реализации выдержки времени на электроприводе открытия (закрытия) фрамуг; 4 – блок инкрементного (декрементного) счета срабатывания электропривода открытия (закрытия) фрамуг; 5 – блок условия запуска электропривода открытия (закрытия) фрамуг; 6 – блок формирования выходных сигналов; 7 – блок сигнализации

Fig. 1. Logic diagram of an automated control system for a reversible electric drive for opening (closing) transoms of a block greenhouse: 1 – block for generating input signals; 2 –unit for comparing the real temperature in the room with the set temperature; 3 – block for implementing time delay on the electric drive for opening (closing) transoms; 4 – block for incremental (decremental) counting of the electric drive for opening (closing) transoms; 5 – block for starting the electric drive opening (closing) transoms; 6 – output signal generation unit; 7 – alarm unit

Если для приоткрытой фрамуги температура $\theta_{вн}$ не снижается и продолжает оставаться $\theta_{вн} > \theta_{задан1}$ в течение, например, 10 мин (настраивается), генератор *blinker_1* вновь подает управляющий импульс на выход *transom_open* в течение 7 с через таймер *tp_1*. Таким образом, исходя из продолжительности полного открытия, обеспечивают ступенчатое изменение положения фрамуги, при этом количество ступеней приоткрывания может выбираться (2-10 и более) в зависимости от ее конструктивных особенностей. Как правило, три-четыре ступени обеспечивают заданные показатели регулирования.

При достижении заданного количества включений электропривода фрамуги на «Открыто», когда значение на выходе *CV* счетчика *ctud_1* станет равным значению, заданному на входе *PV*, выход *QU* переключится в *true*, препятствуя последующему включению привода (блок *5* условия запуска электропривода открытия (закрытия) фрамуг на *рис. 1*).

Аналогично происходит ступенчатое закрытие фрамуги при снижении температуры $\theta_{вн}$ ниже заданной $\theta_{вн} < \theta_{задан2}$. Выход *CV* счетчика *ctud_1* уменьшается на единицу при каждом включении электропривода фрамуги на «Закрыто» *transom_closed* и при достижении нуля на выходе *QD* генерируется *true*, препятствуя запуску *transom_closed*. Отключение *transom_closed* также осуществляется сигналом от нормально замкнутого конечного выключателя *SQclosed*.

Световая сигнализация положения фрамуги производится через дискретные выходы *indicat_open* («Открыто») и *indicat_closed* («Закрыто») от конечного выключателя *SQ_closed*.

Заключительный этап построения логической схемы – проверка, позволяющая при помощи эмуляции, не прибегая к физическому подключению объектов к контроллеру, оценить работоспособность системы (*рис. 2*). Задавая сигнал управления на входе ПЛК, контролируют формируемый этим сигналом алгоритм и выходное воздействие контроллера. Путь сигнала выделен на *рисунке 2* серым цветом. Проведенная эмуляция программы подтверди-

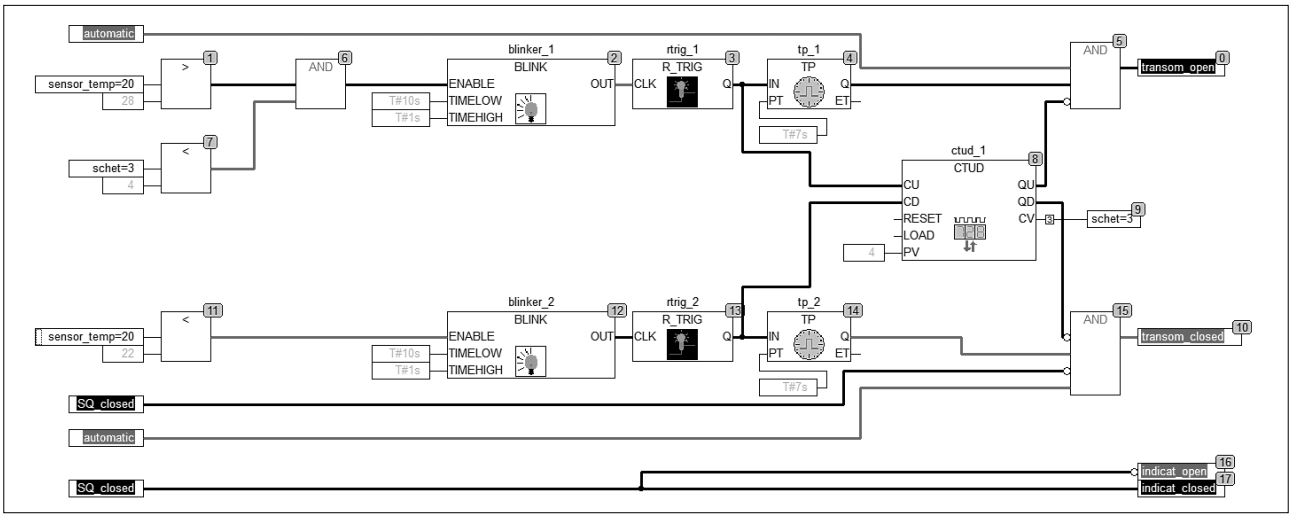


Рис. 2. Пример эмуляции логической схемы автоматизированной системы управления реверсивным электроприводом открытия (закрытия) фрамуг блочной теплицы

Fig. 2. An example of emulation of the logic an automated control system for a reversible electric drive for opening (closing) transoms of a block greenhouse

ла работоспособность предлагаемой системы. После проверки и настройки программы проводится копирование кода программы на логический контроллер [13].

Выводы. Показанная на *рисунке 1* логическая часть системы многократно протестировали на всех этапах разработки и усовершенствования, она подтвердила необходимую работоспособность и удобство оперативной перенастройки для реализации различных задач. Приведенные алгоритмы управления позволяют обеспечить требуемое быстродействие системы, квазипропорциональный закон регулирования при выборе числа n ступеней $n > 2$. Представленная система легко адаптируется для управления другими реверсивными электроприводами теплицы, например, задвижек расхода прямого (обратного) теплоносителя и других.

Библиографический список

1. Моисеев А.П., Волгин А.В., Каргин В.А. и др. Система автоматического управления силовым электромагнитным приводом для оглушения скота // *АПК России*. 2022. Т. 29. N1. С. 42-47.
2. Лягина Л.А., Каргин В.А., Моисеев А.П. Система автоматического управления процессом сушки растительного сырья // *Аграрный научный журнал*. 2017. N7. С. 78-82.
3. Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М., Назойкин Е.А. Использование имитационного моделирования для идентификации состояния промышленного предприятия // *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2020. N2(98). С. 39-40.
4. Музыка М.Ю., Благовещенский И.Г., Благовещенский В.Г. и др. Технические решения для реализации программно-аппаратного комплекса управления качеством пищевой продукции // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2021. Т. 83. N4(90). С. 49-56.
5. Тихомиров Д.А. Энергосберегающие электрические средства и системы теплообеспечения основных технологических процессов в животноводстве // *Вестник НГИЭИ*. 2016. N8(63). С. 129-138.
6. Tikhomirov D., Vasilyev A.N., Budnikov D., et al. Energy-saving automated system for microclimate in agricultural premises with utilization of ventilation air. *Wireless Network*. 2020. Vol. 26. Iss. 7. 4921-4928.
7. Тихомиров Д.А. Энергосберегающие электрические средства и системы теплообеспечения технологических процессов в животноводстве // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2016. N4(24). С. 15-23.
8. Каргин В.А. Система автоматического управления электромагнитным сводообрушителем // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. N6(176). С. 148-154.
9. Shkapov P.M., Blagoveshchensky I.G., Blagoveshchensky V.G., et al. Development and research of mathematical models and control algorithms for the separation of bulk materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1191. Iss. 1. 012018.
10. Назойкин Е.А., Лавлинский В.В., Мокрушин С.А. и др. Реализация двухконтурного четырехканального регулятора для управления процессом стерилизации консервов в промышленном автоклаве // *Моделирование систем и процессов*. 2021. Т. 14. N2. С. 21-27.
11. Каргин В.А., Волгин А.В., Моисеев А.П. и др. Электрический преобразователь с автоподстройкой выходного усилия электромагнитного формователя колбасных изделий // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018. N2(160). С. 176-180.

12. Четвериков Е.А., Моисеев А.П., Каргин В.А. Совершенствование установки сушки растороппи за счет автоматизации процесса измерения влажности // *Аграрный научный журнал*. 2015. N7. С. 52-54.
13. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. М.: Солон-Пресс. 2004. 253 с.
14. Каргин В.А. Система управления электромагнитным прессом для отжима сока // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. N4(174). С. 155-160.
15. Каргин В.А. Моисеев А.П., Волгин А.В. и др. Система управления плавным ходом якоря ЛЭМД кормораздаточных транспортеров за счет автоматической корректировки выходного усилия // *Известия Международной академии аграрного образования*. 2017. N37. С. 15-18.
16. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.
17. Годжаев З.Д., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Ценч Ю.С., Зубина В.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (Прогноз) // *Технический сервис машин*. 2019. N4(137). С. 220-229.
18. Измайлов А.Ю., Гришин А.А., Гришин А.П., Лобачевский Я.П. Экспертные системы интоеллектуальной автоматизации технических средств сельскохозяйственного назначения // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий. Сб. научных докладов Международной научно-технической конференции. 2014.С. 379-382.
19. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К. Автоматизированная система управления посевом и внесением удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011.N4. С. 9-12.
20. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К., Колесникова В.А., Алексеев И.С., Лонин С.Э., Гончаров Н.Т. Средства автоматизации для управления сельскохозяйственной техникой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N3. С. 3-9.

References

1. Moiseev A.P., Volgin A.V., Kargin V.A., et al. Sistema avtomaticheskogo upravleniya silovym elektromagnitnym privodom dlya oglusheniya skota [Automatic control system of a power electromagnetic drive for stunning cattle]. *APK Rossii*. 2022. Vol. 29. N1. 42-47 (In Russian).
2. Lyagina L.A., Kargin V.A., Moiseev A.P. Sistema avtomaticheskogo upravleniya protsessom sushki rastitel'nogo syr'ya [Automatic control system for drying the vegetable raw materials]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2017. N7. 78-82 (In Russian).
3. Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskaya M.M., Nazoykin E.A. Ispol'zovanie imitatsionnogo modelirovaniya dlya identifikatsii sostoyaniya promyshlennogo predpriyatiya [Simulation modeling for identifying the state of an industrial enterprise]. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii*. 2020. N2(98). 39-40 (In Russian).
4. Muzyka M.Yu., Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskiy V.G., et al. Tekhnicheskie resheniya dlya realizatsii programmno-apparatnogo kompleksa upravleniya kachestvom pishchevoy produktsii [Technical solutions for the software and hardware complex of food quality management]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*. 2021. Vol. 83. N4(90). 49-56 (In Russian).
5. Tikhomirov D.A. Energosberegayushchie elektricheskie sredstva i sistemy teploobespecheniya osnovnykh tekhnologicheskikh protsessov v zhivotnovodstve [Energy-saving electrical means and heat supply systems of the main technological processes in animal husbandry]. *Vestnik NGIEI*. 2016. N8(63). 129-138 (In Russian).
6. Tikhomirov D., Vasilyev A.N., Budnikov D., et al. Energy-saving automated system for microclimate in agricultural premises with utilization of ventilation air. *Wireless Network*. 2020. Vol. 26. Iss. 7. 4921-4928.
7. Tikhomirov D.A. Energosberegayushchie elektricheskie sredstva i sistemy teploobespecheniya tekhnologicheskikh protsessov v zhivotnovodstve [Energy-saving electrical means and heat supply systems for technological processes in animal husbandry]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2016. N4(24). 15-23 (In Russian).
8. Kargin V.A. Sistema avtomaticheskogo upravleniya elektromagnitnym svodoobrushitelem [Automatic control system of the electromagnetic arch breaker]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. N6(176). 148-154 (In Russian).
9. Shkapov P.M., Blagoveshchensky I.G., Blagoveshchensky V.G., et al. Development and research of mathematical models and control algorithms for the separation of bulk materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1191. Iss. 1. 012018.
10. Nazoykin E.A., Lavlinskiy V.V., Mokrushin S.A., et al. Realizatsiya dvukhkonturnogo chetyrekhkanal'nogo regulyatora dlya upravleniya protsessom sterilizatsii konservov v promyshlennom avtoklave [Two-circuit four-channel controller for controlling the sterilization process of canned food in an industrial autoclave]. *Modelirovanie sistem i protsessov*. 2021. Vol. 14. N2. 21-27 (In Russian).
11. Kargin V.A., Volgin A.V., Moiseev A.P., et al. Elektricheskiy preobrazovatel' s avtopodstroykoy vykhodnogo usiliya elektromagnitnogo formovatelya kolbasnykh izdeliy [Electric converter with automatic adjustment of the output force of the electromagnetic sausage shaper]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo uni-*

versiteta. 2018. N2(160). 176-180 (In Russian).
12. Chetverikov E.A., Moiseev A.P., Kargin V.A. Sovershenstvovanie ustanovki sushki rastoropshi za schet avtomatizatsii protsessa izmereniya vlazhnosti [Improving the milk thistle drying plant by automating the humidity measurement process]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2015. N7. 52-54 (In Russian).
13. Petrov I.V. Programmiruemye kontrollery. Standartnye yazyki i priemy prikladnogo proektirovaniya [Programmable controllers. Standard languages and techniques of applied design]. Moscow: Solon-Press. 2004. 253 (In Russian).
14. Kargin V.A. Sistema upravleniya elektromagnitnym pressom dlya otzhima soka [Electromagnetic juicing press control system]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. N4(174). 155-160 (In Russian).
15. Kargin V.A. Moiseev A.P., Volgin A.V., et al. Sistema upravleniya plavnym khodom yakorya LEMD kormorazdatochnykh transporterov za schet avtomaticheskoy korrektirovki vykhodnogo usiliya [Control system for the smooth running of the LEMD anchor of feed conveyors due to automatic adjustment of the output force]. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2017. N37. 15-18 (In Russian).
16. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologiy i mashin [Aspects of digitalization of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian) .
17. Godzhaev Z.D., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu.S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda (Prognoz) [Strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia until 2030 (Forecast)]. *Tekhnicheskiy servis mashin*. 2019. N4(137). 220-229 (In Russian).
18. Izmaylov A.Yu., Grishin A.A., Grishin A.P., Lobachevskiy Ya.P. Ekspertnye sistemy intoellektual'noy avtomatizatsii tekhnicheskikh sredstv sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Expert systems of intelligent automation of agricultural equipment]. Innovatsionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy. Sb. nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. 2014. 379-382 (In Russian).
19. Izmaylov A.YuU., Khoroshenkov V.K. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya posevom i vneseniem udobreniy [Automated control system for sowing and fertilizing]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2011.N4. 9-12 (In Russian).
20. Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K., Kolesnikova V.A., Alekseev I.S., Lonin S.E., Goncharov N.T. Sredstva avtomatizatsii dlya upravleniya sel'skokhozyaystvennoy tekhnikoy [Automation tools for agricultural machinery management]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2017. N3. 3-9 (In Russian).

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:
Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:
The authors have made an equivalent contribution to the manuscript.
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 21.04.2022
Статья принята к публикации 24.08.2022

УДК 681.521:62.523 CC BY DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-76-81

Микропроцессорная автоматизированная система управления процессами водоподготовки

Константин Михайлович Усанов[1],
доктор технических наук, профессор;
Виталий Александрович Каргин[2],
доктор технических наук, доцент, e-mail: vakargin@mail.ru;
Сергей Александрович Мокрушин[2],
кандидат технических наук;
Владимир Александрович Стрельников[1],
доктор технических наук, профессор

[1]Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация;
[2]Московский государственный университет пищевых производств, г. Москва, Российская Федерация

Реферат. *В настоящее время автоматизированные системы управления процессами водоподготовки на предприятиях сельхозпроизводства или агропромышленного комплекса выполнены, как правило, на базе импортируемых цифровых микропроцессорных устройств, обладающих, в сравнении с электромеханическими средствами, универсальностью и простотой оперативной перенастройки логической части, требуемой, например, при смене алгоритмов технологической установки или электропривода. Жесткий контроль и ограничения, применяемые недружественными экспортерами к отечественным потребителям этой продукции, заставляют разработчиков и проектировщиков отказываться от неконструктивных взаимодействий, достигая при этом необходимых результатов в решении возникающих задач. (Цель исследования) Создать автоматизированную систему управления процессами водоподготовки с использованием микропроцессорных программируемых технических средств отечественных производителей. Разработать рекомендации по выбору типа и программированию регулятора в операции озонирования воды. (Материалы и методы) Привели схему и представили протестированную разработку логической части автоматизированного управления насосных агрегатов водоподготовки на основе программируемых логических контроллеров отечественных производителей приборов и средств автоматизации. (Результаты и обсуждение) Проиллюстрировали особенности формирования логической части системы в среде CoDeSys с использованием библиотек стандартных функциональных блоков. Выбрали временные интервалы, предложили порядок настройки виртуальных пропорционально-интегрально-дифференцирующих регуляторов, задаваемых программированием программируемых логических контроллеров и определяющих свойства и показатели регулирования концентрации озона при обеззараживании воды. (Выводы) Выявили, что эмуляция предложенных вариантов подтвердила устойчивую работоспособность системы с необходимыми показателями регулирования. Показали, что после проверки и настройки программы проводится копирование кода программы в логический контроллер. Определили, что аналогичным образом производится программирование программируемых логических контроллеров для других операций.*

Ключевые слова: *система автоматического управления, программируемые логические контроллеры, логические схемы управления, цифровые технические средства автоматизации.*

Для цитирования: Усанов К.М., Каргин В.А., Мокрушин С.А., Стрельников В.А. Микропроцессорная автоматизированная система управления процессами водоподготовки // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 76-81. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-76-81. EDN DDFKNS.

Microprocessor-Based Automated Control System for Water Treatment Processes

Konstantin M. Usanov[1],
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Vitaliy A. Kargin[2],
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, e-mail: vakargin@mail.ru;

Sergey A. Mokrushin[2],
Ph.D.(Eng.);
Vladimir A. Strel'nikov[1],
Dr.Sc.(Eng.), professor

[1]Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russian Federation;
[2]Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Automated control systems for water treatment processes at agricultural enterprises or agro-industrial complex are made using imported digital microprocessor devices. They, in comparison with electromechanical means, have the versatility and simplicity of operational programming of the logical part required, for example, when changing the algorithms of a technological installation or electric drive. Strict control and restrictions applied by unfriendly exporters to domestic consumers of these products force developers and designers to abandon non-constructive interactions, while achieving the necessary results in solving emerging problems. (Research purpose) The research purpose is creating an automated system for managing the processes of water treatment using microprocessor-based programmable technical means of domestic manufacturers and developing the recommendations on the selection of the type and programming of the controller in the operation of water ozonation. (Materials and methods) The article presents the scheme and the logical part of the automated control of pumping units based on programmable logic controllers of domestic manufacturers. (Results and discussion) The article presents the features of the logical part of the system in the CoDeSys environment using libraries of standard functional blocks. Time intervals were chosen, and the procedure for setting up virtual proportional-integral-differentiating regulators set by programmable logic controllers and determining the properties and indicators of ozone concentration during water disinfection are presented. (Conclusions) The emulation of the proposed options confirmed the stability of the system with the necessary regulation parameters. After checking and configuring the program, the program code is copied into the logical controller. Programming of logic controllers for other operations is performed in a similar way.*

Keywords: *automatic control system, programmable logic controllers, logic control circuits, digital automation equipment.*

For citation: Usanov K.M., Kargin V.A., Mokrushin S.A., Strel'nikov V.A. Mikroprotsessornaya avtomatizirovannaya sistema upravleniya protsessami vodopodgotovki [Microprocessor-based automated control system for water treatment processes]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 76-81. (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-76-81. EDN DDFKNS.

Обеспечение населения безопасными и качественными продуктами питания, а также развитие производства сырья для пищевой промышленности, соответствующего экологическим, ветеринарным и санитарно-эпидемиологическим требованиям, – определяющее направление формирования продовольственной безопасности страны [1].

Изменившаяся обстановка, появление рисков и угроз продовольственной безопасности и социально-экономическому развитию страны выдвигают задачи по созданию новых и совершенствованию имеющихся автоматизированных систем управления (АСУ) технологическими процессами, в том числе в пищевой промышленности [2-7].

Цель многоэтапной водоподготовки на предприятиях АПК или в индивидуальных хозяйствах – максимальное удаление болезнетворных микроорганизмов, солей, металлов и других загрязнений для обеспечения соответствия показателей качества воды санитарным нормам [8]. Концепция многоступенчатой водоподготовки предполагает использование сложного комплекса оборудования, включающего грубую и тонкую фильтрацию, умягчение, обратный осмос, озонирование и так далее. Неизбежное и существенное влияние каждого этапа на качество получаемой воды предопределяет необходимость разработки АСУ технологическими процессами водоподготовки.

Цель исследования – создать автоматизированную систему управления процессами водоподготовки с использованием микропроцессорных программируемых технических средств отечественных производителей. Разработать рекомендации по выбору типа и программированию регулятора в операции озонирования воды.

Материалы и методы. На *рисунке 1* представлена упрощенная функциональная схема АСУ процессом водоподготовки. Подробное описание всех этапов очистки воды приведено в работе [9]. Насосы *pump1-pump4* осуществляют перекачивание во-

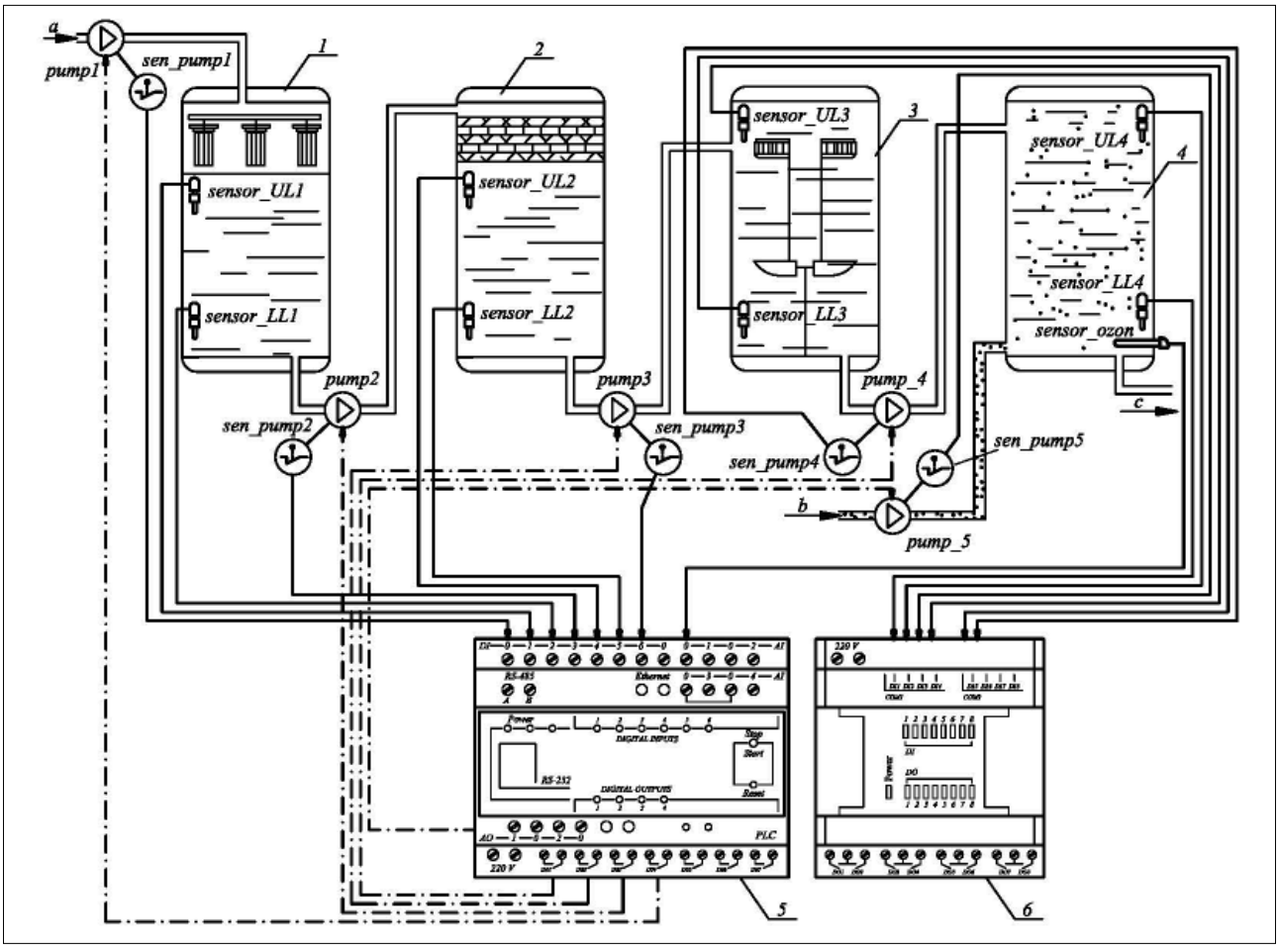


Рис. 1. Функциональная схема автоматизированной системы управления водоподготовкой: 1 – резервуар для тонкой фильтрации воды; 2 – резервуар для умягчения воды; 3 – резервуар обратного осмоса; 4 – резервуар для озонирования; 5 – программируемый логический контроллер; 6 – модуль расширения дискретных входов/выходов; a – из резервуара грубой очистки воды; b – подача озона; c – вода на розлив

Fig. 1. Functional diagram of an automated water treatment control system: 1 – tank for fine water filtration; 2 – tank for water softening; 3 – reverse osmosis tank; 4 – ozonation tank; 5 – programmable logic controller; 6 – expansion module with discrete inputs/outputs; a – from a primary water purification tank; b – ozone supply; c – bottling water

ды между резервуарами *1-4* (*рис. 1*) на различных этапах водоподготовки, сигналом включения или отключения которых служит замыкание поплавковых датчиков соответственно нижнего (*sensor_LL1-sensor_LL4*) или верхнего (*sensor_UL1-sensor_UL4*) уровня.

Для контроля концентрации озона в воде на этапе озонирования используется датчик *sensor_ozon*. Работоспособность насосов контролируется датчиками *sen_pump1-sen_pump4*.

Взамен импортируемых программируемых логических контроллеров (ПЛК) предлагается система на основе устройств, выпускаемых отечественным производителем приборов и средств автоматизации ОВЕН, например, ОВЕН ПЛК110, программирование которых выполняется в среде программирования *OWEN Logic* либо *CoDeSys* на пяти стандартных языках [10-15].

Результаты и обсуждение. Озонирование – важный этап водоподготовки, когда вода дезинфицируется и приобретает дополнительные полезные свойства. Однако превышение количества применяемого для окисления вещества способно нанести вред здоровью человека, а неконтролируемое и продолжительное действие озона может спровоцировать сбои в работе органов дыхания. Таким образом, разработка в составе АСУ водоподготовки локальной системы автоматического регулирования (САР) концентрации озона при очистке воды, представляется актуальной задачей [16, 17]. Структурная схема САР показана на *рисунке 2*.

Регулирование концентрации озона осуществляется с помощью изменения производительности насоса *3* двигателем *2*, напряжение на который подается от источника питания через твердотельное реле *1* (*рис. 2*). Значение питающего электродвигатель напряжения будет определяться величиной сигнала обратной связи от датчика концентрации озона *5* в емкость *4*, управляющего аналоговым выходом программируемого логического контроллера ПЛК.

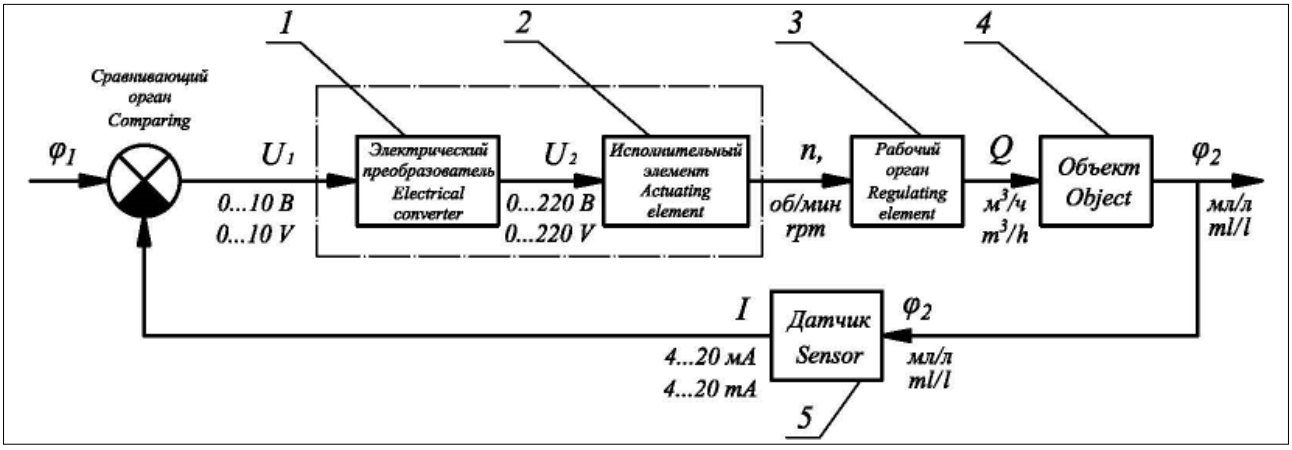


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического регулирования концентрации озона в воде: 1 – твердотельное реле; 2 – электродвигатель; 3 – насос; 4 – резервуар с водой; 5 – датчик концентрации озона в воде
Fig. 2. Block diagram of the system for automatic control of ozone concentration in water: 1 – solid-state relay; 2 – electric motor; 3 – pump; 4 – water tank; 5 – ozone concentration sensor in water

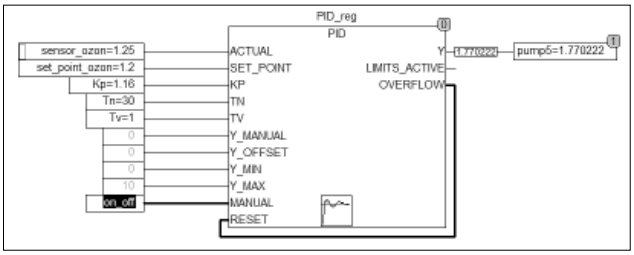


Рис. 3. Реализация ПИД-закона регулирования концентрации озона в воде с помощью стандартного функционального блока CoDeSys
Fig. 3. Implementation of the PID control for ozone concentration in water using the standard CoDeSys function block

Предварительные оценки показали, что для обеспечения требуемых значений точности и быстродействия системы регулирования, перспективно использование ПИД-закона регулирования, реализация которого возможна в ПЛК (*рис. 3*) с помощью стандартных библиотек, в том числе, *util.lib*:

$$Y = Y_OFFSET + KP\left(e(t) + \frac{1}{TN}\int_0^{TN} e(t) + TV\frac{de(t)}{dt} \right),$$

где *Y_OFFSET* – стационарное значение; *KP* – коэффициент передачи; *e*(*t*) – сигнал ошибки; *TN* – постоянная интегрирования; *TV* – постоянная дифференцирования [10].

На вход *ACTUAL* функционального блока *PID* подается аналоговый сигнал от датчика концентрации озона *sensor_ozon* в воде, на его выходе *Y* формируется управляющий сигнал 0-10 В, значение которого с аналогового выхода контроллера подается в цепь управления твердотельным реле насоса *pump5*.

Значение выхода *Y* ПИД-регулятора ограничено параметрами *Y_MIN* и *Y_MAX* в диапазоне от 0 до 10. При достижении *Y* границ ограничения, выход *LIMITS_ACTIV* на блоке регулятора принимает значение *TRUE*, в противном случае он равен *FALSE*.

Значение уставки (требуемая концентрация озона в воде) регулятора задается на вход *SET_POINT* оператором при программировании. На входах *KP*, *TN* и *TV* устанавливают предварительные параметры настройки регулятора: коэффициент передачи; постоянная интегрирования; постоянная дифференцирования. Включение/отключение регулятора осуществляется подачей соответственно *FALSE* или *TRUE* на вход *MANUAL*.

Пример эмуляции программы на языке *CFC* показан на *рисунке 4*. При установке сигнала управления на входе ПЛК оценивают алгоритм, формируемый заданным управляющим сигналом, и задействованный выход устройства. Весь путь отмечается серым цветом.

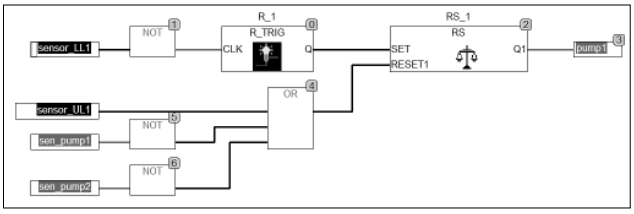


Рис. 4. Пример эмуляции логической схемы управления процессами водоподготовки
Fig. 4. Example of emulation of a logical control scheme for water treatment processes

Датчики верхнего *sensor_UL1* и нижнего *sensor_LL1* уровня (*рис. 4*) отключены (черный цвет), что свидетельствует об отсутствии воды в емкости. При этом насос *pump1* включается (серый цвет).

Замыкание датчика нижнего уровня *sensor_LL1* не приводит к остановке привода насоса. Срабатывание датчика верхнего уровня *sensor_UL1* или выход из строя любого насоса отключает привод *pump1*.

Выводы. Эмуляция программы подтвердила работоспособность управляющей системы. После проверки и настройки программы проводится копирование кода программы в логический контроллер.

Аналогичным образом производится программирование ПЛК для других операций.

Библиографический список

1. Гончаров В.Д., Рау В.В., Селина М.В. Продовольственная безопасность России в условиях ВТО. М.: ИНЭК. 2014. 149 с.
2. Четвериков Е.А., Каргин В.А., Моисеев А.П. Совершенствование установки сушки расторопши за счет автоматизации процесса измерения влажности // *Аграрный научный журнал*. 2015. N7. С. 52-54.
3. Лягина Л.А., Каргин В.А., Моисеев А.П. Система автоматического управления процессом сушки растительного сырья // *Аграрный научный журнал*. 2017. N7. С. 78-82.
4. Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М., Назойкин Е.А. Использование имитационного моделирования для идентификации состояния промышленного предприятия // *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2020. N2(98). С. 39-40.
5. Музыка М.Ю., Благовещенский И.Г., Благовещенский В.Г. и др. Технические решения для реализации программно-аппаратного комплекса управления качеством пищевой продукции // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2021. Т. 83. N4(90). С. 49-56.
6. Shkapov P.M., Blagoveshchensky I.G., Blagoveshchensky V.G., et al. Development and research of mathematical models and control algorithms for the separation of bulk materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1191. Iss. 1. 012018.
7. Каргин В.А., Волгин А.В., Моисеев А.П. и др. Электрический преобразователь с автоподстройкой выходного усилия электромагнитного формователя колбасных изделий // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018. N2(160). С. 176-180.
8. Саканская-Грицай Е.И. Проблемы и перспективы совершенствования водоподготовки // *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2014. N3(29). С. 88-95.
9. Зайцева И.С. Некоторые региональные особенности использования водных ресурсов в современной России // *Известия РАН. Серия: Географическая*. 2007. N5. С. 17-27.
10. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. М.: Солон-Пресс. 2004. 253 с.
11. Каргин В.А. Система автоматического управления электромагнитным сводообрушителем // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. N6(176). С. 148-154.
12. Назойкин Е.А., Лавлинский В.В., Мокрушин С.А. и др. Реализация двухконтурного четырехканального регулятора для управления процессом стерилизации консервов в промышленном автоклаве // *Моделирование систем и процессов*. 2021. Т. 14. N2. С. 21-27.
13. Каргин В.А. Система управления электромагнитным прессом для отжима сока // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. N4(174). С. 155-160.
14. Каргин В.А., Моисеев А.П., Волгин А.В. и др. Система управления плавным ходом якоря ЛЭМД кормораздаточных транспортеров за счет автоматической корректировки выходного усилия // *Известия Международной академии аграрного образования*. 2017. N37. С. 15-18.
15. Моисеев А.П., Каргин В.А., Волгин А.В. и др. Система автоматического управления силовым электромагнитным приводом для оглушения скота // *АПК России*. 2022. Т. 29. N1. С. 42-47.
16. Орлов В.А. Озонирование воды. М.: Стройиздат. 1984. 89 с.
17. Васильев А.Н., Дорохов А.С., Ершова И.Г. и др. Методология исследования энергосберегающих технологических систем обработки сельхозпродукции как объектов управления // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 12. N4(63). С. 86-104.

References

1. Goncharov V.D., Rau V.V., Selina M.V. Prodovol'stvennaya bezopasnost' Rossii v usloviyakh VTO [Russia's food security in the WTO]. Moscow: INEK. 2014. 149 (In Russian).
2. Chetverikov E.A., Kargin V.A., Moiseyev A.P. Sovershenstvovanie ustanovki sushki rastoropshi za schet avtomatizatsii protsessa izmereniya vlazhnosti [Improving the milk thistle drying plant by automating the humidity measurement process]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2015. N7. 52-54 (In Russian).
3. Lyagina L.A., Kargin V.A., Moiseev A.P. Sistema avtomaticheskogo upravleniya protsessom sushki rastitel'nogo syr'ya [Automatic control system in drying of vegetable raw materials]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2017. N7. 78-82 (In Russian).
4. Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskaya M.M., Nazoykin E.A. Ispol'zovanie imitatsionnogo modelirovaniya dlya identifikatsii sostoyaniya promyshlennogo predpriyatiya [Using simulation modeling to identify the state of an industrial enterprise]. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii*. 2020. N2(98). 39-40 (In Russian).
5. Muzyka M.Yu., Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskiy V.G., et al. Tekhnicheskie resheniya dlya realizatsii programmno-apparatnogo kompleksa upravleniya kachestvom pishchevoy produktsii [Technical solutions for the implementation of the software and hardware complex of food quality management]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta*

inzhenernykh tekhnologiy. 2021. Vol. 83. N4(90). 49-56 (In Russian).
6. Shkapov P.M., Blagoveshchensky I.G., Blagoveshchensky V.G., et al. Development and research of mathematical models and control algorithms for the separation of bulk materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1191. Iss. 1. 012018.
7. Kargin V.A., Volgin A.V., Moiseyev A.P., et al. Elektricheskiy preobrazovatel' s avtopodstroykoy vykhodnogo usiliya elektromagnitnogo formovatelya kolbasnykh izdeliy [Electric converter with automatic adjustment of the output force of the electromagnetic sausage shaper]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. N2(160). 176-180 (In Russian).
8. Sakanskaya-Gritsay E.I. Problemy i perspektivy sovershenstvovaniya vodopodgotovki [Problems and prospects of improving water treatment]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*. 2014. N3(29). 88-95 (In Russian).
9. Zaytseva I.S. Nekotorye regional'nye osobennosti ispol'zovaniya vodnykh resursov v sovremennoy Rossii [Some regional features of the use of water resources in modern Russia]. *Izvestiya RAN. Seriya: Geograficheskaya*. 2007. N5. 17-27 (In Russian).
10. Petrov I.V. Programmiruyemye kontrollery. Standartnye yazyki i priemy prikladnogo proektirovaniya [Programmable controllers. Standard languages and techniques of applied design]. Moscow: Solon-Press. 2004. 253 (In Russian).
11. Kargin V.A. Sistema avtomaticheskogo upravleniya elektromagnitnym svodoobrushitelem [Automatic control system of the electromagnetic arch breaker]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2019. N6(176). 148-154 (In Russian).
12. Nazoykin E.A., Lavlinskiy V.V., Mokrushin S.A., et al. Realizatsiya dvukhkonturnogo chetyrekhkanal'nogo regulyatora dlya upravleniya protsessom sterilizatsii konservov v promyshlennom avtoklave [Implementation of a two-circuit four-channel regulator for controlling the sterilization process of canned food in an industrial autoclave]. *Modelirovanie sistem i protsessov*. 2021. Vol. 14. N2. 21-27 (In Russian).
13. Kargin V.A. Sistema upravleniya elektromagnitnym pressom dlya otzhima soka [Electromagnetic juicing press control system]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. N4(174). 155-160 (In Russian).
14. Kargin V.A., Moiseev A.P., Volgin A.V., et al. Sistema upravleniya plavnym khodom yakorya LEMD kormorazdatochnykh transporterov za schet avtomaticheskoy korrektirovki vykhodnogo usiliya [Control system for the smooth running of the LAMD anchor of feed conveyors due to automatic adjustment of the output force]. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2017. N37. 15-18 (In Russian).
15. Moiseev A.P., Kargin V.A., Volgin A.V., et al. Sistema avtomaticheskogo upravleniya silovym elektromagnitnym privodom dlya oglusheniya skota [Automatic control system of a power electromagnetic drive for stunning cattle]. *APK Rossii*. 2022. Vol. 29. N1. 42-47 (In Russian).
16. Orlov V.A. Ozonirovanie vody [Water ozonation]. Moscow: Stroyizdat. 1984. 89. (In Russian).
17. Vasil'ev A.N., Dorokhov A.S., Ershova I.G., et al. Metodologiya issledovaniya energosberegayushchikh tekhnologicheskikh sistem obrabotki sel'khozproduktsii kak obektov upravleniya [Methodology of research of energy-saving technological systems of processing of agricultural products as objects of management]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. Vol. 12. N4(63). 86-104 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

The authors have made an equivalent contribution to the manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 22.04.2022
Статья принята к публикации 26.08.2022

УДК 631.171 CC BY DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-82-88

Применение сверточной нейронной сети для определения границ сосков вымени коровы

Сергей Сергеевич Юрочка,
младший научный сотрудник, yurochkaSR@gmail.com;
Артем Рустамович Хакимов,
младший научный сотрудник;
Дмитрий Юрьевич Павкин,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
Игорь Мамедяревич Довлатов,
кандидат технических наук, научный сотрудник;
Федор Евгеньевич Владимиров,
научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *В настоящее время в молочном животноводстве наблюдается активное использование систем точного определения сосков вымени коровы, необходимое для роботизированного доения. Обнаружение объекта состоит как в оценке точного положения объекта (локализация объекта), так и в определении категории, к которой он принадлежит (классификация объекта). (Цель исследования) Разработать метод поиска скопления точек для определения границ сосков в трехмерных картах, полученных с 3D ToF-камеры. (Материалы и методы) Использовали камеру IFM O3D303 с разрешением 352 × 264 пикселя. Разработали структуру для анализа статических и динамических сцен, модель состоит из пяти блоков сверточных слоев, трех полносвязных слоев нейронов и слоя классификатора; в двух первых блоках содержится по два слоя, в других трех блоках – по три слоя свертки. (Результаты и обсуждение) Установили, что программное обеспечение выделяет цветом обнаруженные соски. Определили, что метод считается подходящим на основе заданного условия, если при 10 повторениях эксперимента производится распознавание границ четырех сосков и отсутствуют артефакты, эксперимент можно считать успешным, допустимая погрешность эксперимента не более 10 процентов. Показали, что во время поиска границ сосков в уточненном скоплении точек алгоритм в ограничивающем цилиндре повторно осуществляет поиск точек. (Выводы) Предложили метод поиска скопления точек для выявления границ сосков в трехмерных картах, полученных с 3D ToF-камеры, с помощью нейросети, применяющей «якорные прямоугольники». Собрали для обучения нейронной сети данные от 36 животных и 6000 снимков, натурные эксперименты подтвердили точность работы нейросети в 90 процентах. Установили дополнительно, что предложенный метод позволяет определять длину X, диаметр Y и угол наклона сосков Z в автоматическом режиме.*

Ключевые слова: *молочное животноводство, роботизированное доение, параметры вымени, нейросеть, бесконтактная оценка.*

Для цитирования: Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Владимиров Ф.Е. Применение сверточной нейронной сети для определения границ сосков вымени коровы // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 82-88. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-82-88. EDN ENGPRD.

Using a Convolutional Neural Network to Determine the Teat Limits of a Cow's Udder

Sergey S. Yurochka,
junior researcher, yurochkaSR@gmail.com;
Artem R. Khakimov,
junior researcher;
Dmitriy Yu. Pavkin
Ph.D.(Eng.), senior researcher;

Igor' M. Dovlatov,
Ph.D.(Eng.), researcher;
Fedor E. Vladimirov,
researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *In dairy farming, there is an active use of systems for the accurate recognizing of cow's teats, which is necessary for robotic milking. Object detection consists both in assessing the exact position of the object (localization of the object) and in determining the category to which it belongs (classification of the object). (Research purpose) The research purpose is developing a method for searching for clusters of points to determine the limits of the teat in three-dimensional maps obtained with a 3D ToF camera. (Materials and methods) An IFM O3D303 camera with a resolution of 352 × 264 pixels was used. Authors have developed a structure for analyzing static and dynamic scenes, the model consists of five blocks of convolutional layers, three fully connected layers of neurons and a classifier layer. The first two blocks contain two layers, the other three blocks contain three convolution layers. (Results and discussion) The software highlights the detected teats in color. The method is considered suitable if at 10 repetitions of the experiment the limits of four teats are recognized and there are no artifacts, the experiment can be considered successful, the permissible error of the experiment is no more than 10 percent. During the search for limits of teats, the algorithm repeatedly searches for points in the bounding cylinder of the refined cluster of points. (Conclusions) A method for searching for clusters of points to identify teats limits in three-dimensional maps processing data from a 3D ToF camera using a neural network with «anchor rectangles». Data from 36 animals and 6000 images were collected for training the neural network, field experiments confirmed the accuracy of the neural network in 90 percent. The proposed method allows determining length X, diameter Y and inclination angle Z of the teat in automatic mode.*

Keywords: *dairy farming, robotic milking, udder parameters, neural network, non-contact evaluation.*

For citation: Yurochka S.S., Khakimov A.R., Pavkin D.Yu., Dovlatov I.M., Vladimirov F.E. Primenenie svertochnoy neyronnoy seti dlya opredeleniya granits soskov vymeni korovy [Using a convolutional neural network to determine the teat limits of a cow's udder]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 82-88 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-82-88. EDN ENGPRD.

Важный этап роботизированного доения – создание системы точного определения сосков вымени коровы. В существующей технологии роботизированного установления сосков, распознавания и уточнения их положения с последующим наведением и одеванием доильных стаканов, процесс можно рассматривать как статический. Нейронные сети (НС) широко применяются в различных областях, где требуется определить сверточную нейронную сеть (СНС), в том числе используются в работе как инструмент нахождения границ сосков [1]. Обнаружение объекта состоит как в оценке его точного положения (локализация объекта), так и в выявлении категории, которой он принадлежит (классификация объекта). Это центральный компонент во многих реальных приложениях, включая нахождение пешеходов и транспортных средств в автономном режиме, людей для анализа их поведения, нахождение и дальнейшее распознавание лиц для целей наблюдения и так далее [2]. Однако из-за большого разнообразия точек обзора, поз, окклюзии и условий освещения установление объектов остается сложной проблемой. В течение последнего десятилетия развитие глубоких НС и, в частности СНС, привело как к изменению парадигмы, так и к некоторым значительным улучшениям [3, 4]. Это повышение точности стало возможным благодаря не только методологическим достижениям, но и наличию больших объемов данных, а также увеличению вычислительной мощности. С тех пор нахождение объектов с помощью подходов глубокого обучения развивалось с неудержимой скоростью, пытаясь добиться все большей точности обнаружения, а также обеспечить быстрое выявление для приложений реального времени [5, 6].

Перед СНС, определяющей координаты сосков вымени коровы, стоит две задачи:

1. На вход в алгоритм распознавания сосков необходимо получить карту облака точек, детектировать (распознать) четыре соска, их границы, распознать кончик соска, начало соска, установить осевую линию, выдать результат обратно.

2. На вход в алгоритм распознавания температуры на тепловизионных картах необходимо получить тепловизионную карту, распознать максимальную температуру на ней (температура устанавливается

автоматически путем внутренних алгоритмов модуля, изготовленного на производстве, и распознавание температуры на карте сводится к простому распознаванию цифр), область – установить номер доли вымени.

В данной работе не будет рассматриваться процесс распознавания цифр СНС, потому что эта задача была решена множеством авторов, поэтому способ распознавания цифр взят из работ авторов Е.М. Черных и В.А. Головкова [7-9].

Цель исследования – разработать метод поиска скопления точек для определения границ сосков в трехмерных картах, полученных с *3D ToF*-камеры.

Материалы и методы. Использовали камеру *IFM O3D303* с разрешением 352 × 264 пикселя. *ToF*-камера способна рассчитывать и выводить пространство точек (*Point Cloud*) в виде двумерного массива $i \times j$, где i и j – разрешение камеры. При каждом снимке *ToF*-камеры фиксируется матрица A[352,264], каждая ячейка которой соответствует расстоянию отрезков от центра координат камеры до объекта наблюдения в зависимости от апертурного угла луча.

На *рисунке 1* приведена структура применяемой СНС для анализа статических и динамических сцен. Модель построена на основе СНС *VGG-16*. *VGG-16* – это лучшая архитектура СНС для распознавания объектов в статических и динамически сценах. Данная модель состоит из пяти блоков сверточных слоев, трех полносвязных слоев нейронов и слоя классификатора. В двух первых блоках содержится по два слоя, в других трех блоках – по три слоя свертки. Подробное описание работы нейронов в СНС представлено в работах [10-15].

Слой создания «якорных прямоугольников» выполняет задачу упрощения изображения, сравнивание упрощенного изображения с эталонным критерием. Упрощать изображение необходимо, так как все современные трехмерные камеры работают с изображениями высокого разрешения, и это слишком большой объем данных для СНС, где объем будет обрабатываться более секунды. Для того чтобы снимки обрабатывать до одной секунды требуется упростить изображение. Упрощение изображения происходит в слое генерации «якорных прямоугольников», их размер уникален, зависит от типа и разрешения трехмерной камеры, а также искомого объекта – сосков молочной коровы.

Для обучения СНС использовали лабораторный стенд и результаты натурного сбора данных (*рис. 2*). На стенде получили 200 ракурсов и конфигураций по 5 кадров. При натурном сборе данных были заимствованы до 36 животных – 6 тысяч снимков (20 минут материала по 60 секунд, по 5 кадров в каждой секунде).

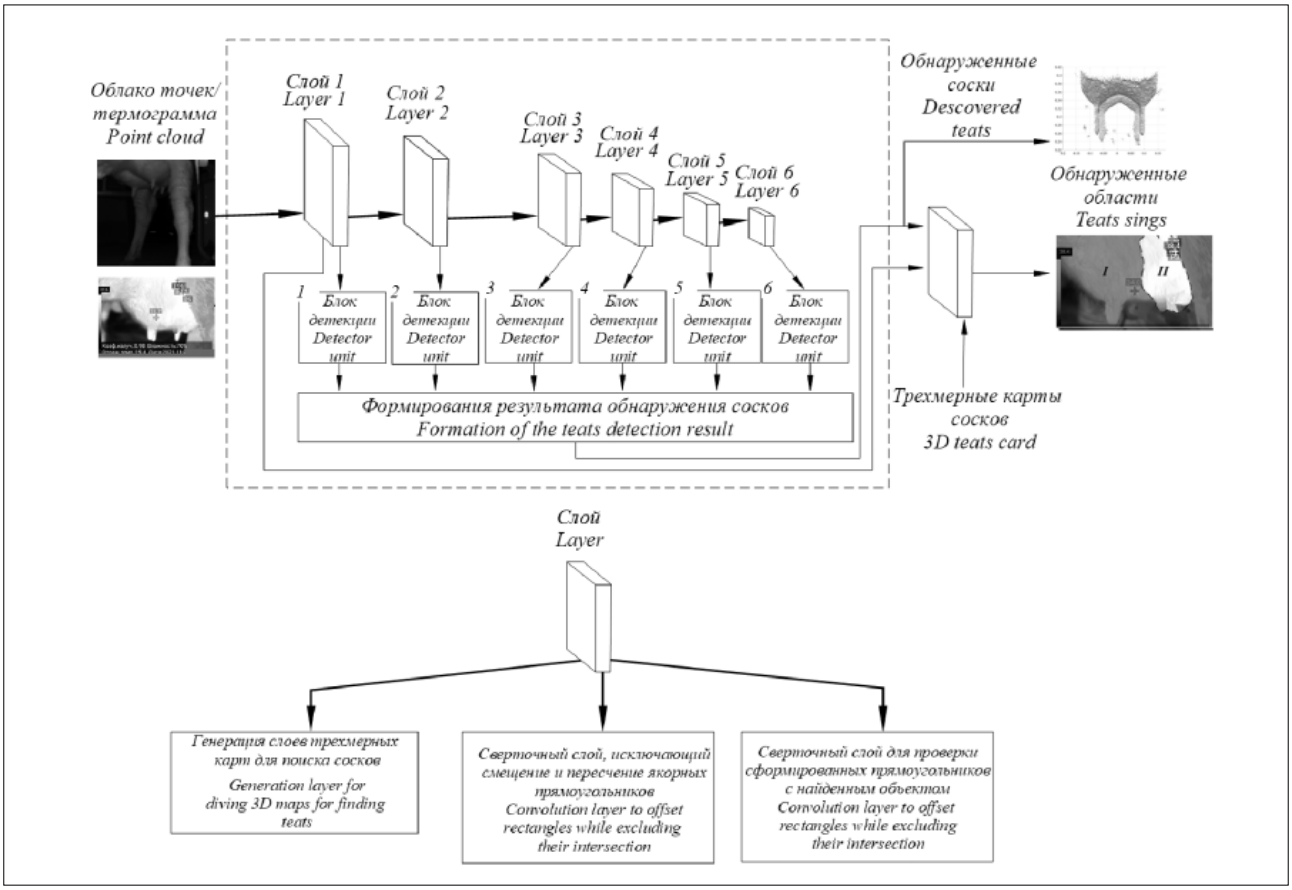
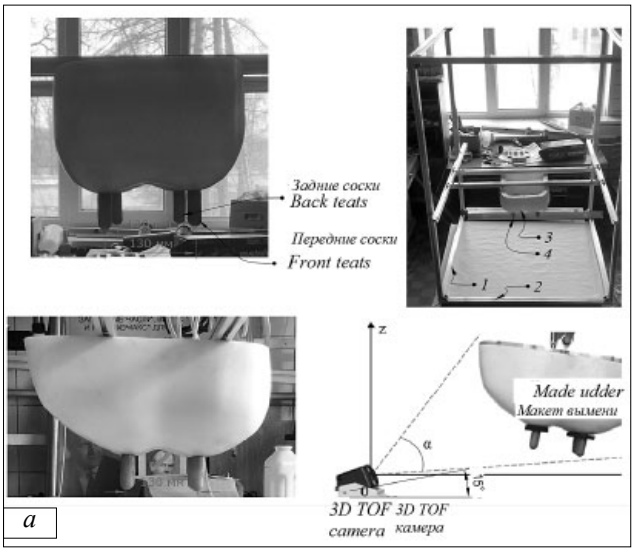


Рис. 1. Структура НС для анализа статических и динамических зрительных сцен
Fig. 1. The structure of the neural network for the analysis of static and dynamic visual scenes



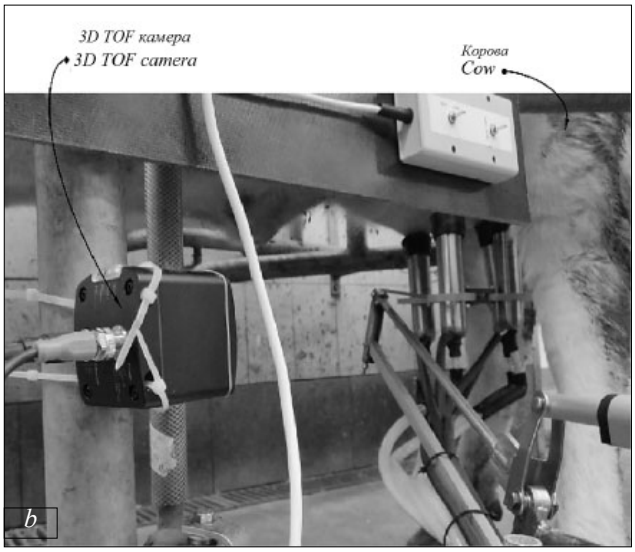


Рис. 2. Обучение СНС: *a* – лабораторный стенд; *b* – результаты натурного сбора данных
Fig. 2. Training process of the convolutional neural network: *a* – laboratory stand; *b* – results of field data collection

Результаты и обсуждение. Определение работоспособности созданной СНС произвели визуальным способом. ПО должно выделить цветом обнаруженные соски. На *рисунке 3* представлен пример, при котором отображена 100%-ная работоспособность СНС.

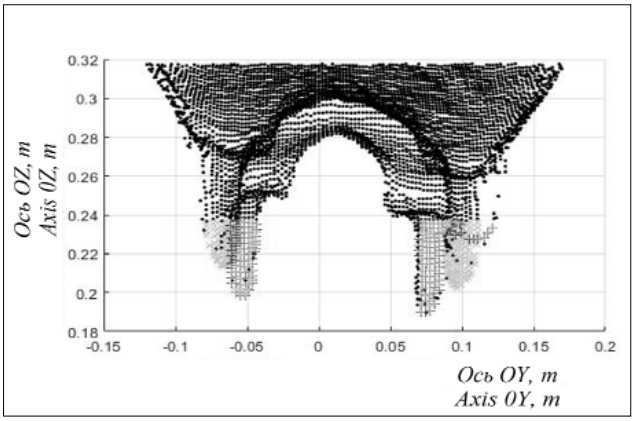


Рис. 3. Пример результата работы СНС. Отсутствуют артефакты, 4 соска распознаны
Fig. 3. The result of the neural network processing. No artifacts, four teats are recognized

При условии, что при 10 повторениях эксперимента производится распознавание границ четырех сосков и отсутствуют артефакты, эксперимент можно считать успешным. Допустимая погрешность эксперимента не более 10%.

После того, как были обнаружены соски на трехмерной карте, следует начать работу с самим соском по обнаружению локальных минимумов сосков, длины, диаметра, угла наклона сосков.

Во время проведения поиска границ сосков в уточненном скоплении точек алгоритм в ограничивающем цилиндре повторно осуществляет поиск точек.

На *рисунке 4* цилиндр образован множеством «якорных прямоугольников», расположенных на плоскости *0XY*, и «склеенных» их срезов плоскости *0XY*, где каждый срез – это отображение плоскости *0XY* при движении вдоль оси *Z*.

Рассмотрим пример, представленный на *рисунке 4*, где СНС обозначила серым цветом объем. К фону относятся любые объекты, не принадлежащие соску.

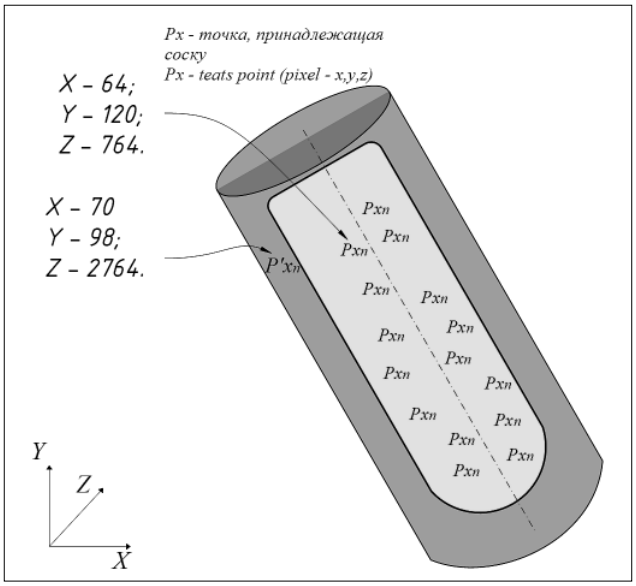


Рис. 4. Определение параметров соска
Fig. 4. Determining the parameters of the teats

Предположим, что среднее расстояние от объектива камеры до всех точек *P*, расположенных в желтой области соска, – 0,75 м. Установим допустимый порог по оси *Z* – это изменение среднего расстояния ±0,027 м, где 0,027 м – максимально возможный диаметр задних сосков. Тогда все точки, которые будут лежать вне диапазона расстояний 0,723-0,777 м,

не будут являться соском. Например, точка *P* с координатами *X* – 0,070, *Y* – 0,098, *Z* – 2,764 не входит в скопление точек соска, так как по оси *Z* значение 2,764 не попадает в допустимый диапазон. Таким образом определяются все границы соска.

Далее стоит определить длину, ширину и угол наклона соска. Для этого на основании облака точек, представляющего сосок с четкими границами, распознанного СНС, необходимо разработать трехмерную модель соска (*рис. 5*).

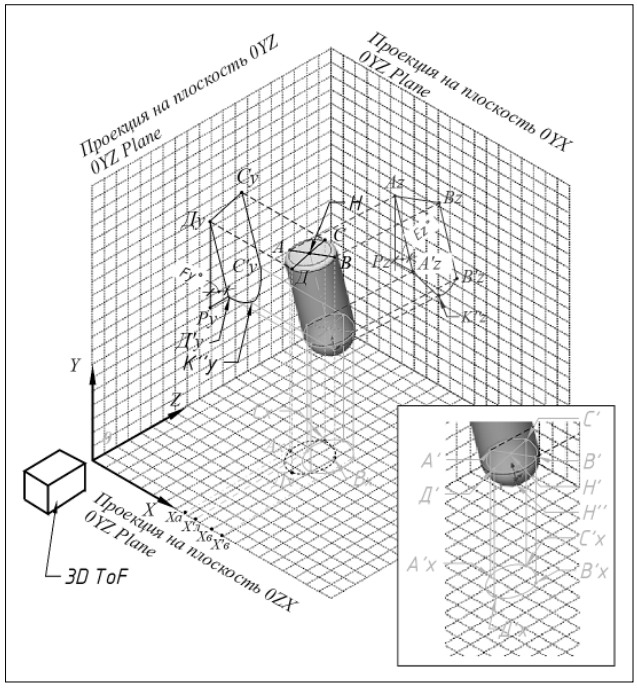


Рис. 5. Определение длины, ширины и углов наклона соска

Fig. 5. Determining the length, width and angles of the teat

Длина соска рассчитывается по формуле:

$$HH'' = AA' + H'H'', \quad (1)$$

где определение крайних точек *A* и *A′* производится СНС при установлении границ сосков, а

$$|H'\,H''| = 1/2\ A'C'.$$

Для расчета угла наклона сосков необходимо на плоскости *0YZ* рассчитать угол $F_y{}^0$ прямоугольного треугольника $\Delta Д_y Д'_y P_y$:

$$sinF_y{}^0 = (Д_y\,P_y)/(Д_y\,Д_y'), \quad (2)$$

где $Д_y P_y$ находится по формуле:

$$Д_y\,P_y = \sqrt{(x_{Д_y} - x_{p_y})^2 + (y_{Д_y} - y_{p_y})^2 + (z_{Д_y} - z_{p_y})^2}. \quad (3)$$

Чтобы рассчитать угол наклона сосков необходимо на плоскости *0XY* рассчитать угол *a* прямоугольного треугольника $\Delta A_z A'_z P_z$:

$$sinE_z{}^0 = (A_z\,P_z)/(A_z\,A_z'), \quad (4)$$

где $A_z P_z$ определяются следующим образом:

$$A_z P_z = \sqrt{(x_{A_z} - x_{p_z})^2 + (y_{A_z} - y_{p_z})^2 + (z_{A_z} - z_{p_z})^2}. \quad (5)$$

Произвели определение длины, диаметра и угла наклона соска автоматическим алгоритмом.

Выводы. Предложили метод поиска скопления точек для выявления границ сосков в трехмерных картах, полученных с *3D ToF*-камеры, с помощью нейросети, применяющей «якорные прямоугольники». Для обучения нейронной сети собрали данные от 36 животных и 6000 снимков. Натурные эксперименты подтвердили точность работы нейросети в 90%.

Дополнительно установили, что предложенный метод позволяет определять длину *X*, диаметр *Y* и угол наклона сосков *Z* в автоматическом режиме.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации на право получения гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук – МК-2513.2022.4.

Библиографический список

1. Pham M.-T., Courtrai L., Friguet C., et al. YOLO-Fine: One-Stage Detector of Small Objects Under Various Backgrounds in Remote Sensing Images. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. Iss. 15. 2501.
2. Zou Z., Shi Z., Guo Y., et al. Object Detection in 20 Years: A Survey. Arxiv. 2019. Vol. 1905. 05055v2.
3. Liu L., Ouyang W., Wang X., et al. Deep learning for generic object detection: A survey. *International Journal of Computer Vision*. 2020. Vol. 128. Iss. 2. 261-318.
4. Jiao L., Zhang F., Liu F., et al. A survey of deep learning-based object detection. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. 128837-128868.
5. Власенкова Т.А., Козырева Ю.Ю. Цифровизация как основа эффективного ведения сельского хозяйства // *Менеджмент в АПК*. 2021. N2. С. 11-16.
6. Симонов Г.А., Маклахов А.В., Задумкин К.А. и др. Качественные показатели молока коров черно-пестрой породы при беспривязном содержании и доении на установках роботах // *Эффективное животноводство*. 2018. N7(146). С. 56-59.
7. Черных Е.М., Коняева Е.М., Чашин Ю.Г. Распознавание рукописных цифр с использованием искусственных нейронных сетей // *Аллея науки*. 2018. Т. 7. N11(27). С. 914-920.
8. Головко В.А., Михно Е.В., Брич А.Л. и др. Редуцированная сверточная нейронная сеть для точного распознавания рукописных цифр // *Вестник Брестского государственного технического университета. Физика, математика, информатика*. 2016. N5(101). С. 2-7.
9. Иванько А.Ф., Иванько М.А., Сизова Ю.А. Нейрон-

ные сети: общие технологические характеристики // *Научное обозрение. Технические науки*. 2019. N2. С. 17-23.
10. Цыгулев К.С., Секриеру Р.А., Смагин А.С. и др. Применение сверточных нейронных сетей для сегментации объектов на изображениях // *Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке*. 2021. Т. 2. С. 308-312.
11. Волкова С. С., Матвеев Ю.Н. Применение сверточных нейронных сетей для решения задачи противодействия атаке спуфинга в системах лицевой биометрии // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2017. Т. 17. N4. С. 702-710.
12. Sheremet O.I., Korobov O.Ye., Sadovoi O.V., et al. Intelligent system based on a convolutional neural network for identifying people without breathing masks. *Applied Aspects of Information Technology*. 2020. Vol. 3. Iss. 3. 133-134.
13. Луцив В.Р. Сверточные искусственные нейронные сети глубокого обучения // *Оптический журнал*. 2015. Т. 82. N8. С. 11-23.
14. Bashir S.M.A., Wang Y. Small Object Detection in Remote Sensing Images with Residual Feature Aggregation-Based Super-Resolution and Object Detector Network. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. Iss. 9. 1854.
15. Ruzin S.S., Shilin D.V., Dorokhov A.S., et al. Kinematic model of a cow milking manipulator with simultaneous positioning at four given points. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Borovets, 26–29 ноября 2020 года. Borovets, 2021. 012052.

References

1. Pham M.-T., Courtrai L., Friguet C., et al. YOLO-Fine: One-Stage Detector of Small Objects Under Various Backgrounds in Remote Sensing Images. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. Iss. 15. 2501.
2. Zou Z., Shi Z., Guo Y., et al. Object Detection in 20 Years: A Survey. Arxiv. 2019. Vol. 1905. 05055v2.
3. Liu L., Ouyang W., Wang X., et al. Deep learning for generic object detection: A survey. *International Journal of Computer Vision*. 2020. Vol. 128. Iss. 2. 261-318.
4. Jiao L., Zhang F., Liu F., et al. A survey of deep learning-based object detection. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. 128837-128868.
5. Vlasenkova T.A., Kozyreva Yu.Yu. Tsifrovizatsiya kak osnova effektivnogo vedeniya sel'skogo khozyaystva [Digitalization as a basis for effective farming]. *Menedzhment v APK*. 2021. N2. 11-16 (In Russian).
6. Simonov G.A., Maklakhov A.V., Zadumkin K.A., et al. Kachestvennye pokazateli moloka korov cherno-pestroy porody pri besprivyaznom soderzhanii i doenii na ustanovkakh robotakh [Qualitative indicators of milk of black-and-white cows with loose keeping and milking on robot installations]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2018. N7(146). 56-59 (In Russian).
7. Chernykh E.M., Konyayeva E.M., Chashin Yu.G. Raspoznavanie rukopisnykh tsifr s ispol'zovaniem iskusstvennykh neyronnykh setey [Handwritten digit recognition using artificial neural networks]. *Alleya nauki*. 2018. Vol. 7. N11(27). 914-920 (In Russian).
8. Golovko V.A., Mikhno E.V., Brich A.L. et al. Redutsirovannaya svertochnaya neyronnaya set' dlya tochnogo raspoznavaniya rukopisnykh tsifr [Reduced convolutional neural network for accurate recognition of handwritten digits]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Fizika, matematika, informatika*. 2016. N5(101). 2-7 (In Russian).
9. Ivan'ko A.F., Ivan'ko M.A., Sizova Yu.A. Neyronnye seti: obshchie tekhnologicheskie kharakteristiki [Neural networks: general technological characteristics]. *Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki*. 2019. N2. 17-23 (In Russian).
10. Tsygulev K.S., Sekriyeru R.A., Smagin A.S., et al. Primenenie svertochnykh neyronnykh setey dlya segmentatsii obektov na izobrazheniyakh [Application of convolutional neural networks for segmentation of objects in images]. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke*. 2021. Vol. 2. 308-312 (In Russian).
11. Volkova S.S., Matveev Yu.N. Primenenie svertochnykh neyronnykh setey dlya resheniya zadachi protivodeystviya atake spufinga v sistemakh litsevoy biometrii [The use of convolutional neural networks to solve the problem of the spoofing attack in facial biometrics systems]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki*. 2017. Vol. 17. N4. 702-710 (In Russian).
12. Sheremet O.I., Korobov O.Ye., Sadovoi O.V., et al. Intelligent system based on a convolutional neural network for identifying people without breathing masks. *Applied Aspects of Information Technology*. 2020. Vol. 3. Iss. 3. 133-134.
13. Lutsiv V.R. Svertochnye iskusstvennye neyronnye seti glubokogo obucheniya [Convolutional artificial neural networks of deep learning]. *Opticheskiy zhurnal*. 2015. Vol. 82. N8. 11-23 (In Russian).
14. Bashir S.M.A., Wang Y. Small Object Detection in Remote Sensing Images with Residual Feature Aggregation-Based Super-Resolution and Object Detector Network. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. Iss. 9. 1854.
15. Ruzin S.S., Shilin D.V., Dorokhov A.S., et al. Kinematic model of a cow milking manipulator with simultaneous positioning at four given points. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Borovets, 26–29 ноября 2020 года. Borovets, 2021. 012052.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Юрочка С.С. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования;

Хакимов А.Р. – литературный анализ, обработка результатов исследования, формирование текста и общих выводов;

Павкин Д.Ю. – проведение исследования, обработка результатов;

Довлатов И.М. – обработка результатов исследования, доработка текста и общих выводов;

Владимиров Ф.Е. – проведение исследования работы нейросети, доработка текста, визуализация.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Yurochka S.S. – scientific guidance, writing the main research directions;

Khakimov A.R. – literary analysis, processing of research results, writing the text and general conclusions;

Pavkin D.Yu. – conducting research, processing the results;

Dovlatov I.M. – processing the research results, revision of the manuscript and general conclusions;

Vladimirov F.E. – conducting research on the neural network, revision of the manuscript, visualization.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 20.04.2022
Статья принята к публикации 29.08.2022

УДК 621.311.243
CC BY
DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-89-94

Конструкция и компоновка электрического мобильного транспортного средства для фермерского хозяйства

Леонид Юрьевич Юферев,
доктор технических наук, главный научный сотрудник;
Антон Павлович Споров,
аспирант, e-mail: antonspo@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *В настоящее время наблюдается активное использование электротранспорта, который может применяться, в том числе на фермах с целью выполнения технологических процессов в помещениях для содержания животных и выращивания растений. В этой связи появляется необходимость улучшения его технических характеристик, увеличения тягового усилия, которое служит самой важной физической величиной в транспортном средстве с электроприводом. (Цель исследования) Разработать шасси и составить основные узлы ТС, выбрать тяговый электродвигатель мобильного транспортного средства с электроприводом. (Материалы и методы) Провели анализ использования переключения механической коробки передач в электромобилях. Составили принципиальную схему компоновки шасси электротрактора. (Результаты и обсуждение) Определили основные узлы электромобиля (мобильного транспортного средства) – шасси; тяговая аккумуляторная батарея; контрольно-зарядное устройство; электропривод, включающий многоскоростные коробки передач. Уточнили, что использование коробки передач позволяет расширить диапазон транспортного средства. Выбрали тип и напряжение аккумулятора для увеличения срока службы тяговой батареи. (Выводы) Разработали шасси и составили основные узлы транспортного средства. Выбрали тяговый электродвигатель мобильного транспортного средства. Показали, что с помощью предложенного комплекса основных узлов мобильного транспортного средства с электроприводом появляется возможность использования механической коробки передач, которая позволила увеличить крутящий момент в зависимости от необходимости в любое время. Выявили, что поскольку электродвигатель имеет широкий диапазон скорости вращения, то достаточно двух механических передач (рабочей и транспортной). Провели экспериментальные исследования макетного образца мобильного транспортного средства.*

Ключевые слова: *электромобиль, электропривод, транспортное средство с электроприводом, энергетическое оборудование, асинхронный электродвигатель, аккумуляторы.*

Для цитирования: Юферев Л.Ю., Споров А.П. Конструкция и компоновка электрического мобильного транспортного средства для фермерского хозяйства // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 89-94. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-89-94. EDN DVVZVK.

Design and Layout of an Electric Mobile Vehicle for Farming

Leonid Yu. Yuferev,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;
Anton P. Sporov,
postgraduate, e-mail: antonspo@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Currently, there is an active use of electric transport, including farms, in order to perform technological processes in premises for keeping animals and growing plants. In this regard, there is a need to improve its technical characteristics, increase the traction force, which serves as the most important physical quantity in an electric vehicle. (Research purpose) The research purpose is developing a chassis and main components of the vehicle, choose a traction electric motor of a mobile vehicle with an electric drive. (Materials and methods) An analysis of manual transmission switching in electric vehicles was*

performed. The article presents the layout of the electric tractor chassis. (Results and discussion) The main components of an electric vehicle (mobile vehicle) are: chassis; traction battery; control charger; electric drive, including multi-speed gearboxes. The use of a gearbox allows you to expand the range of applications of the vehicle. The article presents the type and voltage of the battery to increase the service life of the traction battery. (Conclusions) The chassis and main components of the vehicle were designed. A traction electric motor of a mobile vehicle was chosen. With the use of the proposed complex of the main components of an electric mobile vehicle, it becomes possible to use a manual transmission, which allows increasing the torque. Since the electric motor has a wide range of rotation speed, two mechanical gears (working and transport) are sufficient. A sample of a mobile vehicle was used in the experimental studies.
Keywords: *electric vehicle, electric drive, power equipment, asynchronous electric motor, batteries.*

For citation: Yuferev L.Yu., Sporov A.P. Konstruktsiya i komponovka elektricheskogo mobil'nogo transportnogo sredstva dlya fermerskogo hozyaystva [Design and layout of an electric mobile vehicle for farming]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 89-94 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-89-94. EDN DVVZVK.

В настоящее время наблюдается тенденция роста цены на углеводородное топливо, которое уже сейчас имеет высокую стоимость. Транспортное средство (ТС) с электроприводом обладает возможностью зарядки аккумуляторов от стандартной электрической сети, практически от любой розетки напряжением 220 В, а также от домашней солнечной электростанции, что позволяет значительно снизить затраты. Кроме того, можно экономить на ночном тарифе затраты за потребленную электроэнергию централизованной электросети [1].

Разработка электрического мобильного транспортного средства для фермера в лучшую сторону повлияет на эффективность его передвижения, развоз корма и контроль за технологическими процессами и разъездам по ферме.

В России до настоящего времени в агропромышленном комплексе как электрические, так и с электромеханической трансмиссией тракторы не производятся.

Цель исследования – разработать шасси и составить основные узлы ТС, выбрать тяговый электродвигатель мобильного транспортного средства с электроприводом.

Материалы и методы. Основные узлы электромобиля (мобильного ТС) – шасси; тяговая аккумуляторная батарея (ТАБ); контрольно-зарядное устройство; электропривод, включающий многоскоростные коробки передач.

На *рисунке 1* представлена компоновка мобильного ТС.

По типу конструкции шасси и кузова электромобили могут быть подразделены на две ключевые группы:

• с использованием несущих кузовов и шасси серийно выпускаемых автомобилей;

• с шасси и кузовами специальных конструкций.

Применение шасси и кузовов серийных автомобилей не позволяет создать электромобили с рациональными компоновочными свойствами, поскольку компоновки существующих автомобилей не дают возможность удовлетворительно разместить ТАБ необходимого объема и массы для обеспечения требуемого запаса хода и динамических показателей электромобилей. Так как ТАБ имеет значительную массу, то ее место размещения необходимо подбирать с учетом распределения массы по осям электромобиля. В этих условиях ТАБ часто приходится делить на блоки, устанавливаемые в разных местах электромобиля, вследствие чего оказывается очень стесненным расположение тягового электрооборудования (контакторы, аппаратура защиты и регулирования) и другого вспомогательного оборудования.

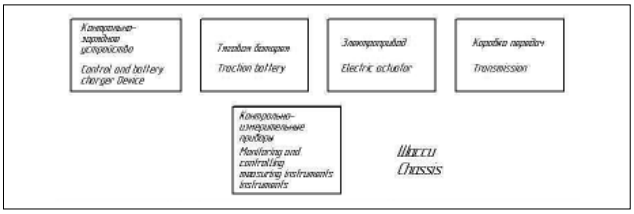


Рис. 1. Компоновка мобильного транспортного средства
Fig. 1. Layout of the mobile vehicle

Использование на электромобилях механических передач серийных автомобилей зависит от типа тягового электропривода. Если последний выполнен по системе мотор-колесо или по другой оригинальной схеме, то такая возможность отсутствует. При установке на электромобиле одного тягового электродвигателя возможно применение узлов серийных механических передач, особенно в том случае, если используются несущий кузов и шасси серийного автомобиля [2]. При этом возможно применение многоскоростных коробок передач с серийных автомобилей.

При использовании тяговых электродвигателей с относительно небольшим диапазоном регулиро-

вания это позволит работать с достаточно высоким КПД привода в широком диапазоне скорости электромобиля и повысить силу тяги на колесах при высокой скорости [3].

Использование коробки передач позволяет снизить массу тягового электродвигателя и получить более глубокую зависимость силы тяги от скорости.

Для увеличения срока службы тяговой батареи выбрали герметизированный, необслуживаемый свинцово-кислотный тип аккумулятора с гелиевым электролитом (*AGM+GEL*). Такой тип аккумулятора при небольшой стоимости может обеспечить от 500 до 1300 циклов заряда-разряда батареи, если не эксплуатировать батарею с глубокими разрядами [4].

На *рисунке 2* показана зависимость срока службы аккумуляторов *AGM+GEL* от глубины разряда.

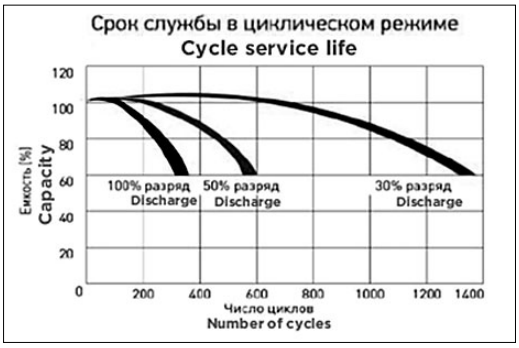


Рис. 2. Зависимость срока службы аккумуляторов AGM+GEL от глубины разряда (URL: https://realsolar.ru/akb/delta/gx/delta-gx-12-17/)

Fig. 2. Dependence of AGM+GEL battery life on the discharge depth (URL: https://realsolar.ru/akb/delta/gx/delta-gx-12-17/)

В качестве тяговой батареи выбрали аккумуляторы *DELTA GEL 12020*, имеющие следующие характеристики:

- габаритные размеры: 181 × 77 × 167 мм;
- масса – 5,3 кг;
- технология *AGM+GEL*;
- максимальный зарядный ток – 4 А;
- номинальная емкость аккумуляторов зависит от разрядного тока (*рис. 2*);
- номинальная емкость при температуре 25°С:
  • 20-часовой разряд (ток 1 А; напряжение 1,75 В/эл) – 20 А·ч;
  • 10-часовой разряд (ток 1,79 А; напряжение 1,75 В/эл) – 17,9 А·ч;
  • 5-часовой разряд (ток 3,15 А; напряжение 1,75 В/эл) – 15,75 А·ч.

На *рисунке 3* приведена зависимость емкости аккумуляторов *AGM+GEL* от разрядного тока.

Из графика следует, что при разряде максимальным током 1 С (20 А), доступная емкость составит 50%, соответственно от всей батареи аккумуляторов можно будет получать мощность до 10 кВт в течение 30 минут. На основе графиков видно, что для увеличения срока службы аккумуляторных батарей (АБ) их необходимо разряжать маленьким током, для этого требуется соединить АБ последовательно (40 шт.) для получения напряжения 500 В. Расположение тяговой батареи – продольное центральное [5].

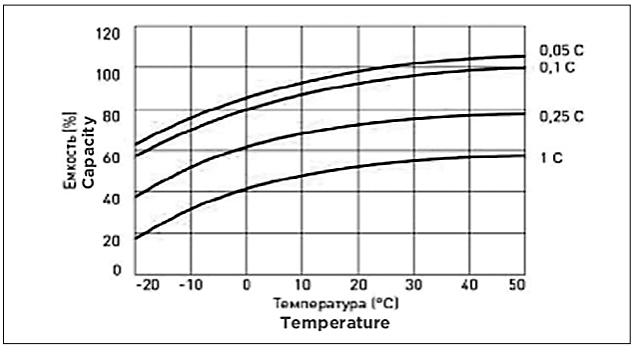


Рис. 3. Зависимость емкости аккумуляторов AGM+GEL от разрядного тока (URL: https://realsolar.ru/akb/delta/gx/delta-gx-12-17/)

Fig. 3. Dependence of AGM+GEL battery capacity on discharge current (URL: https://realsolar.ru/akb/delta/gx/delta-gx-12-17/)

Результаты и обсуждение. Для полноценной замены штатного дизельного двигателя на примере транспортного средства Т-16 мощностью 23 л. с. с крутящим моментом 90 Н·м и рабочей скоростью вращения 1500 об/мин в качестве силового тягового двигателя выбрали двигатель АИР132М4, имеющий следующие характеристики:

- мощность – 11 кВт;
- номинальная частота вращения – 1450 об/мин;
- КПД – 88%;
- $cos\varphi$ – 0,85;
- масса – 84 кг;
- момент при номинальной мощности $M_{ном}$ – 73 Н·м;
- отношение $M_{макс}/M_{ном}$ – 3,2.

Штатная коробка передач вместе с дифференциалом имеет передаточные числа в зависимости от включенной передачи: *I* – 76,8; *II* – 60,08; *III* – 49,29; *IV* – 41,62; *V* – 25,77; *VI* – 18,93; задний ход – 76,0.

Такие передаточные числа обеспечивают движение мобильного ТС со скоростью [6]:

$$V = (\pi \cdot D \cdot W \cdot 60) / N, \text{ м/ч},$$

где D – диаметр ведущего колеса (1,25 м);

W – скорость вращения двигателя (об/мин);

N – передаточное число.

При включенной первой передаче и вращении электродвигателя 250 об/мин скорость составит 750 м/ч, при скорости 1450 об/мин – 4,4 км/ч.

При включенной седьмой передаче и вращении 250 об/мин – 3,0 км/ч, при вращении 1450 об/мин – 18 км/ч.

После сборки макетного образца мобильного ТС провели испытания его основных характеристик.

На *рисунке 4* представлен макетный образец мобильного ТС на испытаниях.

Рис. 4. Макетный образец мобильного транспортного средства на испытаниях
Fig. 4. Mobile vehicle prototype in testing

Поскольку площадка для испытаний имела ограничения по размеру, испытания на максимальную скорость выполнили на основе измерения скорости по *GPS*-датчику. На включенной седьмой передаче максимальная скорость совпала с расчетной и составила 17,5 км/ч. После этого приняли решение изменить максимальную частоту силового инвертора до 65 Гц. Это позволило увеличить скорость до 22,5 км/ч.

Разработали принципиальную схему компоновки шасси электротрактора, с помощью которой появляется возможность улучшения конструкции мобильного ТС с двумя асинхронными двигателями 7,5 кВт 3000 об/мин, которые подключены к двум двухскоростным редукторам с электропереключателем, также выделили место для дополнительных АБ [7].

На *рисунке 5* приведена принципиальная схема компоновки шасси электротрактора.

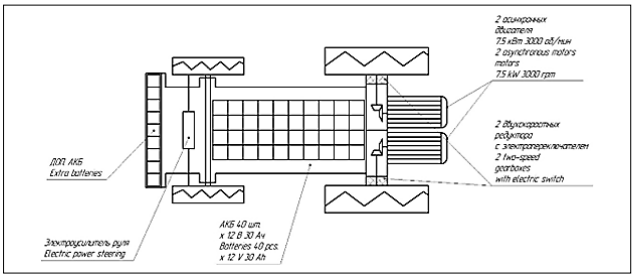


Рис. 5. Принципиальная схема компоновки шасси электротрактора
Fig. 5. Layout of the mobile vehicle

С целью возможности передвигаться и выполнять работу ТС должно иметь широкий диапазон скоростей перемещения 1-30 км/ч [8, 9]. На низкой скорости обладать большим тяговым усилием, а на высокой – перевозить груз. Для этого с учетом электрического двигателя требуется двухскоростная коробка передач, чтобы двигаться не по прямой, а иметь возможность поворачивать [10, 11]. Предлагаемая конструкция позволит отказаться от дифференциала, так как будет отдельный двигатель на каждое ведущее колесо и отдельный частотный преобразователь [12-16].

Выводы. Разработали шасси и составили основные узлы транспортного средства. Выбрали тяговый электродвигатель мобильного ТС с электроприводом. С помощью предложенного комплекса основных узлов мобильного ТС с электроприводом появляется возможность использования механической коробки передач, что позволило увеличить крутящий момент в зависимости от необходимости в любое время.

Библиографический список

1. Эйдинов А.А., Каменев В.Ф., Лежнев Л.Ю. Электромобили и автомобили с КЭУ // *Автомобильная промышленность*. 2002. N11. С. 9-11.
2. Споров А.П., Писарев Д.Ю., Парахнич А.С. Электропривод транспортного средства сельскохозяйственного назначения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N3. С. 48-54.
3. Златин П.А. и др. Электромобили и гибридные автомобили. М.: Агроконсалт. 2004. 416 с.
4. Бузун С.А., Лебедев К.Н. Адаптивный плавный пуск погружных электронасосных агрегатов // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2008. N8. С. 6-7.
5. Yang X., Jia Z., Wang D., et al. An integrated equalization charger for series-connected energy storage cells. *International Journal of Circuit Theory and Applications*. 2022. Iss. 50(7). 2548-2565.
6. Shukla A.P., Patel R.A. Battery Management System by Passive Cell Balancing for Electric vehicle. 2nd International Conference on Power Electronics and IoT Applications in Renewable. Energy and its Control (PARC). 2022. 646.
7. Юферев Л.Ю., Споров А.П., Гусаров В.А. и др. Тенденции развития сельскохозяйственной электрифицированной мобильной техники // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N1(46). С. 3-8.
8. Kim S.Y., Cho J.H., Murray E., et al. Stochastic electrotransport selectively enhances the transport of highly electromobile molecules. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015. Vol. 112. Iss. 10.
9. Гаджилы Б.Э. Исследование аккумуляторных батарей электромобилей // *Автомобиль. Дорога. Инфраструктура*. 2014. N2(2). С. 5.
10. Huang X., Lin Y., Lim M.K., et al. The influence of knowledge management on adoption intention of electric vehicles: perspective on technological knowledge. *Industrial Management & Data Systems*. 2021. Vol. 121.

Iss. 7. 1481-1495.
11. Александров И.К., Раков В.А., Щербакова А.А. Перспективы развития транспортных средств с электроприводом // *Транспорт на альтернативном топливе*. 2011. N4(22). С. 70-71.
12. Годжаев З.Д., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Ценч Ю.С., Зубина В.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (Прогноз) // *Технический сервис машин*. 2019. N4(137). С. 220-229.
13. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С.и др. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мабильного агрегата // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019. N4. С. 63-68.
14. Измайлов А.Ю., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Елизаров В.П., Лобачевский Я.П., Сорокин Н.Т., Гурылев Г.С., Савельев Г.С., Сизов О.А., Шевцов В.Г. Концепция модернизации сельскохозяйственных тракторов и тракторного парка России на период до 2020 года. М.: ВИМ. 2012. 56 с.
15. Измайлов А.Ю., Гришин А.А., Гришин А.П., Лобачевский Я.П. Экспертные системы интоеллектуальной автоматизации технических средств сельскохозяйственного назначения // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий. Сб. научных докладов Международной научно-технической конференции. 2014.С. 379-382.
16. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К., Колесникова В.А., Алексеев И.С., Лонин С.Э., Гончаров Н.Т. Средства автоматизации для управления сельскохозяйственной техникой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N3. С. 3-9.

References

1. Eydinov A.A., Kamenev V.F., Lezhnev L.Yu. Elektromobili i avtomobili s KEU [Electric vehicles and cars with MPP]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2002. N11. 9-11 (In Russian).
2. Sporov A.P., Pisarev D.Yu., Parakhnich A.S. Elektroprivod transportnogo sredstva sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Electric drive of an agricultural vehicle]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N3. 48-54 (In Russian).
3. Zlatin P.A. et al. Elektromobili i gibridnye avtomobili [Electric and hybrid vehicles]. Moscow: Agrokonsalt. 2004. 416 (In Russian).
4. Buzun S.A., Lebedev K.N. Adaptivnyy plavnyy pusk pogruzhnykh elektronasosnykh agregatov [Adaptive smooth start of submersible electric pumping units]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2008. N8. 6-7 (In Russian).
5. Yang X., Jia Z., Wang D., et al. An integrated equalization charger for series-connected energy storage cells. *International Journal of Circuit Theory and Applications*. 2022. Iss. 50(7). 2548-2565.
6. Shukla A.P., Patel R.A. Battery Management System by Passive Cell Balancing for Electric vehicle. 2nd International Conference on Power Electronics and IoT Applications in Renewable. Energy and its Control (PARC). 2022. 646.
7. Yuferev L.Yu., Sporov A.P., Gusarov V.A., et al. Tendentsii razvitiya sel'skokhozyaystvennoy elektrifitsirovannoy mobil'noy tekhniki [Trends in the development of agricultural electrified mobile equipment]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N1(46). 3-8 (In Russian).
8. Kim S.Y., Cho J.H., Murray E., et al. Stochastic electrotransport selectively enhances the transport of highly electromobile molecules. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015. Vol. 112. Iss. 10.
9. Gadzhily B.E. Issledovanie akkumulyatornykh batarey elektromobiley [Research of electric vehicle batteries]. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2014. N2(2). 5 (In Russian).
10. Huang X., Lin Y., Lim M.K., et al. The influence of knowledge management on adoption intention of electric vehicles: perspective on technological knowledge. *Industrial Management & Data Systems*. 2021. Vol. 121. Iss. 7. 1481-1495.
11. Aleksandrov I.K., Rakov V.A., Shcherbakova A.A. Perspektivy razvitiya transportnykh sredstv s elektroprivodom [Prospects for the development of electric vehicles]. *Transport na al'ternativnom toplive*. 2011. N4(22). 70-71 (In Russian).
12. Godzhaev Z.D., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu.S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda (Prognoz) [Strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia until 2030 (Forecast)]. *Tekhnicheskiy servis mashin*. 2019. N4(137). 220-229 (In Russian).
13. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy YaA.P., TsSench Yu.S., et al. O sinteze robotizirovannogo sel'skokhozyaystvennogo mabil'nogo agregata [About the synthesis of a robotic agricultural mobile unit]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2019. N4. 63-68 (In Russian).
14. Izmaylov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M. Elizarov V.P., Lobachevskiy Ya.P., Sorokin N.T., Gurylev G.S., Savel'ev G.S., Sizov O.A., Shevtsov V.G. Kontseptsiya modernizatsii sel'skokhozyaystvennykh traktorov i traktornogo parka Rossii na period do 2020 goda [The concept of modernization of agricultural tractors and tractor fleet of Russia for the period up to 2020]. Moscow: VIM. 2012. 56 (In Russian).
15. Izmaylov A.Yu., Grishin A.A., Grishin A.P., Lobachevskiy Ya.P. Ekspertnye sistemy intoellektual'noy avtomatizatsii tekhnicheskikh sredstv sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Expert systems of intelligent automation of agricultural equipment]. Innovatsionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh

tekhnologiy. Sb. nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. 2014. 379-382 (In Russian).
16. Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K., Kolesnikova V.A., Alekseev I.S., Lonin S.E., Goncharov N.T. Sredstva avtomatizatsii dlya upravleniya sel'skokhozyaystvennoy tekhnikoy [Automation tools for agricultural machinery management]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2017. N3. 3-9 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Юферев Л.Ю. – научное руководство, разработка теоретических предпосылок;

Споров А.П. – подготовка начального варианта статьи, литературный анализ, формулирование выводов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Yuferev L.Yu. – scientific guidance, development of theoretical prerequisites;

Sporov A.P. – preparation of the initial manuscript, literary analysis, writing the conclusions.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 16.05.2022
Статья принята к публикации 01.09.2022

УДК 681.527
(cc) BY
DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-95-102

Система безопасности для сельскохозяйственной техники на железнодорожных переездах

Елена Валентиновна Гусарова[1],
старший преподаватель, e-mail: gusarova_elena93@list.ru;
Валентин Александрович Гусаров[2],
доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: cosinys50@mail.ru;
Валерий Владимирович Харченко[2],
доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: kharval@mail.ru

[1]Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Российская Федерация;
[2]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Показали, что в Российской Федерации имеется более 7000 официальных нерегулируемых железнодорожных переездов. Подчеркнули высокий уровень опасности на этих объектах. Отметили, что применение автоматического регулирования движения на железнодорожных переездах снижает аварийность в 10 раз. (Цель исследования) Разработать систему электроснабжения, сигнализации и блокировки для регулирования движения сельскохозяйственной техники на временных, стихийных, сезонных и технологических железнодорожных переездах, расположенных на децентрализованных территориях. (Материалы и методы) Рассмотрели возможность использования возобновляемых источников энергии: солнца, ветра или гидроресурсов. Обосновали преимущества солнечной энергии для системы электроснабжения, сигнализации и блокировки временного железнодорожного переезда. (Результаты и обсуждение) Предложили систему электроснабжения с использованием солнечной энергии, так как ее среднесуточная выработка солнечной электростанции в 2,0-2,5 раза выше по сравнению с ветряной аналогичной мощности. Предусмотрели постоянное напряжение 24 вольта, разрешенное для использования на железнодорожной инфраструктуре. Разработали электрическую схему блока управления системой сигнализации и блокировки, алгоритм ее работы. Для получения информации о приближении к переезду поезда создали и исследовали датчик вибрации. Доказали надежность в работе системы сигнализации и блокировки на электрической линии протяженностью 2000 метров. (Выводы) В целях регулирования на переездах разработали систему электроснабжения, сигнализации и блокировки на пересечении автомобильных и малоинтенсивных железных дорог, расположенных в районах, удаленных от централизованных электрических сетей. Для световой сигнализации и блокировки протяженных электрических линий изготовили и исследовали датчик вибрации, передающий сигнал о прохождении поезда на блок управления, работающий на замыкание при виброскорости 3,5 миллиметра в секунду. Создали и протестировали вольтодобавочный источник питания для протяженных электрических линий, удаленно расположенных заградительных светофоров (на расстоянии 2 километров до переезда), функционирующих на возобновляемых источниках энергии.*

Ключевые слова: *железнодорожный переезд, сельскохозяйственная техника, безопасность на железнодорожных переездах, заградительные светофоры, автодорожные светофоры, блок управления, датчик вибрации, вольтодобавочный источник питания.*

Для цитирования: Гусарова Е.В., Гусаров В.А., Харченко В.В. Система безопасности для сельскохозяйственной техники на железнодорожных переездах // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 95-102. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-95-102. EDN BQRSSR.

Security System for Agricultural Machinery at Railway Crossings

Elena V. Gusarova[1],
senior lecturer, e-mail: gusarova_elena93@list.ru;
Valentin A. Gusarov[2],
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, e-mail: cosinys50@mail.ru;

Valery V. Kharchenko[2],
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, e-mail: kharval@mail.ru

[1]Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation;
[2]Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *It is shown that there are more than 7,000 official unregulated railway crossings in the Russian Federation. A high level hazard of such facilities is especially emphasized. It is noted that the use of automatic traffic control at railway crossings results in a 10-times decrease in the accident rate. (Research purpose) To develop a system of power supply, alarm and blocking to regulate the movement of agricultural machinery at temporary, spontaneous, seasonal and service railway crossings located in decentralized areas. (Materials and methods) It is proposed to use renewable energy sources, solar, wind or hydraulic. The advantages of solar energy are substantiated for the power supply system, signaling and blocking a temporary railway crossing. (Results and discussion) The use of a solar power supply system is proposed, since an average daily output of a solar power plant is 2.0-2.5 times higher compared to a wind power plant of similar capacity. The developed power supply system uses constant voltage of 24 Volts, permitted on the railway infrastructure. An electrical circuit of the control unit for the alarm and blocking system and the algorithm for its operation were developed. To obtain information about a train approaching the crossing, a vibration sensor was created and examined. The reliability of the alarm and blocking system is proved for a 2000-meter electric line. (Conclusions) To regulate crossings, a system of power supply, alarm and blocking was developed for the intersection of automobile and low-intensity railways located in areas remote from centralized electrical networks. For light signaling and blocking of long electric lines, a vibration sensor was made and examined. The sensor transmits a signal about a train passing to the control unit, which operates on a circuit at a vibration velocity of 3.5 millimeters per second. A booster power supply was created and tested for long electric lines, remotely located barrier traffic lights (at a distance of 2 kilometers before the crossing), operating on renewable energy sources.*

Keywords: *railway crossing, agricultural machinery, safety at railway crossings, barrier traffic lights, road traffic lights, control unit, vibration sensor, booster power supply.*

For citation: Gusarova E.V., Gusarov V.A., Kharchenko V.V. Sistema bezopasnosti dlya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na zheleznodorozhnykh pereezdakh [Security system for agricultural machinery at railway crossings]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N3(48). 95-102 (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-95-102. EDN BQRSSR.

В Российской Федерации более 7000 официальных пересекающихся в одном уровне автомобильных и железных дорог [1-4]. Наибольшая доля их расположена в сельских муниципальных округах или на предприятиях: элеваторах, машинно-транспортных станциях, агропромышленных холдингах, сельскохозяйственных промышленных предприятиях, карьерах, воинских частях и др. Автомобильное и железнодорожное движение на таких участках, как правило, малоинтенсивное и не регулируется даже световой сигнализацией. На крупных сельхозпредприятиях, если железнодорожные линии пересекают их территории, то устраивают временные, сезонные, стихийные или технологические переезды, обычно без согласования с местными властями или владельцами железной дороги. Наиболее развитая сеть автомобильных и железных дорог имеется в южных регионах страны (Ставропольском, Краснодарском краях, Ростовской, Воронежской областях), где, как следствие, высокий уровень аварийности со смертельным исходом [5, 6]. Поля там обрабатывают колесной и гусеничной сельхозтехникой, которую необходимо транспортировать через железную дорогу. Для перемещения гусеничных тракторов, комбайнов и различных прицепных технологических агрегатов, имеющих габариты, не совместимые с техникой, разрешенной к перемещению по асфальтированным автодорогам муниципального или федерального значения, используются местные грунтовые дороги, которые зачастую пересекают железнодорожные линии [7, 8]. Инициаторами устройства таких нелегальных переездов могут быть как сельхозпредприятия, так и механизаторы, управляющие этой техникой.

По статистике ГИБДД, только в 28 областях в октябре 2021 г. на официально разрешенных нерегулируемых переездах погибло 474 человека. В эту статистику не входят ДТП, произошедшие на неразрешенных пересечениях автомобильных и железных дорог. Применение автоматического регулирования движения на технологических, стихийных, временных и сезонных железнодорожных переез-

дах снижает аварийность в 10 раз.

Цель исследования – разработать систему электроснабжения, сигнализации и блокировки для регулирования движения сельскохозяйственной техники на временных и технологических железнодорожных переездах, расположенных на децентрализованных территориях.

Материалы и методы. Удаленность от централизованных электрических сетей затрудняет электроснабжение временных, стихийных и сезонных железнодорожных переездов, особенно на неэлектрифицированных линиях. Для решения этой проблемы предложили использовать возобновляемые источники энергии (ВИЭ) [9-11].

Мировой опыт показывает, что ВИЭ не могут быть основными источниками энергии в общей энергосистеме страны или группе стран, но вполне оправданно их точечное использование. Особенно это актуально для России, где на любой территории есть возможность применения ВИЭ. Актуальность работы подтверждена Федеральным законом «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 08.11.2007 № 257-ФЗ, в котором в статье 21 п. 3 указано: «Владельцы автомобильных дорог вправе требовать от владельцев инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования и владельцев железнодорожных путей необщего пользования установки на железнодорожных переездах устройств, предназначенных для обеспечения безопасности дорожного движения, а также обязаны принимать по требованию владельцев инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования и владельцев железнодорожных путей необщего пользования меры в случаях, если дорожные сооружения угрожают безопасности движения железнодорожного транспорта».

Результаты и обсуждение. Для использования системы электроснабжения железнодорожных переездов на юге России предложили систему электроснабжения с использованием солнечной энергии. Среднесуточная выработка энергии на солнечной электростанции (СЭС) в 2-2,5 раза выше, чем на ветряной равной мощности. Использование гидроэнергетики малых рек затруднено несовпадением размещения железнодорожного переезда и наличием гидроэнергетического ресурса в данной местности, высокой стоимостью малой гидроэлектростанции, а также административными проблемами при оформлении разрешения на строительство.

Разработанная система электроснабжения использует СЭС с постоянным напряжением 24 В [12]. Ее можно применять в виде световой сигнализации на временных или стихийных железнодорожных переездах с линиями малой интенсивности, до 10 переездов в обоих направлениях. Автомобильные светофоры с двумя красными мигающими головками включаются при приближении поезда. Каждому направлению соответствуют еще железнодорожные заградительные светофоры: первый по направлению, желтый, светофор располагается за 2,0-2,5 км до переезда, второй, зелёный – на расстоянии 0,7-0,8 км за переездом. Желтый светофор сигнализирует машинисту о снижении скорости и готовности к экстренной остановке, а зеленый снимает скоростные ограничения.

Для реализации поставленной задачи разработали аналоговую систему сигнализации и блокировки с проводной системой датчиков [13]. Использование радиоуправляемых систем, таких как *XBee*, *FSO* или *NOMA* для *ZIGBEE*, не принято из-за восприятия внешних критических воздействий на приемники сигналов при влиянии на них погодных условий, а также из-за необходимости обслуживания систем квалифицированными специалистами, что не всегда возможно [14-16].

Предлагаемая система сигнализации может быть временной и устанавливаться для регулировки движения сельскохозяйственной техники в период технологической обработки полей или уборки урожая. Она включает: СЭС с аккумуляторной батарей (АБ), датчики передачи информации, светофоры с линией связи, состоящей из воздушной витой пары или подземного бронированного кабеля. Информация о приближении поезда поступает от датчика вибрации, расположенного за 2000-2500 м до переезда. Он чувствительно реагирует на вибрацию в рельсовых стыках, исходящую от поезда. Второй датчик вибрации, расположенный за переездом, информирует, что поезд прошел (*рис. 1*).

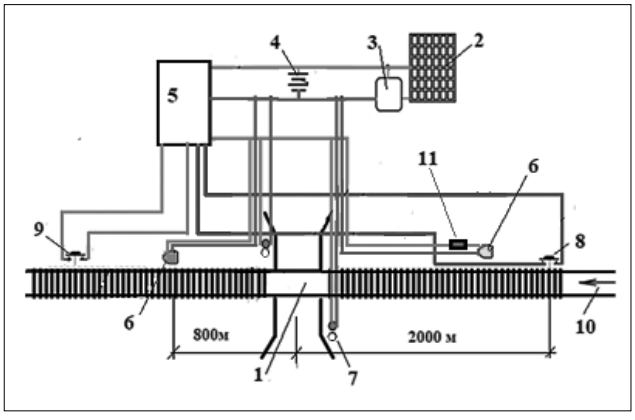


Рис. 1. Схема железнодорожного переезда однонаправленной линии с электроснабжением от солнечной электростанции системы сигнализации и блокировки: 1 – переезд; 2 – солнечная батарея; 3 – аккумуляторный контроллер; 4 – аккумуляторная батарея; 5 – блок управления; 6 – заградительные светофоры; 7 – светофоры для сельхозтехники; 8 – датчик передачи информации до переезда; 9 – датчик передачи информа-

ции после переезда; 10 – направление движения поезда, 11 – дополнительный источник питания

Fig.1. Scheme of a crossing of a unidirectional railway line supplied by a solar power plant of an alarm and blocking system: 1 – railway crossing; 2 – solar battery; 3 – battery controller; 4 – storage battery; 5 – control unit; 6 – barrier traffic lights; 7 – traffic lights for agricultural machinery; 8 – sensor of transferring the pre-crossing information; 9 – sensor of transferring the crossing information; 10 – direction of the train movement, 11 – additional power supply

Преимущество такой схемы в том, что она расходует электроэнергию только тогда, когда поезд находится между датчиками вибрации. При средней скорости поезда 60 км/ч время работы составляет 3 мин. Основные потребители электроэнергии – автомобильные и заградительные светофоры. Разработали электрическую схему блока управления заградительной сигнализации и блокировки переезда с однонаправленной линией малой интенсивности (*рис. 2*). Для двунаправленной линии требуется установка двух систем сигнализации и блокировки, по одной на каждое направление.

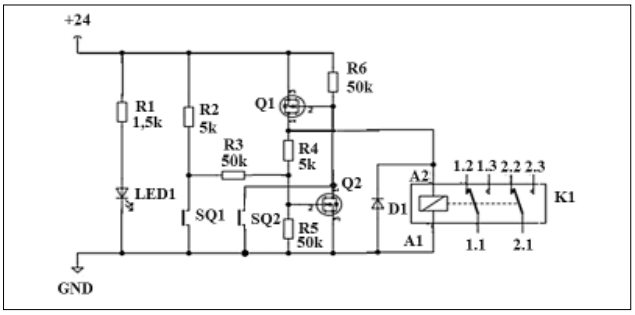


Рис. 2. Электрическая схема блока управления: R1-R6 – резисторы 1,5; 5; 50; 5; 50 и 50 кОм соответственно; LED1 – светодиод «Электрон 34»; Q1 – транзистор IRFR3505PBF; Q2 – транзистор IRFI4024H-117P; SQ1 – вибродатчик № 1; SQ2 – вибродатчик № 2; D – диод 1N4003; A1 – контакт «+»; A2 – контакт «–»; K1 – реле HF46F/024-HS1T; GND – «земля»; 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.3 – контакты реле

Fig. 2. Control unit electric circuit: R1-R6 – resistors of 1.5; 5; 50; 5; 50 and 50 kOhm, respectively; LED1 – «Electron 34» light-emitting diode; Q1 – IRFR3505PBF transistor; Q2 – IRFI4024H-117P transistor; SQ1 – vibration sensor No.1; SQ2 – vibration sensor No.2; D – 1N4003 diode; A1 – contact «+»; A2 – contact «–»; K1 – HF46F/024-HS1T relay; GND – «ground»; 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.3 – relay contacts

Аналоговая электрическая схема блока управления световой сигнализации и блокировки выполнена в виде триггера, на основе двух транзисторов разной проводимости (*рис. 3*). К этой схеме, кроме светофоров, для управления можно подключать шлагбаумы и заградительные щиты.

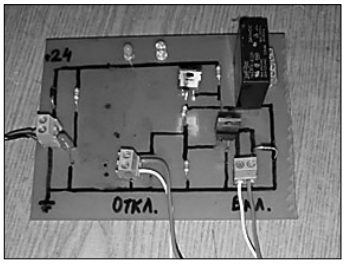


Рис. 3. Плата блока управления сигнализации и блокировки

Fig. 3. Alarm and blocking control board

Система сигнализации и блокировки функционирует по следующему алгоритму. В отсутствие поезда на переезде красный автомобильный светофор выключен, проезд автотранспорта, в соответствии с ПДД, разрешается. При проезде поезда мимо первого вибродатчика, расположенного на расстоянии 2,0-2,5 км до переезда, последний подает сигнал на блок управления, который включает автотранспорту красный свет, а машинисту поезда на первом заградительном светофоре, расположенном до переезда на расстоянии 1,8-2,0 км, загорается желтый. Машинист поезда обязан снизить скорость и быть готовым к экстренной остановке. Одновременно с желтым заградительным светофором на железнодорожной линии, за переездом, на расстоянии 0,8 км, включается второй заградительный светофор с зеленым светом. По прохождению поездом железнодорожного переезда и второго заградительного светофора с зеленым светом скоростные ограничения снимаются. Далее, второй вибродатчик, расположенный на расстоянии 1,0 км за переездом, подает сигнал на блок управления о прохождении поезда, и все светофоры – автомобильные и заградительные – выключаются, автомобильное движение через переезд разрешается.

Для надежной работы системы сигнализации и блокировки необходимо применять датчик вибрации с технической характеристикой, способной воспринять вибрацию от проходящего поезда. Виброскорость срабатывания должна быть менее 20 мм/с. Датчик вибрации закрепляется на рельсах, шпалах или в непосредственной близости от железнодорожного полотна, в специальном вибропередающем боксе.

Для использования существующей регулирующей аппаратуры проведен анализ имеющихся на российском рынке датчиков вибрации различных конструкций, в результате чего отклонены все датчики по различным причинам: несоответствие рабочему напряжению, пределам срабатывания, работе при низких температурах, а также высокой стоимости.

Техническими критериями характеристики датчика признаны его надежная работа на замыкание

при виброскорости от 3,5 мм/с, ремонтопригодность и низкая стоимость. Поэтому был разработан электромеханический датчик вибрации, основанный на замыкании свободного конца пружины на корпус датчика (*рис. 4*).

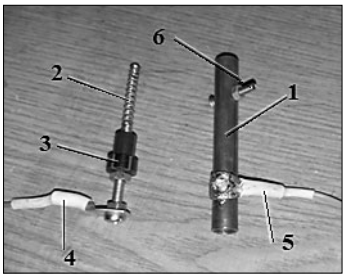


Рис. 4. Конструкция датчика вибрации: 1 – корпус вибродатчика; 2 – контактная пружина; 3 – изолятор; 4 – контакт «+»; 5 – контакт «-»; 6 – крепежный винт
Fig. 4. Vibration sensor design: 1 – vibration sensor body; 2 – contact spring; 3 – insulator; 4 – contact «+»; 5 – contact «–»; 6 – fixing screw

Для определения надежности работы вибродатчика провели экспериментальные исследования с подключением его к электрической линии протяженностью 2000 м, состоящей из двух катушек кабеля РК 75-12 по 1000 м, которые показали его гарантированную работу.

Корпус электромеханического датчика вибрации изготовлен из медной трубы диаметром 10 мм, на одном конце установлен изолятор, в центре которого проходит стержень с резьбой М4, на которую накручена пружина. На внешний конец стержня с резьбой крепится электрический кабель к блоку управления. Вторым контактом кабеля служит корпус датчика. При вибрации более 3,5 мм/с свободный конец пружины замыкается на корпусе датчика. Уровень срабатывания датчика регулируется накручиванием пружины на стержень с резьбой, то есть при уменьшении свободной длины пружины увеличивается ее жесткость.

При замыкании пружины на корпус датчика вибрации блок управления включает реле, подключающее автодорожные и железнодорожные светофоры к аккумуляторам.

Основная трудность разработанной системы электроснабжения заключается в обеспечении энергией удаленно расположенных заградительных железнодорожных светофоров.

Первый заградительный светофор устанавливают на расстоянии более 2000 м до переезда, за первым датчиком движения. После прохождения датчика система сигнализации и блокировки включает желтый железнодорожный светофор. Протяженность электрической линии напряжением 24 В заградительного светофора способствует увеличению омических потерь в линии постоянного тока.

Расчетное падение напряжения в линии равно:

$$U_{\text{каб.}}^{\text{ПН}} = U_{\text{ц.ж.}}^{\text{ПН}} + U_{\text{опл}}^{\text{ПН}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{каб.}}^{\text{ПН}}$ – общее падение напряжения в кабеле, В;
$U_{\text{ц.ж.}}^{\text{ПН}}$ – падение напряжения в центральной жиле, В;
$U_{\text{опл}}^{\text{ПН}}$ – падение напряжения в оплетке, В.

Рассчитаем сопротивление центральной жилы кабеля:

$$R_{\text{ц.ж.}} = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (2)$$

где $R_{\text{ц.ж.}}$ – сопротивление центральной жилы кабеля, Ом;
ρ – удельное сопротивление медного кабеля 0,0175 Ом·мм^2/м;
l – длина электрической линии 2000 м;
S – площадь сечения центральной жилы кабеля 0,87 мм^2.

Получим:

$$R_{\text{ц.ж.}} = 0{,}0175 \cdot 2500 / 0{,}87 = 50{,}3 \text{ Ом}. \quad (3)$$

Поскольку

$$U_{\text{ц.ж.}}^{\text{ПН}} = \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot I, \quad (4)$$

где I – ток лампы заградительного светофора 0,172 А, то падение напряжения в центральной жиле кабеля:

$$U_{\text{ц.ж.}}^{\text{ПН}} = 50{,}3 \cdot 0{,}172 = 8{,}6 \text{ В}. \quad (5)$$

Сопротивление в оплетке кабеля составляет:

$$R_{\text{опл}} = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (6)$$

где $R_{\text{опл}}$ – сопротивление оплетки кабеля, Ом;
S – площадь оплетки кабеля 2,84 мм$_2$.

Подставим значения:

$$R_{\text{опл}} = 0{,}0175 \cdot 2500 / 3{,}44 = 12{,}7 \text{ Ом}. \quad (7)$$

Падение напряжение в оплетке кабеля составляет:

$$U_{\text{опл}}^{\text{ПН}} = \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot I, \quad (8)$$

или

$$U_{\text{опл}}^{\text{ПН}} = 12{,}7 \cdot 0{,}172 = 2{,}18 \text{ В}. \quad (9)$$

Падение напряжения в кабеле равно:

$$U_{\text{каб.}}^{\text{ПН}} = 8{,}6 + 2{,}18 = 10{,}8 \text{ В}. \quad (10)$$

Вычислим суточную вольтодобавочную энергию:

$$W_{\text{сут}} = 10{,}8 \cdot 0{,}172 \cdot 0{,}5 = 0{,}93 \text{ Вт·ч}.$$

Рассмотрим фрагмент блок-схемы с первым датчиком вибрации, вольтодобавочным источником питания (ВДИП) и заградительным желтым светофором (*рис. 5*).

На железнодорожной линии у переезда размещают блок управления с источником питания для системы сигнализации и блокировки. Вдоль железнодорожного полотна протягивают две кабельные линии, одна на расстоянии 1,8-2,0 км для заградитель-

ного светофора, вторая – для датчика вибрации. Так как на линии заградительного светофора из-за большой протяженности происходят омические потери, влекущие за собой падение напряжения на линзе светофора на 10,8 В, необходимо их компенсировать вольтодобавочным источником питания. ВДИП служит для восстановления напряжения в электрической линии железнодорожных светофоров, у которых падение напряжения критически воздействует на их работоспособность.

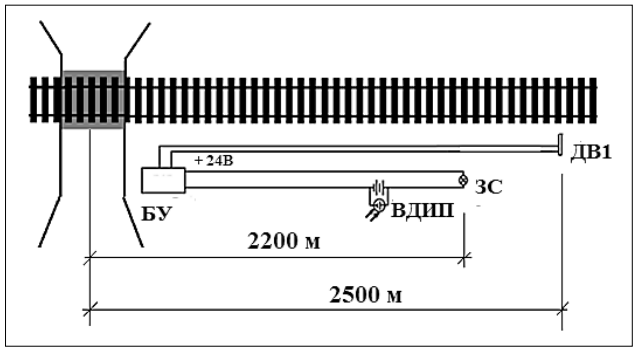


Рис. 5. Блок-схема расположения на железнодорожной линии датчика вибрации и заградительного светофора: БУ – блок управления; ЗС – заградительный светофор; ВДИП – вольтодобавочный источник питания; ДВ1 – датчик вибрации № 1
Fig. 5. Block diagram of locating the vibration sensor and the stop traffic light on the railway line: БУ – control unit; ЗС – barrier traffic light; ВДИП – booster power supply; ДВ1 – vibration sensor No.1

Напряжение восстановления электрической схемы ВДИП рассчитывается в соответствии с уровнем падения (*рис. 6*).

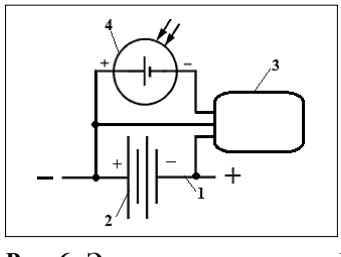


Рис. 6. Электрическая схема ВДИП: 1 – электрическая линия; 2 – аккумуляторная батарея; 3 – аккумуляторный контроллер; 4 – солнечная батарея
Fig. 6. Electric circuit of a booster power supply: 1 – electric line; 2 – storage battery; 3 – battery controller; 4 – solar battery

ВДИП устанавливают в разрез электрической линии заградительного светофора.

Для определения работоспособности вольтодобавочного источника питания изготовлен экспериментальный стенд (*рис. 7*).

Он включает:

- солнечную батарею;
- аккумуляторный контроллер;
- аккумулятор напряжением 12 В емкостью 34 А·ч;
- имитатор заградительного светофора с лампой напряжением 12 В, мощностью 5 Вт;
- осциллограф;
- реле времени;
- компьютер регистрации изменения уровня заряда аккумулятора.

Рис. 7. Экспериментальный стенд вольтодобавочного источника питания
Fig. 7. Experimental test bench of booster power supply

Для проведения исследования солнечную батарею мощностью 20 Вт намеренно установили вертикально на северную сторону, что соответствует ее работе в зимний период при рассеянном солнечном излучении.

Экспериментальные исследования показали, что энергия, вырабатываемая солнечной батареей при рассеянном солнечном излучении, составляет 43 Вт·ч в сутки, что значительно выше суточной вольтодобавочной энергии, равной 0,92 Вт·ч.

Как показывает график изменения напряжения аккумулятора емкостью 34 А·ч в течение суток, падение напряжения на аккумуляторной батарее от подключаемой нагрузки за этот период составляет 0,4 В (*рис. 8*).

Рис. 8. Изменение напряжения на аккумуляторе в течение суток
Fig. 8. Battery voltage change during the day

Выводы

Для регулирования на переездах разработали систему электроснабжения, сигнализации и блокировки для пересечения автомобильных и малоинтенсивных железных дорог, расположенных в районах, удаленных от централизованных электрических сетей.

Для световой сигнализации и блокировки протяженных электрических линий изготовили и исследовали датчик вибрации, передающий сигнал о прохождении поезда на блок управления, работающий на замыкание при виброскорости 3,5 мм/с.

Создали и протестировали вольтодобавочный источник питания для протяженных электрических линий, расположенных на расстоянии 2 км до переезда заградительных светофоров, функционирующих на возобновляемых источниках энергии.

Библиографический список

1. Габдрахманов Р.Р. Анализ автомобильных дорог регионального и федерального значения и туристской инфраструктуры для всесезонного автомобильного маршрута «Тюмень – Большой Сочи» // *Концепт*. 2016. N11. С. 2726-2730.
2. Кутень И.А., Швецов П.Г. Железнодорожный переезд – преграда для транспортного потока // *Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта*. 2022. N1(4). С. 84-95.
3. Рубцова М.В. Прокурорский надзор за исполнением законов в сфере обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах // *Современная наука*. 2021. N3. С. 16-20.
4. Невежин В.С., Кутень И.А. Система контроля технического состояния железнодорожных переездов // *Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта*. 2020. N1(1). С. 21-26.
5. Багдасарьян А.С., Плешакова Е.Н., Стеценко С.М. Анализ дорожно-транспортного травматизма в Краснодарском крае // *Медицина катастроф*. 2007. N2(58). С. 43-45.
6. Петин Ю.П., Доронкин В.Г. К вопросу классификации и размещения объектов дорожного сервиса // *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. 2015. N2-1(32-1). С. 42-46.
7. Никитин В.В., Скрыпников А.В., Денисенко В.В., Яковлев К.Л., Микова Е.Ю., Бургонутдинов А.М., Бурмистров Д.В. Принципиальные схемы размещения дорожной сети в условиях их целесообразного применения // *Строительные и дорожные машины*. 2021. N11. С. 55-59.
8. Никитин В.В., Скрыпников А.В., Денисенко В.В., Бургонутдинов А.М., Брюховецкий А.Н., Тихомиров П.В., Щербаков Е.Д. Учет влияния наличия существующих путей сообщения при проектировании транспортной сети лесозаготовок // *Строительные и дорожные машины*. 2021. N11. С. 60-63.
9. Гусарова Е.В., Харченко В.В. Особенности электроснабжения удаленных железнодорожных переездов // *Вестник транспорта Поволжья*. 2021. N5(89). С. 7-12.
10. Гусарова Е.В., Харченко В.В., Гусаров В.А. Система автономного освещения железнодорожных объектов // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2021. Т. 68. N4(45). С. 36-44.
11. Гусарова Е.В. Автономное электроснабжение железнодорожных переездов // *Вестник ВИЭСХ*. 2017. N2(27). С. 112-118.
12. Singh Y., Singh B., Mishra S. Photovoltaic-battery powered grid connected system using multi-structural adaptive circular noise estimation control. *IET power electronics*. Vol. 14. N2. 397-411.
13. Кнышев И.П., Гусарова Е.В., Тулемисов Т.Т. Система технического зрения на железнодорожном транспорте // *Автоматика, связь, информатика*. 2019. N10. С. 15-17.
14. Gueye I., Dioum I., Diop I. Performance of Hybrid RF/FSO Cooperative Systems Based on Quasicyclic LDPC Codes and Space-Coupled LDPC Codes. *Wireless communications & mobile computing*. 2020. 8814588.
15. Al-Saman A., Mohamed M., Cheffena M. Radio Propagation Measurements in the Indoor Stairwell Environment at 3.5 and 28 GHz for 5G Wireless Networks. *International journal of antennas and propagation*. 2020. 6634050.
16. Li J., Wu H. Localisation algorithm for security access control in railway communications. *IET intelligent transport systems*. 2020. N14. Vol. 14. 2151-2159.

References

1. Gabdrakhmanov R.R. Analiz avtomobil'nykh dorog regional'nogo i federal'nogo znacheniya i turistskoy infrastruktury dlya vsesezonnogo avtomobil'nogo marshruta «Tyumen' – Bol'shoy Sochi» [Analysis of regional and federal highways and tourist infrastructure for the all-season automobile route "Tyumen – Greater Sochi"]. *Kontsept*. 2016. N11. 2726-2730 (In Russian).
2. Kuten I.A., Shvetsov P.G. Zheleznodorozhnyy pereezd – pregrada dlya transportnogo potoka [Railway crossing is a barrier to traffic flow]. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy transporta*. 2022. N1(4). 84-95 (In Russian).
3. Rubtsova M.V. Prokurorskiy nadzor za ispolneniem zakonov v sfere obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na zheleznodorozhnykh pereezdakh [Prosecutor's supervision over the implementation of laws in the field of traffic safety at railway crossings]. *Sovremennaya nauka*. 2021. N3. 16-20 (In Russian).
4. Nevezhin V.S., Kuten I.A. Sistema kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya zheleznodorozhnykh pereezdov [Control system of technical condition of railway cross-

ing]. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy transporta*. 2020. N1(1). 21-26 (In Russian).
5. Bagdasaryan A.S., Pleshakova E.N., Stetsenko S.M. Analiz dorozhno-transportnogo travmatizma v Krasnodarskom krae [Analysis of the road accident traumatism in krasnodar region]. *Meditsina katastrof*. 2007. N2(58). 43-45 (In Russian).
6. Petin Yu.P., Doronkin V.G. K voprosu klassifikatsii i razmeshcheniya obektov dorozhnogo servisa [On the issue of classification and allocation of the roadside service objects]. *Vektor nauki Tol'yattinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015. N2-1(32-1). 42-46 (In Russian).
7. Nikitin V.V., Skrypnikov A.V., Denisenko V.V., Yakovlev K.L., Mikova E.Yu., Burgonutdinov A.M., Burmistrov D.V. Printsipial'nye skhemy razmeshcheniya dorozhnoy seti v usloviyakh ikh tselesoobraznogo primeneniya [Schematic diagrams of the location of the road network in the conditions of their expedient use]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2021. N11. 55-59 (In Russian).
8. Nikitin V.V., Skrypnikov A.V., Denisenko V.V., Burgonutdinov A.M., Bryukhovetskiy A.N., Tikhomirov P.V., Shcherbakov E.D. Uchet vliyaniya nalichiya sushchestvuyushchikh putey soobshcheniya pri proektirovanii transportnoy seti lesozagotovok [Consideration of the impact of the presence of existing communication routes in the design logging transport network]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2021. N11. 60-63 (In Russian).
9. Gusarova E.V., Kharchenko V.V. Osobennosti elektrosnabzheniya udalennykh zheleznodorozhnykh pereezdov [Peculiar properties of power supply of remote railway crossings]. *Vestnik transporta Povolzh'ya*. 2021. N5(89). 7-12 (In Russian).
10. Gusarova E.V., Kharchenko V.V., Gusarov V.A. Sistema avtonomnogo osveshcheniya zheleznodorozhnykh obektov [System of the autonomous lighting of railway objects]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2021. Vol. 68. N4(45). 36-44 (In Russian).
11. Gusarova E.V. Avtonomnoe elektrosnabzhenie zheleznodorozhnykh pereezdov [Autonomous power supply of railway crossings]. *Vestnik VIESH*. 2017. N2(27). 112-118 (In Russian).
12. Singh Y., Singh B., Mishra S. Photovoltaic-battery powered grid connected system using multi-structural adaptive circular noise estimation control. *IET power electronics*. Vol. 14. N2. 397-411 (In English).
13. Knyshev I.P., Gusarova E.V., Tulemisov T.T. Sistema tekhnicheskogo zreniya na zheleznodorozhnom transporte [Technical vision system on railway transport]. *Avtomatika, svyaz', informatika*. 2019. N10. 15-17 (In Russian).
14. Gueye I., Dioum I., Diop I. Performance of Hybrid RF/FSO Cooperative Systems Based on Quasicyclic LDPC Codes and Space-Coupled LDPC Codes. *Wireless communications & mobile computing*. 2020. 8814588 (In English).
15. Al-Saman A., Mohamed M., Cheffena M. Radio Propagation Measurements in the Indoor Stairwell Environment at 3.5 and 28 GHz for 5G Wireless Networks. *International journal of antennas and propagation*. 2020. 6634050 (In English).
16. Li J., Wu H. Localisation algorithm for security access control in railway communications. *IET intelligent transport systems*. 2020. N14. Vol. 14. 2151-2159 (In English).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Гусарова Е.В. – проведение мониторинга надежности блока управления, вибродатчиков, экспериментальные исследования, визуализация, разработка оборудования;

Гусаров В.А. – проведение исследований, разработка оборудования;

Харченко В.В.. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, разработка теоретических предпосылок, доработка текста, формирование общих выводов и литературный анализ.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Gusarova E.V. – monitoring of the control unit reliability and vibration sensors, experimental studies, visualization, equipment development;

Gusarov V.A. – conducting research, equipment development;

Kharchenko V.V. – scientific guidance, developing the research main concepts, development of the theoretical premises, revision of the manuscript, general conclusions and literature review.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 21.04.2022
Статья принята к публикации 19.08.2022

Подписной индекс 66059
в Каталоге Агентства «Урал-Пресс».
Подписку на издание можно оформить на сайте:
www.ural-press.ru