

ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА ИМЕНИ К. А. ТИМИРЯЗЕВА
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ
ИМЕНИ В. П. ГОРЯЧКИНА
КАФЕДРА «АВТОМАТИЗАЦИЯ И РОБОТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. Ф. БОРОДИНА»

Научно-практическая конференция,
посвященная памяти академика РАСХН,
д.т.н, профессора И. Ф. Бородина
(90 лет со дня рождения)

**ПЕРЕДОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ПРИМЕНЕНИИ
АВТОМАТИЗАЦИИ, РОБОТИЗАЦИИ
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ В АПК**

Сборник статей

Москва
ООО «Мегаполис»
2019

УДК 378.663:631.171:621.865.8

ББК 74.58

П-27

Под редакцией: академика РАН, д.т.н., профессора **М. Н. Ерохина**, д.т.н., чл.-корр. РАН **О. Н. Дидманидзе**, д.т.н., профессора **Загинайлова В. И.**, к.т.н., доцента **С. А. Андреева**

Передовые достижения в применении автоматизации, роботизации П-27 и электротехнологий в АПК, посвященная памяти академика РАСХН, д.т.н, профессора И. Ф. Бородина (90 лет со дня рождения): сборник статей / Конференция (Москва, 1–2 октября 2019 года); под ред. М. Н. Ерохина и др. – М. : ООО «Мегаполис», 2019. – 320 с.

ISBN 978-5-6042398-8-9

В сборнике представлены результаты актуальных научных исследований ученых, докторантов, преподавателей и аспирантов по итогам обсуждения на научно-практической конференции «Передовые достижения в применении автоматизации, роботизации и электротехнологий в АПК», посвященная памяти академика РАСХН, д.т.н, профессора И. Ф. Бородина (90 лет со дня рождения), которая состоялась 1–2 октября 2019 года.

Сборник предназначен для научных сотрудников и преподавателей высших учебных заведений. Может использоваться в учебном процессе, в том числе в процессе обучения аспирантов, подготовке магистров и бакалавров в целях углубленного рассмотрения соответствующих проблем.

Все статьи сборника прошли рецензирование, сохраняют авторскую редакцию, всю ответственность за содержание несут авторы.

УДК 378.663:631.171:621.865.8

ББК 74.58

ISBN 978-5-6042398-8-9

© ООО «Мегаполис», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Ерохин М. Н., Загинайлов В. И., Андреев С. А. К 90-летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ Ивана Федоровича Бородина.....	6
Ерохин М. Н., Дидманидзе О. Н., Хакимов Р. Т., Парлюк Е. П. Модель процесса тепловыделения в цилиндре газового двигателя внутреннего сгорания.....	20
Баев В. И., Баев И. В. Обоснование рода тока электропропольщика.....	31
Орлова О. И., Жданкин Г. В., Белова М. В. Обоснование параметров СВЧ установки с биконической рабочей камерой для термообработки куриных яиц.....	37
Шамин Е. А., Белова М. В., Новикова Г. В. Исследование и разработка СВЧ установок для отделения пуха от шкурок кроликов.....	47
Щеголихина Т. А., Неменушая Л. А., Коноваленко Л. Ю. Интеллектуальные системы для современных опрыскивателей.....	56
Мусенко А. А., Белов А. А., Васильев А. Н. Электрогидравлическая обработка воды для полива растений закрытого грунта.....	62
Килин С. В. Способы защиты от атмосферных перенапряжений.....	69
Вендин С. В., Мамонтов А. Ю. К расчету мощности дополнительных (сторонних) источников теплоты для цилиндрического реактора.....	75
Вендин С. В. К вопросу выбора эффективной частоты для СВЧ обработки технологической среды.....	82
Коротких Ю. С. Применение геоинформационных систем в сельском хозяйстве на территории Липецкой области.....	90
Баев В. И., Панченко С. В., Калинин С. П. Необходимость и возможность перевода поселковых сетей на повышенный класс напряжения.....	98
Новикова Г. В., Осокин В. Л., Тихонов А. А. Рабочие камеры СВЧ установок для термообработки сырья в непрерывном режиме с соблюдением электромагнитной безопасности.....	111
Богданов С. И., Маркин М. А., Жильцова Н. С. Применение датчиков в конвективных зерносушильных агрегатах шахтного типа.....	120

Кондратьева Н. П., Большин Р. Г., Овчукова С. А. Инновационные энерго-ресурсосберегающие световые электротехнологии для выращивания меристемных растений.....	127
Поручиков Д. В., Ершова И. Г. Исследование электрофизического воздействия на субпродукты кур в экспериментальной установке.....	139
Яковлев А. О. О некоторых особенностях применения цифровых подстанций.....	149
Рудобашта С. П., Зуева Г. А., Зуев Н. А. Сушка-стимуляция семян методом осциллирующего инфракрасного облучения.....	156
Баев В. И., Петрухин В. А. Технология выполнения прививок древесных растений с их электрическим стимулированием.....	165
Тараканов Д. А., Михайлова О. В., Новикова Г. В. СВЧ установка с биконическим резонатором для размораживания коровьего молозива в непрерывном режиме.....	171
Баев В. И., Прокофьев П. В. Электробезопасность установок для электрической обработки материалов и растений.....	179
Юндин М. А., Рудь Е. В., Головаха Д. Н. Результаты статистической оценки показателей несимметрии и несинусоидальности напряжений в сетях 0,38 кВ.....	190
Соловьев С. В. Диагностический мониторинг воздушных линий электропередач.....	196
Теплова Я. О. Обеспечение эффективности контроля характеристик асинхронных двигателей на основе автоматизации испытаний для целей разработки энергоэффективных электрических машин.....	202
Коноваленко Л. Ю., Неменушая Л. А., Щеголихина Т. А. Роботизация процессов в пищевой и перерабатывающей промышленности.....	214
Баев В. И., Феклистов А. С. К разработке оперативного метода контроля состояния посевов озимой пшеницы.....	219
Тихонов А. А., Казаков А. В., Михайлов О. В. Разработка СВЧ-установки для термообработки и обеззараживания жиросодержащего сырья с учетом его электрических параметров.....	226
Богданов С. И., Жильцова Н. С., Рябцев В. Г. Автоматизированная система управления активным вентилярованием зерна с применением программируемого логического контроллера.....	235

Неменушая Л. А., Коноваленко Л. Ю., Щеголихина Т. А.	
Радиационные технологии для ресурсосбережения в АПК.....	243
Мещеряков В. П.	
Параметры доения коров-первотелок на установке «Елочка» при повышении разового удоя.....	253
Забудский Е. И.	
Трехфазный насыщающийся реактор для управления режимами энергосистемы.....	259
Азнагулов А. И., Лукьянов В. В., Сираев Ш. Ф.	
Беспилотный электроагрегат для опрыскивания сельскохозяйственных культур.....	266
Овсянникова Е. А., Мамедов Т. А., Загинайлов В. И.	
Определение электропотребления приемников и потребителей электрической энергии.....	274
Андреев С. А., Матвеев А. И.	
Энерго-ресурсосберегающие технологии в управлении орошением.....	285
Новиков А. А., Ершова И. Г., Васильев А. Н.	
Изменение теплофизических свойств растворов при электрофизическом воздействии в экспериментальной установке.....	298
Краус В. Р.	
Проект ЭКО-1ВК электророботизации АПК для выпуска продовольствия органик.....	309

УДК 631.371 (092)

М. Н. ЕРОХИН, доктор техн. наук, академик РАН, профессор

В. И. ЗАГИНАЙЛОВ, доктор техн. наук, профессор

С. А. АНДРЕЕВ, канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», Российская Федерация, г. Москва

M. N. EROHIN, *Academician of RAS, Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

V. I. ZAGINAILOV, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

S. A. ANDREEV, *Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

"Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy

named after K. A. Timiryazev», Russian Federation, Moscow

К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА ВАСХНИЛ ИВАНА ФЕДОРОВИЧА БОРОДИНА

ON THE 90TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF ACADEMICIAN VASHNIL IVAN FEDOROVICH BORODIN

Аннотация. В статье анализируется творческий путь и основные этапы плодотворной деятельности академика ВАСХНИЛ Ивана Федоровича Бородина доктора технических наук, профессора, становление и развитие научно-педагогических школ Бородина И. Ф. по автоматизации и электротехнологиям сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: И. Ф. Бородин, электротехнология, автоматизация сельскохозяйственного производства, оптические и электрические свойства сельскохозяйственных материалов, сверхвысокочастотное электромагнитное поле, педагогическая и административная деятельность.

Abstract. *The article analyzes the creative path and the main stages of the fruitful activity of the academician of VASKHNIL Ivan Fedorovich Borodin, Doctor of Technical Sciences, professor, the formation and development of scientific and pedagogical schools I. Borodin on automation and electrical technologies of agricultural production.*

Keywords: *I. F. Borodin, electrical technology, automation of agricultural production, optical and electrical properties of agricultural materials, microwave frequency electromagnetic field, teaching and administrative activities.*



Рисунок 1 – Иван Федорович Бородин, академик ВАСХНИЛ, профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, почетный работник высшего профессионального образования РФ, лауреат Государственной и двух премий Правительства РФ

Иван Федорович Бородин родился 27 сентября 1929 года в деревне Паньково Орловской области в крестьянской семье (рисунок 1). Он пережил трудные годы детства, находясь с 1941 по 1943 гг. на оккупированной территории страны немецкими войсками.

В детстве и юношестве, в тяжелые военные и послевоенные годы и Иван Федорович освоил множество рабочих профессий. В

разное время ему приходилось заниматься тяжелым крестьянским трудом и выполнять обязанности пахаря и сеяльщика, конюха и дояра, работать плотником стекольщиком, пчеловодом и ловцом певчих птиц, производителем табака и растительного масла, садоводом и даже продавцом на колхозном рынке, выращенных на подворье овощей и фруктов.

Все эти годы он не только работал, но и отлично учился. В 1949 году окончил Лавровскую среднюю школу и поступил на первый курс факультета электрификации Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства имени В. П. Горячкина (МИМЭСХ – МИИСП – МГАУ, ныне РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева).

В стенах института началось становление общественной, научной, а затем и педагогической личности Ивана Федоровича Бородина. Он приобретал прочные знания в учебе и накапливал опыт работы в научной сфере и общественных организациях. Первой самостоятельной научной работой талантливого студента можно считать экспериментальные исследования переходных процессов в электрических аппаратах сельскохозяйственного назначения, которые были положены в основу специального вопроса дипломного проекта.

Иван Федорович окончил с отличием МИМЭСХ в 1954 году и по рекомендации Совета факультета продолжил обучение в аспирантуре под руководством своего руководителя дипломного проекта академика Игоря Александровича Будзко. Стиль и методы работы И. А. Будзко оказали большое влияние на И. Ф. Бородина и становление его как ученого и человека. Игорь Александрович научил Ивана Федоровича целенаправленно и плодотворно работать, подоброму и уважительно относиться к коллегам и людям (рисунок 2).



Рисунок 2 – И. Ф. Бородин со своим учителем – академиком И. А. Будзко на выставке разработок института

После окончания аспирантуры в 1957 году И. Ф. Бородин, с однокурсником и другом М. М. Фомичевым направляются на работу во ВНИИ «Электропривод» – головную организацию электротехнической промышленности, во вновь созданный сектор «Автоматизированный электропривод в сельском хозяйстве», где при активном участии молодых ученых были созданы новые автоматизированные электроприводы, блоки и щиты управления для стационарных электроустановок, принятые к разработке ведущими заводами «Воронежсельмаш», «Брянксельмаш», другими предприятиями сельскохозяйственного машиностроения. Многие разработки творческого коллектива, в котором трудился И. Ф. Бородин, в короткие сроки проходили всесторонние испытания и успешно внедрялись в производство. Среди сконструированных устройств в ВНИИ «Электропривод» широкую известность получили агрегат для стрижки овец с электроприводом 16-ти стригальных машинок, питаемых переменным напряжением 36 В частотой 200 Гц и автоматический регулятор температуры для зерносушилок.

Работая во ВНИИ, в 1958 году Иван Федорович успешно защитил кандидатскую диссертацию, посвященную исследованиям нелинейных элементов, используемых в качестве датчиков автоматики сельских электроустановок [2]. Автор диссертации уже тогда понимал необходимость разработки датчиков сельскохозяйственной автоматики, которые станут «глазами» и «ушами» будущих машин, многократно облегчающих крестьянский труд.

Иван Федорович не прерывал связей с родным институтом, в 1959 избирается по конкурсу и возвращается в альма-матер на должность ассистента кафедры «Производство и распределение электрической энергии в сельском хозяйстве», где начинает приобретать опыт обучения студентов.

В 1962 году Иван Федорович утверждается в звании доцента и полностью посвящает себя научной и учебно-методической работе. Он создает новую дисциплину и учебную лабораторию по «Основам автоматики» и принимает активное участие в подготовке учебных и методических пособий и анализе состояния электрификации и автоматизации с. х. С 1961 по 1977 годы является единоличным автором рефератов статей – сборники ВНИИТИ АН СССР по электрификации и автоматизации сельского хозяйства.

Иван Федорович продолжает исследования нелинейных элементов автоматики уже со своими аспирантами. Разрабатываются новые средства автоматизации сельскохозяйственного производства, защищаются кандидатские диссертации, патентуются: датчики уровня зерна, транзисторные преобразователи частоты для питания электрифицированных инструментов, системы автоматического регулирования температуры сельскохозяйственных объектов и другие устройства автоматики [2, 3].

В этот же период, под руководством Ивана Федоровича молодые ученые, начинают осваивать новое перспективное научное направление – сельскохозяйственную электротехнологию, как базу для создания новых средств автоматизации. Первыми электротехнологическими средствами, были устройства, основанные на знании электрофизических свойств сельскохозяйственной продукции (рисунк 3). Уже в 1972 были разработаны: устройство для разделения и выделения биологически ценных семян и устройство автоматического контроля жир- и молоковыделение в процессе машинного доения [1, 2, 10]. По этому направлению Иваном Федоровичем под-

готовлена и с успехом защищена в 1974 докторская диссертация [4], в которой он указывал, что для создания датчиков сельскохозяйственной автоматики могут быть использованы не только электрофизические свойства, но оптические характеристики сельскохозяйственной продукции [1, 5].



Рисунок 3 – Исследования электрофизических свойств зерновой массы

И. Ф. Бородин, наряду с научной работой, активно участвует в общественной жизни института: неоднократно избирается членом партбюро факультета, членом парткома института, а также заявляет о себе в научных организациях страны, участвуя в работе секции Центрального Правления НТО «Сельское хозяйство». В этом же году Ученый совет факультета электрификации избирает его своим деканом.

В 1975 году Иван Федорович избирается на должность профессора кафедры автоматики и электроснабжения сельского хозяйства. Молодому профессору оказано доверие создания кафедры и факультета по автоматизации сельскохозяйственного производства (рисунок 4). Спустя год по инициативе И. Ф. Бородина при кафедре создается отраслевая научно-исследовательская лаборатория (ОНИЛ – 7).

На кафедре, под руководством Иван Федоровича, продолжаются исследования электрофизических и оптических свойств сельскохозяйственных культур и материалов [5]. Начаты исследования СВЧ-технологий [7]. Разработаны и внедрены в производство: автоматические устройства по сортировке яблок и табака; устройства контроля влажности почвы, кормов и качества яиц; устройства для уничтожения сорняков и вредных микроорганизмов, стимуляции семян и растений электромагнитными полями, аэрозольные и озонные электротехнологические установки.



Рисунок 4 – Коллектив кафедры автоматизации сельскохозяйственного производства (1980 г.)

Коллеги, общавшиеся с И. Ф. Бородиным в этот период, в один голос отмечали его необычайную активность, «неутомимость», непоколебимое стремление познать и практически использовать новые физические явления.

На основе полученных результатов научными коллективами [9], руководимыми последователями И. Ф. Бородина – профессорами Кирилыным Н. И., Тарушкиным В. И. и Фомичевым М. М. удалось создать уникальные машины по сортировке сельскохозяйствен-

ных продуктов, диэлектрической сепарации, калибровке и очистке семян, а также электрофизической борьбы с сорной растительностью и стимуляции ростовых процессов в семенном материале.

Красной линией через всю научную деятельность И. Ф. Бородина проходили комплексные исследования зависимости электрических параметров (удельной проводимости, электроемкости, поляризации, характеристик биопотенциалов), оптических свойств (отражение, поглощение, пропускание, рассеяние), акустических, тепловых и других показателей более 30 видов агросырья и пищевой продукции (зерна, овощей, фруктов, корнеклубнеплодов, табака, яиц, молока, нефтепродуктов, почвы, травянистых кормов и т.п.). Проводя эти исследования, И. Ф. Бородин стремился к получению максимальной информации по объяснению физической сущности явлений, наиболее полному и адекватному их математическому описанию, осознанному нахождению условий оптимального проявления и практическому применению.

Совместно со своими коллегами и учениками И. Ф. Бородин получил новые знания по влиянию на развитие растений и животных электромагнитных полей природного и промышленного происхождения. Установлено, что малые дозы внешних электромагнитных излучений в большинстве случаев оказывают стимулирующее, а большие дозы – угнетающее воздействие. Совместно с НИИ нормальной физиологии И. Ф. Бородиным разработан эффективный биоэлектрический способ диагностики физиологического состояния семян. Этот способ позволяет безошибочно выявлять состояния покоя, активизации, угнетения, возбуждения (стресса), агонии и некроза биологических материалов. Экспериментально подтверждено, что электромагнитные воздействия на живой мир происходят как на энергетическом (силовом), так и на информационном уровнях. Проведены обширные исследования способов стимулирования и угнетения организмов импульсными электромагнитными полями сверхвысокой частоты (в диапазоне от 1 до 50 ГГц). Установлено, что максимальный эффект при этом достигается в условиях резонанса, проявляющегося при совпадении частоты внешнего воздействия с собственной частотой колебаний микроорганизмов или их отдельных органов и клеток.

Под руководством И. Ф. Бородина, были защищено 48 кандидатских и 28 докторских диссертаций по автоматизации сельскохо-

зяйственного производства, в том числе с использованием электро-технологических средств. Для практического использования разработаны, как датчики сельскохозяйственной автоматики, основанные на измерении и контроле электрофизических и оптических свойства сельскохозяйственной продукции, так и автоматизированные электротехнологические: СВЧ установки, аэрозольные и озонные и СВЧ установки, используемые при предпосевной обработке семян и стимуляции роста и развития растений, уничтожения вредной микрофлоры, насекомых-вредителей, сорняков и их семян [8].

В 1982 году И. Ф. Бородин назначается руководителем проблемы ГКНТ СССР по применению электромагнитных полей сверхвысокой частоты в сельскохозяйственных технологиях. В 1983 г. избирается членом-корреспондентом ВАСХНИЛ. В 1984 г. назначается председателем вновь созданного в ВАСХНИЛ Проблемного Совета по автоматизации сельскохозяйственного производства и в этом же году избирается ректором родного института.

И. Ф. Бородин внес весомый вклад в расширение материально-технической базы вуза: построены и сданы в эксплуатацию два комфортабельных 22-и этажных студенческих общежития, сооружен жилой дом для сотрудников, учебные корпуса переведены на централизованное отопление. Важным событием в жизни института стало получение статуса университета в 1993 году. В период с 1984 по 1994 годы в вузе были открыты 13 отраслевых научно-исследовательских лабораторий, 3 кандидатских и 3 докторских совета. Существенно активизировалась изобретательская работа ученых, налажился регулярный выпуск научных трудов, установились эффективные контакты с рядом зарубежных вузов.

В 1988 году за заслуги перед сельскохозяйственной наукой Ивана Федоровича избирают действительным членом ВАСХНИЛ. При этом он остается активной общественно-политической личностью, являясь народным депутатом Райсовета, председателем общества борьбы за трезвость Тимирязевского района, членом национальной комиссии Международного Комитета инженеров сельского хозяйства, членом агропромышленной секции Комитета по Ленинским и Государственным премиям СССР в области науки и техники и председателем нескольких специализированных Советов по защите докторских и кандидатских диссертаций.

Большую роль в трудовой жизни И. Ф. Бородина играла про-

светительская деятельность. Он всегда охотно выступал перед учащимися средних школ, абитуриентами, студентами и трудовыми коллективами страны с рассказами о научной работе. Им написаны несколько десятков широко известных учебников по автоматизации сельскохозяйственного производства. Особую популярность в студенческих и научных кругах, а также в производственной сфере получила книга «Автоматизация технологических процессов», претерпевшая 5 переизданий [6]. А в учебном пособии, написанном И. Ф. Бородиным и Н. И. Кирилыным еще в 1974 году под скромным названием «Практикум по основам автоматики и автоматизации производственных процессов» [4] авторам удалось в очень компактной и доступной форме изложить тонкие вопросы теории автоматического управления, коснуться машинного моделирования динамических процессов, рассказать о технических средствах автоматики, рассмотреть многочисленные примеры применения автоматики в сельскохозяйственном производстве. На этом издании было подготовлено не одно поколение специалистов-автоматчиков. Учебное пособие оказалось настолько удачным, что преподаватели, студенты и аспиранты до сих пор с удовольствием обращаются к «синей книге» для получения доступных ответов на сложные вопросы по анализу и синтезу автоматических систем.

Научное наследие Ивана Федоровича составляют более 600 статей, 45 учебников, учебных пособий и монографий, и 105 изобретений.

В семейной жизни Иван Федорович был преданным и заботлив мужем и отцом. Его жена, Александра Ивановна, говорила, что за Иваном Федоровичем она как за каменной стеной. Они воспитали двух прекрасных дочерей (рисунок 5). Вместе вели свое городское «крестьянское» хозяйство, в котором водились пчелы, содержались куры. Иван Федорович сам монтировал радиаторы водяного отопления в своем первом доме, строил и облицовывал бассейн, копал грядки. Приходя на научные встречи единомышленников, Иван Федорович приносил моченые яблоки, соленые огурцы, фрукты. На 80-летний юбилей, который проходил в МГАУ, была представлена медовуха, которую еще до начала торжества гости пробовали при входе в общий зал.



Рисунок 5 – В кругу семьи

В 1995 году Иван Федорович стал лауреатом Правительственной премии за разработку, организацию выпуска и внедрение в сельскохозяйственное производство диэлектрических сепараторов семян, в 1998 г. – лауреатом Государственной премии за разработку и внедрение высокоинформативных методов и систем контроля качества агросырья и пищевой продукции и в 2008 г. – лауреатом премии Правительства Российской Федерации в области образования. Награжден медалями, нагрудными и почетными знаками страны и зарубежных стран. В честь его имени установлена Памятная доска на Лавровской школе Орловской области (рисунок 5).



Рисунок 6 – Иван Федорович у стен родной школы

Имя Иван Федоровича Бородина присвоено кафедре автоматизации и роботизации технологических процессов нашего университета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Академик Россельхозакадемии И. Ф. Бородин. К 80-летию со дня рождения. В. И. Загинайлов, Ю. А. Судник. М. : ФГОУ ВПО МГАУ имени В. П. Горячкина, 2009. 82 с.

2. **Бородин И. Ф.** Нелинейные емкости в качестве элементов автоматики сельскохозяйственных электроустановок : дис. ... канд. техн. наук. / Бородин Иван Федорович М., 1958. 180 с.

3. **Бородин И. Ф.** Исследование электрических датчиков систем сельскохозяйственной автоматики : дисс. ... доктора техн. наук / Бородин Иван Федорович М., 1974. 230 с.

4. **Бородин И. Ф., Кирилин Н. И.** Практикум по основам автоматики и автоматизации производственных процессов. М. : Колос, 1974. 255 с.

5. **Бородин И. Ф.** Электрические и оптические методы и устройства контроля сортировки с.-х. продукции // Тезисы Всесоюзной конференции «Современные вопросы математики и механики». М. : 1983.

6. **Бородин И. Ф., Недилько Н. М.** Автоматизация технологических процессов. М. : Агропромиздат, 1986. 368 с.

7. **Бородин И. Ф., Шарков Г. А., Горин А. Д.** Применение

СВЧ-энергии в сельском хозяйстве. М. : Госагропром СССР, ВАСХНИЛ, 1987. 57 с.

8. **Бородин И. Ф., Загинайлов В. И., Сергованцев В. Т.** и др. Автоматика – этап индустриализации села // Вестник РАСХН. 2008. С. 11–13.

9. **Будзко И. А., Бородин И. Ф., Тарушкин В. И.** Методы разделения семян в электростатическом поле. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1974. № 11. С. 32–37.

10. **Краус В. Р.** Наследие академика И. Ф. Бородина – ученого, ректора, человека. К 85-летию со дня рождения. Вестник № 2(15) ВИАЭСХ 2014. С. 8–10.

REFERENCES

1. Akademik Rossel'hozakademii I.F. Borodin. K 80-letiyu so dnya rozhdeniya. V.I. Zaginajlov, Yu.A. Sudnik. M. : FGOU VPO MGAU im. V.P. Goryachkina, 2009. 82 p.

2. **Borodin I. F.** Nelinejnye emkosti v kachestve elementov avtomatiki sel'skohozyajstvennyh elektroustanovok : dis. ... kand. tekhn. nauk. / Borodin Ivan Fedorovich M., 1958. 180 p.

3. **Borodin I. F.** Issledovanie elektricheskikh datchikov sistem sel'skohozyajstvennoj avtomatiki : diss. ... doktora tekhn. nauk / Borodin Ivan Fe-dorovich M., 1974. 230 p.

4. **Borodin I. F., Kirilin N. I.** Praktikum po osnovam avtomatiki i avtomatizacii proizvodstvenny'x processov. M. : Kolos, 1974. 255 p.

5. **Borodin I. F.** E'lektricheskie i opticheskie metody` i ustrojstva kontrolya sortirovki s.-x. produkcii: Tezisy` Vsesoyuznoj konferencii «Sovremennyy'e voprosy` matematiki i mexaniki». M. : 1983.

6. **Borodin I. F., Nedil'ko N. M.** Avtomatizaciya texnologicheskix processov. M.: Agropromizdat, 1986. 368 p.

7. **Borodin I. F., Sharkov G. A., Gorin A. D.** Primenenie SVCh-e`nergii v sel'skom xozyajstve. M. : Gosagroprom SSSR, VASXNIL, 1987. 57 p.

8. **Borodin I. F., Zaginajlov V. I., Sergovancev V. T. i dr.** Avtomatika – e`tap industrializacii sela // Vestnik RASXN. 2008. pp. 11–13.

9. **Budzko I. A., Borodin I. F., Tarushkin V. I.** Metody` razdele-niya semyan v e`lektrostaticheskom pole. Mexanizaciya i e`lektrifikaciya

sel'skogo khozyajstva. 1974. № 11. pp. 32–37.

10. **Krausp V. R.** Nasledie akademika I.F. Borodina – uchenogo, rektora, cheloveka. K 85-letiyu so dnya rozhdeniya. Vestnik № 2(15) VIE`SX 2014. pp. 8–10.

Ерохин Михаил Никитьевич, академик РАН, доктор техн. наук, профессор кафедры «Соппротивление материалов и детали машин»
Тел. 8-916-690-45-15

E-mail: m.erohin@rgau-msha.ru

Загинайлов Владимир Ильич, доктор техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение и электротехника имени академика И. А. Будзко»

Тел. 8-903-108-37-37

E-mail: energo-viz@mail.ru

Андреев Сергей Андреевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородин»

Тел. 8-906-783-71-60

E-mail: asa-finance@yandex.ru

УДК 378.4:621.433:519.87

М. Н. ЕРОХИН, академик РАН, доктор техн. наук, профессор
О. Н. ДИДМАНИДЗЕ, доктор техн. наук, профессор,
член-корреспондент РАН

Е. П. ПАРЛЮК, канд. экон. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», Российская Федерация, г. Москва

Р. Т. ХАКИМОВ, доктор техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

M. N. EROHIN, Academician of RAS, Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor

O. N. DIDMANIDZE, Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor, Corresponding Member of RAS

E. P. PARLUK, Ph. D. of Economic Sciences, Associate Professor
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev», Russian Federation, Moscow

R. T. KHAKIMOV, Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Agrarian University", Russian Federation, St. Petersburg

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ В ЦИЛИНДРЕ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

HEAT DISCHARGE PROCESS MODEL IN THE CYLINDER OF A GAS INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Аннотация. В результате исследований было установлено, детальное математическое описание полного газодинамического

процесса в ДВС является сложной экспериментально-теоретической задачей. Для ее решения регрессионная модель оказывается непригодной ввиду чрезмерно большого объема экспериментальных данных. Более подходящая методика основана на использовании экспериментальных данных с последующим учетом новых условий.

Ключевые слова: горения, тепловыделение, ДВС, газовый двигатель, фронт пламени, турбулентная скорость.

Abstract. *As a result of the studies, it was found that a detailed mathematical description of the complete gas-dynamic process in the internal combustion engine is a complex experimental-theoretical problem. For its solution, the regression model is unsuitable due to the excessively large amount of experimental data. A more suitable technique is based on the use of experimental data, followed by new conditions.*

Keywords: *combustion, heat generation, ICE, gas engine, flame front, turbulent speed.*

Введение

Основными характеристиками выгорания являются длительности φ_1 показатели характера выгорания и доли топлива, которые выгорают в фазах выгорания. Для дизельных ДВС обычно выделяют две фазы выгорания, а в газовых – тепловыделение происходит в одну фазу [1, 2, 4, 6, 7].

Многие исследователи подтвердили, что угол ПКВ от начала процесса сгорания до достижения первого максимума скорости тепловыделения не зависит от режима работы и нагрузочных характеристик. Следовательно, максимальный показатель скорости тепловыделения пропорционален доле теплоты, выделившейся в первой фазе горения. Обозначим его символом X_1 . Принимая во внимание накопленные знания и собственные испытания, примем угол φ_1 равным $3\text{--}4^\circ$ ПКВ. При этом будет наблюдаться первоначальный процесс ламинарного движения фронта пламени, как отмечали многие авторы [2, 5, 8, 9]. Представляемая методика позволяет описать вторую фазу.

Цель работы: оценка скорости распространения фронта пламени газозвоздушной смеси в камере сгорания ДВС, выраженная через угол поворота коленчатого вала φ_2 во второй фазе сгорания.

Материалы и методы

Отношение количества сгорающего газа к подведенной газовой смеси дает добавку к X_1 .

$$X_1 = \frac{G_{\Gamma\text{тi}}}{\alpha G_r}, \quad (1)$$

где $G_{\Gamma\text{тi}}$ – количество газовой смеси состоящей из (этана, пропана, бутана, инертных газов и т. д.); α – коэффициент избытка воздуха; G_r – количество природного газа.

Таким образом, для большого класса цепных реакций можно написать дифференциальное уравнение, связывающее суммарную скорость изменения относительной плотности эффективных центров с ее плотностью в данный момент времени в следующем виде:

$$\frac{d\rho}{dt} a\rho - b\rho^2, \quad (2)$$

где a – коэффициент пропорциональности в 1/сек., или константа развития цепи; b – коэффициент пропорциональности, представляющий собой отвлеченное число, или константа обрыва цепи.

Для нецепных реакций $a = 0$, $b = 0$, следовательно, из уравнения (3) получим, что $\frac{d\rho}{dt} = 0$. Отсюда вытекает, что $\rho = \text{const}$ и уравнение для прореагировавшей доли вещества превращается в уравнение мономолекулярной реакции:

$$x = 1 - e^{-n\rho_0 t} = 1 - e^{-kt}, \quad (3)$$

Отношение $\frac{a}{b} = \rho_s$ равно квазистационарной плотности эффективных центров.

Согласно уравнению (3) константы скорости мономолекулярных реакций

$$k = n\rho_0, \quad (4)$$

Учитывая, что для очень многих химических реакций эта константа зависит от температуры по закону Аррениуса, можно написать:

$$n\rho_0 = Ae^{-\frac{E}{RT_0}}, \text{ или } \rho_0 = \rho_{\text{np}} e^{-\frac{E}{RT_0}}, \quad (5)$$

где E – энергия активации инициирующей реакции; T_0 – абсолютная температура, при которой происходит тепловое инициирование реакции; R – газовая постоянная; A – константа соударений в соответствии с положениями кинетической теории газов; $\rho_{\text{пр}}$ – предельная плотность эффективных центров при условии $T = \infty$.

По уравнению (5) можно для данной температуры вычислить начальную плотность эффективных центров углеводородных газовых топлив в процессе сгорания.

Процесс выгорание рабочей смеси, состоящей из природного газа и воздуха, в основной фазе выражается углом φ_2 , указывающим протекание процесса от начала сгорания до достижения максимального значения скорости тепловыделения в камере сгорания двигателя. При постановке задачи в процессе моделирования процесса тепловыделения, считаем, что данный угол показывает при прочих равных условиях определение скорости распространения фронта пламени и расстоянием, проходимым фронтальной границей пламени от точки воспламенения до точки выделившей теплоты у стенок камеры сгорания. Отсюда следует, что изменение скорости распространения турбулентного пламени в камере сгорания непосредственно связано с компонентным составом газозооушной смеси по данным [10]. Учитывая то, что в качестве основного топлива используем сжиженный газ, в расчете необходимо предусмотреть процесс фазового перехода из жидкой среды в газообразное. Скорость фазового перехода сжиженного метана по разному влияет на турбулентную скорость распространения фронта пламени в камере сгорания газового двигателя. Подобные исследования, в области использования сжиженного метана в качестве основного моторного топлива в жидкой фазе со сверхнизкими температурами $T = -60 \dots -160$ °C в высокотемпературном поле с $T = 1150 \dots 1250$ °C не встречались, возможно, и не проводились из-за сложности внедрения и адаптации топлива с абсолютно разными температурными данными. Главная особенность разработанной математической модели применительно к исследуемому газовому двигателю будет заключаться в совершенно новом подходе подачи топлива, это непосредственный впрыск природного газа в камеру сгорания. Соответственно эффективность рабочего процесса исследуемого газового будет зависеть от определяемой турбулентной скорости распростра-

нения фронта пламени в камере сгорания, как ключевого показателя второй фазы горения выражаемой через угол ПКВ (φ_2).

В итоге, мы видим, что угол φ_2 при достижении максимальной скорости тепловыделения во второй фазе сгорания линейно зависит от турбулентной скорости распространения фронта пламени в камере сгорания, согласно данным [3]. Исходя из представленных выше исследований о нарастающей до максимума скорости распространения фронта пламени, попробуем определить и построить вид зависимости для угла достижения максимального тепловыделения в основной фазе процесса выгорания. Следовательно, выражение будет иметь вид, который был описан [11]:

$$\bar{u}_T \approx (P)^{a_1} (T)^{a_2} (U_H)^{a_3} (\alpha)^{a_4} (n)^{a_5} \left(\frac{V}{n}\right)^{a_6} (q_z)^{a_{11}}, \quad (6)$$

где T – средняя температура фронта пламени за время распространения его в камере сгорания; α – коэффициент избытка воздуха; U_H – нормальная скорость в процессе сгорания; P – среднее давление сгорания за время нарастания его в камере сгорания; n – частота вращения КВ газового двигателя; V – объем поступающей в цилиндр газовой смеси; q_z – общая удельная использованная теплота сгорания по [1].

$$q_z = \frac{Q_z}{G_{mc} G},$$

где G_{mc} – количество топлива, подаваемого в цилиндр двигателя за один цикл; G – вес рабочего тела на 1 кг топлива.

С учетом того, что $u_H(P, T, \alpha, n)$, добавляем новое значение q_z соответственно зависимость приобретет следующий вид:

$$\bar{u}_T \approx (P)^{a_1} (T)^{a_2} \left((P)^{a_7} (T)^{a_8} (\alpha)^{a_9} (n)^{a_{10}} \right)^{a_4} (n)^{a_5} \left(\frac{V}{n}\right)^{a_6} (q_z)^{a_{11}}, \quad (7)$$

Изучив выше сказанное, необходимо определить остальные степенные значения в виде следующих коэффициентов a_1, a_2, a_7, a_8 при этом воспользуемся представлениями о влиянии P, T на турбулентную скорость движения пламени в камере сгорания. Рассмотрев изложенные материалы в [13], представления о влиянии T на скорость u_T турбулентного пламени, степенные значения суммы коэффициентов $a_2 + a_8$ подробно представлены в трудах [8]. Представленная теория в работах [3, 5] о связи между турбулентной скоростью пламени и P , может быть представлена значениями следующих ко-

эффицентов равными $a_1 = 0,302$ и $a_7 = -0,305$. Для упрощения определения коэффициентов a_{11} , a_9 , a_6 и a_5 , зададим значение коэффициента равной $a_3 = 1$. Далее в целях упрощения выражения объединим некоторые значения степени при одинаковых членах, тогда расчетная зависимость будет иметь следующий вид:

$$\bar{u}_T \approx (P)^0 (T)^{1,6} (\alpha)^{a_9} (n)^{a_5} \left(\frac{V}{n}\right)^{a_6} (q_z)^{a_7} = (T)^{1,6} (\alpha)^{a_9} (n)^{a_5} \left(\frac{V}{n}\right)^{a_6} (q_z)^{a_{11}}, \quad (8)$$

Расчетную зависимость угла φ_2 характеризующую вторую фазу горения от турбулентной скорости распространения пламени внутри цилиндра двигателя можно представить по следующей формуле:

$$\varphi_2 = \frac{l \times i n}{\bar{u}_T}, \quad (9)$$

где l – расстояние от точки воспламенения до точки достижения стенок цилиндра; n – частота вращения КВ двигателя; i – число цилиндров двигателя.

Отсюда следует, что зависимость по определению угла φ_2 ПКВ по максимуму скорости турбулентного пламени с учетом зависимости для u_T будет иметь следующий вид:

$$\varphi_2 \approx l \times n \times (T)^{-1,65} (\alpha)^{-a_8} (n)^{a_5-1} \left(\frac{V}{n}\right)^{-a_6} (q_z)^{a_{11}}, \quad (10)$$

Поскольку значения коэффициентов a_8 и a_5 не определены, будем искать значения степени при коэффициенте избытка воздуха и частоте вращения, обозначим их соответственно $t > 1$ и b_2 .

$$\varphi_2 \approx (T)^{-1,65} (\alpha)^{b_1} (n)^{b_2} \left(\frac{V}{n}\right)^{b_3} (q_z)^{a_{11}}. \quad (11)$$

Результаты и обсуждение

Для определения степенных коэффициентов воспользуемся экспериментальными данными, которые приводятся в работе [10]. В результате задаваемые значения коэффициентов подтверждают полученные выводы, сформулированные в работе [13], об отсутствии взаимосвязи показателей частоты вращения КВ и угла достижения максимального значения турбулентной скорости пламени в камере сгорания, выражаемой второй фазой сгорания φ_2 данное представление описаны в работе [11]. На основании зависимости, представленной в работах [1, 12] степенное значение для коэффициента b_3 зададим равным $b_3 = 1$. Далее для определения степенного значения

коэффициента b_1 обратимся к экспериментальным данным, представленным на рисунках 1 и 2, где, как указывалось выше, отчетливо прослеживается параболический характер зависимости нормальной (u_T) скорости сгорания газозвушной смеси от коэффициента (α) с экстремумом, соответствующем составу смеси по стехиометрическому соотношению.

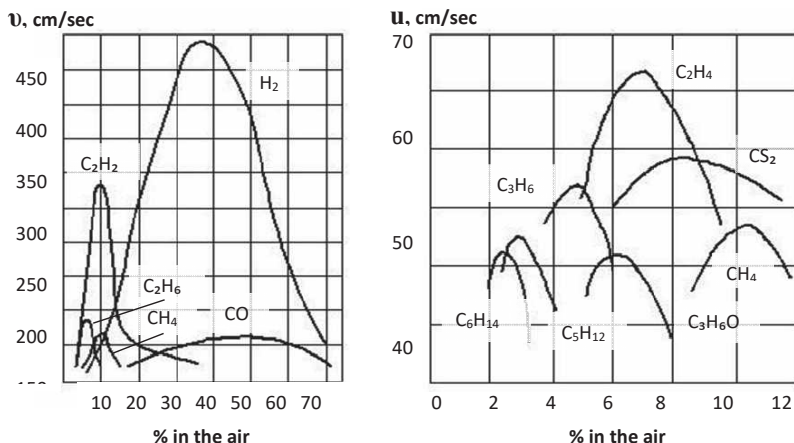


Рисунок 1 – Зависимость скорости распространения пламени и нормальной скорости от состава смеси

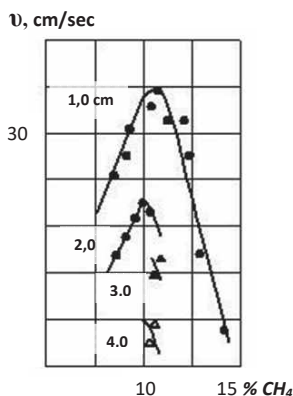


Рисунок 2 – Нормальная скорость распространения пламени метановоздушной смеси от давления по данным [7, 8]

Для газозвушных смесей метана и кислорода стехиометриче-

ский состав равен соотношению 17,2 %, следовательно, скорости распространения пламени этих смесей будет соответствовать максимальному пределу 45...55 %. Данное соотношение объясняется утяжелению молекул, при этом концентрационные границы воспламенения заметно сужаются, следовательно и кривые скорости распространения пламени в процентном соотношении тоже уменьшаются.

Выводы

1. На основании проведенных теоретических исследований влияния основных параметров внутрицилиндровых процессов на скорости тепловыделения и распространения фронта пламени во второй фазе сгорания и с учетом применяемости углеводородных топлив метанового ряда была сформулирована физически обоснованная модель рассматриваемых процессов.

2. Разработана математическая модель и алгоритм расчета рабочего цикла газового двигателя, позволяющая учитывать особенности протекания физических процессов в цилиндре, обусловленные сгоранием газозоодушнoй смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Вибе И. И.** Новое о рабочем цикле двигателя (скорость сгорания и рабочий цикл двигателя). М. : Машгиз, 1962. 271 с.

2. **Гайнуллин Ф. Г.** Природный газ как моторное топливо на транспорте. М. : Недра, 1986. 327 с.

3. **Дидманидзе О. Н., Афанасьев А. С., Хакимов Р. Т.** Исследования показателей тепловыделения газовых двигателей. Записки Горного института. 2018. Т. 229. С. 50–55.

4. **Дидманидзе О. Н., Большаков Н. А., Хакимов Р. Т.** Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей путем совершенствования охлаждающих систем // Под редакцией О. Н. Дидманидзе, Н. Е. Зимина, Д. В. Виноградова / В сборнике: Авто-транспортная техника XXI века сборник статей III Международной научно-практической конференции. 2018. С. 29–45.

5. **Ерохин М. Н., Дидманидзе О. Н., Парлюк Е. П., Хакимов Р. Т.** Математическая модель процесса сгорания и тепловыделения в цилиндре газового двигателя // Под редакцией М. Н. Ерохина / В сборнике: Чтения академика В.Н. Болтинского (115 лет со дня рождения) Сборник статей семинара. 2019. С. 19–28.

6. **Ерохин М. Н., Дидманидзе О. Н., Митягин Г. Е.** Проблемы и перспективы импортозамещения на автомобильном транспорте // Под общей редакцией А.Н. Новикова / В сборнике: Информационные технологии и инновации на транспорте материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. – Орловский гос. ун-т им. И. С. Тургенева, 2016. С. 88–96.

7. **Петриченко Р. М., Русинов Р. В.** Теплообмен в топливном факеле // Двигателестроение. 1983. № 1. С. 9–12.

8. **Новичков М. Ю.** Совершенствование рабочего процесса газодизеля : дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / Новичков Михаил Юрьевич; С.-Петербург. гос. политех. ун-т. СПб., 2004. 155 с.

9. **Хахимов Р. Т.** Модель корреляции выбросов вредных веществ автомобиля с использованием динамометрического тестирования. Техничко-технологические проблемы сервиса. 2012. № 2(20). С. 15–19.

10. **Хахимов Р. Т., Дидманидзе О. Н., Афанасьев А. С.** Исследования показателей тепловыделения газовых двигателей // Записки Горного института. 2018. Т. 229. С. 50–55.

11. **Khakimov R. T., Didmanidze O. T.** Improving the supply system gas engine to improve energy efficiency // Transportation Research Procedia. 2017. pp. 183–191.

12. **Ciccarelli G., Johansen C., Parravani M.** Transition in the propagation mechanism during flame acceleration in porous media // Proc. Combust. Inst. 33. 2011. pp. 2273–2278.

13. **Oran E. S., Gamezo V. N.** Flame acceleration and detonation transition in narrow tubes // Paper presented at 20 th Int. Colloq / On the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS), McGill University, Montreal, 31 July–5 August. 2005.

REFERENCES

1. **Vibe I. I.** Novoe o rabochem cikle dvigatelya (skorost' sgoraniya i rabochij cikel dvigatelya). M. : Mashgiz, 1962. 271 p.

2. **Gajnullin F. G.** Prirodnyj gaz kak motornoe toplivo na transporte. M. : Nedra, 1986. 327 p.

3. **Didmanidze O. N., Afanas'ev A. S., Hakimov R. T.** Issledovaniya pokazatelej teplovydeleniya gazovyh dvigatelej. Zapiski Gornogo instituta. 2018. Т. 229. pp. 50–55.

4. **Didmanidze O. N., Bol'shakov N. A., Hakimov R. T.** Uluchshenie ekspluatatsionnyh pokazatelej avtomobilej putem sovershenstvovaniya ohlazhdayushchih sistem. // Pod redakciej O. N. Didmanidze, N. E. Zimina, D. V. Vinogradova. / V sbornike: Avtotransportnaya tekhnika XXI veka sbornik statej III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2018. pp. 29–45.

5. **Erohin M. N., Didmanidze O. N., Parlyuk E. P., Hakimov R. T.** Matematicheskaya model' processa sgoraniya i teplovydeleniya v cilindre gazovogo dvigatelya. // Pod redakciej M.N. Erohina. / V sbornike: Chteniya akademika V.N. Boltinskogo (115 let so dnya rozhdeniya) Sbornik statej seminaru. 2019. pp. 19–28.

6. **Erohin M. N., Didmanidze O. N., Mityagin G. E.** Problemy i perspektivy importozameshcheniya na avtomobil'nom transporte // Pod obshchej redakciej A.N. Novikova / V sbornike: Informacionnye tekhnologii i innovacii na transporte materialy 2-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Orlovskij gos. un-t im. I. S. Turge-neva, 2016. pp. 88–96.

7. **Petrichenko P. M., Rusinov R. V.** Teploobmen v toplivnom fakele // Dvigatellestroenie. 1983. № 1. pp. 9–12.

8. **Novichkov M. Yu.** Sovershenstvovanie rabocheho processa gazodizelya : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.04.02 / Novichkov Mihail Yur'evich; S.-Peterburg. gos. polit. un-t. SPb., 2004. 155 p.

9. **Hakimov R. T.** Model' korrelyacii vybrosov vrednyh veshchestv avtomobilya s ispol'zovaniem dinamometricheskogo testirovaniya. Tekhniko-tekhnologicheskije problemy servisa. 2012. № 2 (20). pp. 15–19.

10. **Hakimov R. T., Didmanidze O. N., Afanas'ev A. S.** Issledovaniya pokazatelej teplovydeleniya gazovyh dvigatelej // Zapiski Gornogo instituta. 2018. T. 229. pp. 50–55.

11. **Khakimov R. T., Didmanidze O. N.** Improving the supply system gas engine to improve energy efficiency // Transportation Research Procedia. 2017. pp. 183–191.

12. **Ciccarelli G., Johansen C., Parravani M.** Transition in the propagation mechanism during flame acceleration in porous media // Proc. Combust. Inst. 33. 2011. pp. 2273–2278.

13. **Oran E. S., Gamezo V. N.** Flame acceleration and detonation transition in narrow tubes // Paper presented at 20 th Int. Colloq / On the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS), McGill University, Montreal, 31 July–5 August. 2005.

Ерохин Михаил Никитьевич, академик РАН, доктор техн. наук,
профессор кафедры «Сопротивления материалов и деталей машин»
Тел. 8-916-690-45-15

Дидманидзе Отари Назирович, доктор техн. наук, чл.-корр. РАН,
профессор

Тел. 8-985-763-35-90

E-mail: didmanidze@timacad.ru

Парлюк Екатерина Петровна, канд. экон. наук, доцент,
заместитель директора по методической работе

Тел. 8 (499) 976-46-78

E-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru

Хакимов Рамиль Тагирович, доктор. техн. наук, доцент

E-mail: haki7@mail.ru

УДК 621.3:631.517

В. И. БАЕВ, доктор техн. наук, профессор

И. В. БАЕВ, старший преподаватель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», Российская Федерация, г. Волгоград

V. I. BAEV, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

I. V. BAEV, *Senior Lecturer*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Volgograd State Agrarian University", Russian Federation, Volgograd

ОБОСНОВАНИЕ РОДА ТОКА ЭЛЕКТРОПРОПОЛЬЩИКА

JUSTIFICATION OF ELECTRIC WEEDER CURRENT TYPE

Аннотация. Рассмотрены энергетические параметры зарядной и разрядной цепи возможной электроимпульсной схемы для уничтожения сорных растений. КПД разрядной части близок к 100 %, а КПД зарядной цепи при малой продолжительности процесса заряда составляет около 50 %. Сделан вывод о нецелесообразности использования постоянного напряжения для получения разрядных импульсов.

Ключевые слова: электропрополка, КПД зарядного контура, разряд конденсатора, род тока.

Abstract. The energy parameters of the charging and discharge circuit of the possible electropulse scheme for the weed destruction are considered. Efficiency of discharging part is close to 100 %. Efficiency of charging circuit is about 50 % at short charging duration. It is concluded that it is inexpedient to use a constant voltage to obtain discharge pulses.

Keywords: electrical weeding, charging circuit efficiency, capacitor discharge, electrical current type.

Ранее было показано [1, 2], что для уничтожения сорняков наиболее эффективным родом тока, с точки зрения получения

наибольшей степени повреждения при наименьшей подведенной энергии, является импульсный ток высокого напряжения.

Одним из самых простых и надежных способов получения электрических импульсов (импульсов напряжения) является разряд конденсатора на активное сопротивление, роль которого в рассматриваемом случае играет растительная ткань сорного растения, попавшего в цепь протекания рабочего тока, как объекта обработки.

Растительная ткань обладает свойствами и активного и емкостного сопротивлений. Но в начале электрического воздействия емкостные свойства исчезают из-за пробоя клеточных мембран и растительный объект становится чисто активным сопротивлением, на которое и разряжается конденсатор. Очевидно, что это справедливо при допущении, что продолжительность процесса пробоя мембран очень мала и принята равной нулю. Вся подведенная к сорному растению энергия и на разрушение мембран и на повреждение протоплазмы идет на летальное повреждение растения. Следовательно, КПД разряда конденсатора близок к 100 %, к единице.

Но поскольку в общем случае для повреждения растения потребуется не один, а "n" количество импульсов, то для энергетической оценки процесса обработки растений необходимо учесть и процесс заряда конденсатора. То есть, всязарядно-разрядная цепь будет выглядеть следующим образом (рисунок 1).

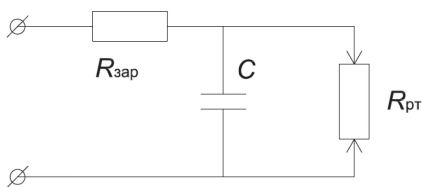


Рисунок 1 – Зарядно-разрядная цепь прополищика

Конденсатор разряжается на сумму сопротивлений растительной ткани и соединительных проводников. Токоограничивающее сопротивление зарядной цепи представляет собой сумму зарядного сопротивления $R_{зар}$ и сопротивления соединительных проводов.

В реальных условиях практически зарядная схема может быть не простейшей, а сколь угодно сложной. Рассмотрим включение такой схемы с постоянными параметрами под действием постоянного напряжения $U = \text{const}$. Во время переходного процесса включения

схемы ток в цепи может быть представлен в виде:

$$i = F(t) = UY(t),$$

где $Y(t)$ – функция параметров цепи во времени или переходная проводимость цепи.

При знании этой функции можно определить ток во время переходного процесса при включении рассматриваемой схемы на любое напряжение $u(t)$, являющееся функцией времени. Пусть, например, цепь с проводимостью $Y(t)$ включается на напряжение $u(t)$, изменяющееся по графику на рисунке 2.

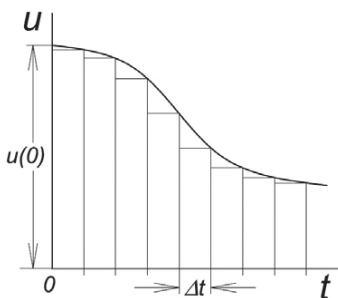


Рисунок 2 – Пример изменения подводимого к зарядной цепи напряжения

Заменим напряжение по графику ступенчатой кривой, ступени которой следуют друг за другом через равные отрезки времени Δt .

В этом случае переходный ток может быть найден, пользуясь принципом наложения, как сумма тока под действием постоянного напряжения $u(t) = u(0) = \text{const}$ и токов, вызываемых рядом постоянных ступеней напряжения, включаемых друг за другом через равные отрезки времени Δt . Величина этих постоянных (неизменяющихся) напряжений на рисунке 2 изображается вертикальными отрезками, образующими ступенчатую кривую графика и для величин напряжения, включенного в момент $t_i + \Delta t$, то есть для элементарного скачка напряжения Δu будем иметь

$$\Delta u = \left(\frac{\Delta u}{\Delta t} \right) \Delta t,$$

где $\left(\frac{\Delta u}{\Delta t} \right)$ – цена единицы времени в Вольтах.

На основе этого приближенное значение переходного тока будет

$$i(t) \approx u(0) \times Y(t) + \sum_0^t Y(t_i + \Delta t) \left(\frac{\Delta u}{\Delta t} \right) \Delta t.$$

Уменьшая отрезки Δt до бесконечно малых промежутков времени dt , получаем точное выражение для тока, перейдя от приближенного суммирования к интегрированию

$$i(t) \approx u(0) \times Y0 + \int_{t=0}^t Y(t + dt) u'(t) dt.$$

где $u'(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta t} = \frac{du}{dt}$

Как видно, полученное выражение позволяет свести решение сложной задачи о включении цепи под действие напряжения любого вида к более простой задаче включения той же цепи под действие постоянного напряжения. Это выражение называется интегралом Дюамеля.

В нашем случае (рисунок 1) напряжение на зажимах схемы может быть идеальным постоянным, постоянным от однополупериодного выпрямителя, постоянным от двухполупериодного выпрямителя. Рассмотрим в энергетическом отношении более сложный пример включения нашей схемы на напряжение $u = U \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$. Графически кривая изменения напряжения на зажимах цепи будет выглядеть (по зарядке конденсатора) следующим образом (рисунок 3).

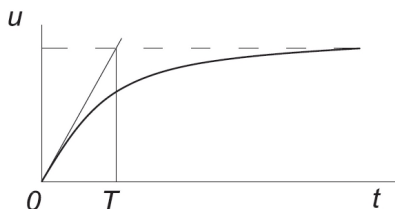


Рисунок 3 – График изменения напряжения на зажимах цепи

Скорость нарастания напряжения на зажимах цепи определяется постоянной схемы T . Очевидно, что $T = 0$ соответствует скачкообразному изменению напряжения, т.е. включению схемы на постоянное напряжение $U = \text{const}$.

Поэтому имеем, что $u(0)$, а $u^{(t)} = \frac{U}{T} \times e^{-\frac{t}{T}}$.

В соответствии с решениями из электротехники переходная проводимость при включении цепи под постоянное напряжение будет

$$Y(t) = \frac{1}{R_{\text{зар}}} \times e^{-\frac{t}{\tau}},$$

где $\tau = R_{\text{зар}} \cdot C$ – постоянная времени цепи.

По интегралу Дюамеля ток в цепи будет

$$\begin{aligned} i(t) &= u(0)Y(t) + \int_0^t Y(t+dt)u'(t)dt = 0 + \int_0^t Y(t+dt) + u'(t)dt = \\ &= \int_0^t Y(t+dt)u'(t)dt = \frac{U}{R_{\text{зар}}} \times \frac{\tau}{T+\tau} \left(e^{-\frac{t}{T}} - e^{-\frac{t}{\tau}} \right). \end{aligned}$$

Знание тока позволяет определить потери энергии в зарядном сопротивлении за все время заряда конденсатора

$$Q = \int_0^{\infty} i(t)^2 R_{\text{зар}} dt = \frac{U^2 C}{2} \times \frac{\tau}{\tau + T}.$$

А отсюда КПД заряда конденсатора будет отношением энергии, запасенной в конденсаторе к сумме этой запасенной энергии и энергии, выделившейся в зарядном сопротивлении

$$\eta = \frac{\frac{U^2 C}{2}}{\frac{U^2 C}{2} + Q} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\tau}{\tau + T} \right)}.$$

Совместный анализ полученного выражения для КПД и графика на рисунке 3 позволяет сделать следующие выводы:

1) включение конденсатора на постоянное напряжение дает КПД зарядной цепи около 50 % и при уменьшении $R_{\text{зар}}$ (и уменьшении T) КПД практически не изменяется;

2) Увеличение $R_{\text{зар}}$ будет увеличивать T и при бесконечно большом сопротивлении КПД будет стремиться к 100 %.

Для надежного повреждения сорняков при движении установки по полю к каждому растению необходимо подвести несколько электрических импульсов. А это означает, что необходимо уменьшать зарядное сопротивление цепи, что позволит получить требуе-

мую частоту следования разрядных импульсов. Но это означает, что КПД отдельных импульсов и КПД всего технологического процесса уничтожения сорняков будут низкими.

Таким образом, рассмотренный вариант получения разрядных импульсов для уничтожения сорных растений из-за низкого коэффициента полезного действия зарядной стадии цепи для практического использования неприемлем.

Очевидно, что для повышения КПД в зарядной цепи должно отсутствовать активное сопротивление и принципиальная схема этой цепи должна содержать, например, индуктивность или полупроводниковые элементы, обеспечивающие формирование импульсов без больших потерь энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Баев В. И., Юдаев И. В., Баев И. В.** Обоснование родатока для электрического повреждения растений. // Энергетика и автоматика, 2013. № 3. С. 31–38.

2. **Баев В. И., Юдаев И. В., Баев И. В.** Принципиальное построение схемы установки для электрической прополки сорняков. // Сельский механизатор. 2019. № 7.

REFERENCES

1. **Baev V. I., Yudaev I. V., Baev I. V.** Obosnovanie rodatoka dlya elektricheskogo povrezhdeniya rastenij. // Energetika i avtomatika, 2013. № 3. pp. 31–38.

2. **Baev V. I., Yudaev I. V., Baev I. V.** Principialnoe postroenie skhemy ustanovki dlya elektricheskoy propolki sornyakov. // Sel'skijmekhanizato, 2019. № 7.

Баев Виктор Иванович, доктор техн. наук, профессор

Тел. 8-917-337-21-50

E-mail: vibaew@mail.ru

Баев Иван Викторович, старший преподаватель

Тел. 8-917-331-01-47

E-mail: ibaew@mail.ru

О. И. ОРЛОВА, *старший преподаватель*

Г. В. ЖДАНКИН, *канд. экон. наук, доцент*

М. В. БЕЛОВА, *доктор техн. наук, профессор*

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», Российская Федерация, г. Княгинино

O. I. ORLOVA, *Senior Lecturer*

G. V. ZHDANKIN, *Ph. D. of Economic Sciences, Associate Professor*

M. V. BELOVA, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*
State Educational Institution of Higher Education Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Russian Federation, Knyaginino

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЧ УСТАНОВКИ С БИКОНИЧЕСКОЙ РАБОЧЕЙ КАМЕРОЙ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ КУРИНЫХ ЯИЦ

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF MICROWAVE INSTALLATION WITH BICONIC WORKING CHAMBER FOR HEAT TREATMENT OF CHICKEN EGGS

***Аннотация.** Установка выполнена в виде усеченного биконуса, вдоль которого внутри находится неферромагнитная пластина, разделяющая его объем на камеру резонаторную и камеру паузы. Вдоль внутренней боковой поверхности биконуса уложена в виде биконической спирали неферромагнитная труба. На боковую поверхность биконуса установлены магнетроны. Эффективные режимы работы установки выявлены через регрессионные модели изменения температуры, производительности, энергетических затрат и общего микробного числа при мощности генератора 3,2 кВт. Яйца, подверженные термообработке ЭМП СВЧ выше 85 °С, обеззараживаются до допустимой нормы 500 тыс. КОЕ/г, при этом энергетические затраты составляют 0,13-0,16 кВт·ч/кг, производительность 20–24 кг/ч.*

Ключевые слова: непищевые куриные яйца, биконический резонатор, диэлектрическая труба в виде биконической спирали.

Abstract. *The installation is made in the form of a truncated cone, along which there is a ferromagnetic plate inside, dividing its volume into a resonator chamber and a pause chamber. A non-ferromagnetic tube is laid along the inner lateral surface of the cone in the form of a conical spiral. Magnetrons are installed on the lateral surface of the cone. Effective modes of operation of the plant were identified through regression models of temperature changes, productivity, energy costs and the total microbial number at a generator power of 3.2 kW. Eggs subjected to heat treatment by the electromagnetic field of ultrahigh frequency above 85 °C are disinfected to the permissible norm of 500 thousand CFU/g, while energy costs are 0.13–0.16 kWh/kg.*

Keywords: *inedible eggs, biconical resonator, a dielectric tube in the form of a biconical spiral.*

Известно, что доля загрязненного пищевого яйца может достигать до 20 % от общего количества поступающих на переработку яиц [3]. Использование яйцемоечных машин приводит к быстрой порче яиц при хранении, в результате чего снижается стоимость яйца, а также доходность его производства.

При использовании микроволновой технологии обработки некондиционных яиц нет смысла внедрять глубокую переработку на фермерских хозяйствах. Такая технология обработки некондиционных яиц (мелкие, с насечками, грязью, с кровавым кольцом) позволяет минимизировать убытки путем эффективной реализации продукта при производстве кормовых добавок.

Существуют механизированные СВЧ установки для варки яиц [1, 2, с. 357–359]. В них используются транспортирующие яйца устройства, что увеличивает энергетические затраты на технологический процесс термообработки, и установки работают в периодическом режиме.

Облучение бактерицидным потоком ультрафиолетовых лучей куриных яиц стерилизует только поверхность, а микроорганизмы, покрытые тонким внешним слоем, не прозрачным для УФ излучения, остаются жизнеспособными.

Поэтому разработка СВЧ установки для термообработки яиц в

непрерывном режиме при сниженных энергетических затратах является актуальной научной задачей.

Целью исследования является обоснование параметров СВЧ установки с биконической рабочей камерой для термообработки и обеззараживания непищевых яиц в непрерывном режиме при производстве кормовых добавок.

Решены следующие задачи:

- разработана технология многократного воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) со скважностью менее 0,5 на непищевые куриные яйца;

- обоснованы режимные параметры СВЧ установки с биконической рабочей камерой для непрерывного режима работы.

Материалы и методы. На основе теории избирательного нагрева многокомпонентного сырья с разными диэлектрическими свойствами в ЭМП СВЧ решена научно-техническая задача – разработка СВЧ установки, обеспечивающей эффективные теплообменные процессы притермообработке яиц подавлением жизнедеятельности вегетативных форм микроорганизмов. Режимы работы установки обоснованы на основе многокритериальной оценки путем составления регрессионных моделей технологического процесса.

Результаты и обсуждения

СВЧ установка для термообработки непищевых куриных яиц (рисунок 1) содержит вертикально расположенную биконическую камеру 1, вершины которой усечены на уровне критического сечения. Вдоль камеры, внутри находится неферромагнитная пластина 7, разделяющая объем биконуса на камеру резонаторную 6 и камеру паузы 5 для обеспечения скважноститехнологического процесса менее 0,5. Вдоль внутренней боковой поверхности биконуса проложена диэлектрическая труба 3 в виде биконической спирали. Диаметр трубы больше, чем размер яиц, и ее концы выведены за пределы открытых оснований биконуса. Неферромагнитная пластина, выполненная по форме осевого сечения биконуса, по периметру имеет отверстия диаметром, равным диаметру запредельных волноводов 9, надетых на диэлектрическую трубу со стороны камеры паузы 5 и пристыкованных к неферромагнитной пластине 7. На боковую поверхность биконуса установлены магнетроны 2 СВЧ генераторов так, что излучатели направлены в резонаторную камеру 6, а со сто-

роны камеры паузы 5 на боковой поверхности имеется люк 4 со смотровым окном на трубе 3.

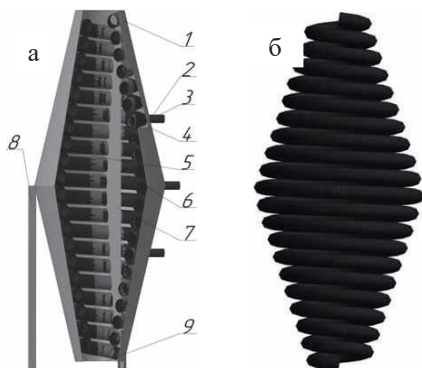


Рисунок 1 – СВЧ установка с биконической рабочей камерой для термообработки куриных яиц; а) общий вид в разрезе; б) труба диэлектрическая, уложенная в виде биконической спирали;

1 – биконус усеченный неферромагнитный; 2 – магнетроны; 3 – труба диэлектрическая, уложенная в виде биконической спирали; 4 – люк со смотровым окном; 5 – камера паузы; 7 – пластина съемная неферромагнитная; 6 – камера резонаторная; 8 – монтажная стойка

Технологический процесс происходит следующим образом.

Яйца, направленные в диэлектрическую трубу 3, катятся в ней вокруг своей оси и перемещаются, описывая траекторию биконической спирали. После включения СВЧ генераторов в резонаторной камере 6 возбуждается ЭМП СВЧ и компоненты яйца (желток и белок) избирательно эндогенно нагреваются, а когда яйца находятся в камере паузы 5, то происходит выравнивание температуры и давления в компонентах яйца. Такое многократное пребывание яиц в резонаторной камере 1 и камере паузы с чередованием обеспечит термообработку без разрушения скорлупы, если скважность технологического процесса не превышает 0,5. Поэтому неферромагнитную пластину 7 следует установить так, чтобы объем резонаторной камеры 6 был меньше объема камеры паузы 5. Сваренные и обеззараженные некондиционные яйца можно использовать в виде белковой добавки животным.

Рассмотрим движение яиц в диэлектрической трубе по биконической спирали [4, с. 109].

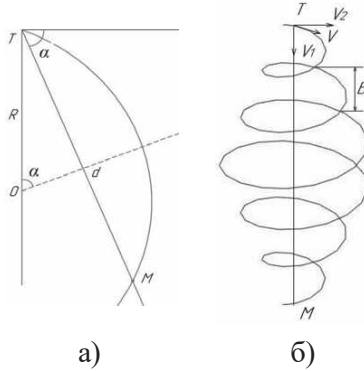


Рисунок 2 – К расчету продолжительности движения непищевых яиц по спирали: а) – движение яиц до точки M по окружности; б) – движение яиц по спирали в плоскости перпендикулярной прямой TM

Согласно рисунку2а расстояние R можно определить по формуле:

$$R = \frac{d}{2 \sin \alpha}. \quad (1)$$

Обрабатываемые яйца движутся под углом α в диэлектрической трубе, уложенной по спирали. Это движение можно представить как результат двух движений: равномерного движения со скоростью $v_2 = v \sin \alpha$ в плоскости, перпендикулярной прямой TM . Сделав целый оборот вокруг оси спирали за время $t = \frac{2\pi R_1}{v_2}$, яйца пересекут прямую линию TM на расстоянии $l = v_1 t$ от точки T . Чтобы яйца попали в выгрузной патрубок M , им необходимо сделать целое число оборотов, т.е. чтобы расстояние $TM = d$ содержало целое число отрезков l :

$$d = nl = nv_1 \frac{2\pi R_1}{v_2} = 2\pi R_1 n \frac{v_1}{v_2} = 2\pi R_1 n \operatorname{ctg} \alpha. \quad (2)$$

Предварительные расчеты показывают, что яйца при принятых конструкционных параметрах рабочей камеры катятся по биконической спирали длиной около 8 м, из них менее, чем 4 м катятся в резонаторе и эндогенно нагреваются.

Динамика нагрева яиц в ЭМПСВЧ при удельных мощностях приведена на рисунке 3. Продолжительность воздействия ЭМПСВЧ на яйца составляет 5–10 мин при удельных мощностях 2,7–0,5 Вт/г, соответственно.

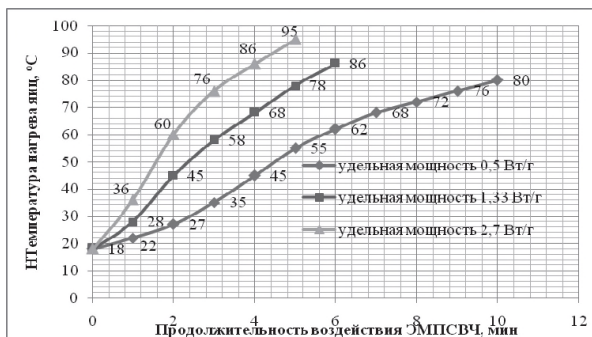


Рисунок 3 – Динамика нагрева яиц в ЭМПСВЧ при разных удельных мощностях генератора

В специализированной лаборатории проведены исследования влияния температуры диэлектрического нагрева яиц на изменение общего микробного числа при исходной обсемененности скорлупы до 1 млн КОЕ/г (рисунок 4).

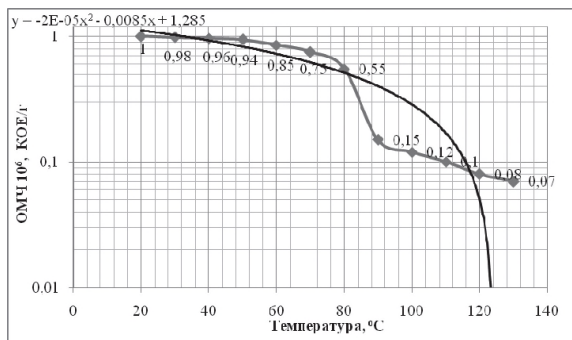


Рисунок 4 – Изменение общего микробного числа на поверхности скорлупы яиц в процессе

Яйца, подверженные термообработке ЭМПСВЧ выше 85 °C обеззараживаются до допустимой нормы 500 тыс. КОЕ/г.

Эффективные режимы работы установки выявляли путем многокритериальной оценки технологического процесса термообработ-

ки сырья. Для этого составлена матрица планирования активного эксперимента (таблица 1). Критериями оптимизации режимных параметров СВЧ установки с биконической рабочей камерой являются (таблица 2): Y_1 – температура нагрева яйца (ΔT , °C); Y_2 – производительность СВЧ установки (Q , кг/ч); Y_3 – энергетические затраты на технологический процесс, (W , кВт·ч/кг); Y_4 – микробиологическая обсемененность яиц, ($ОМЧ$, КОЕ/г). Варьируемые факторы: x_1 – масса загрузки яиц в резонатор, x_2 – продолжительность воздействия ЭМП СВЧ, мин, x_3 – количество генераторов, шт. Пределы изменения варьируемых факторов:

(x_1) $1,8 \leq G \leq 3$ Вт/г; (x_2) $6 \leq \tau \leq 12$ мин; (x_3) $2 \leq n \leq 6$ шт.

На рисунке 5 приведены двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели температуры нагрева сырья, при мощности генератора 3,2 кВт (4 генератора). Анализ регрессионных моделей показывает, что яйца сварятся при достижении температуры 86...94 °C, при этом производительность установки составляет 20 кг/ч, энергетические затраты 0,16 кВт·ч/кг, бактериальная обсемененность 180 тыс. КОЕ/г. При этом в резонаторе будет одновременно подвергаться воздействию ЭМП СВЧ 50 шт. яиц, удельной мощностью 1,07 Вт/г.

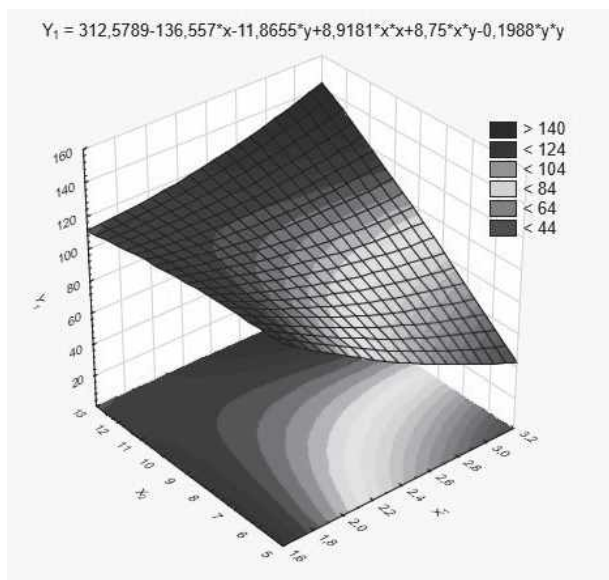
Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента по плану Хартли

№	Варьируемые параметры								
	Удельная мощность генератора, Вт/г	Масса загрузки в резонатор, кг (N – количество яиц, шт.)			Продолжительность воздействия ЭМП СВЧ, мин		Количество СВЧ генераторов, шт. (потребляемая мощность, кВт)		
		X_1	N	G	X_2	τ	X_3	n	$P_{ген.}$
1	1,6	+	50	3	+	12	+	6	4,8
2	0,533	+	50	3	–	6	–	2	1,6
3	0,888	–	30	1,8	+	12	–	2	1,6
4	2,67	–	30	1,8	–	6	+	6	4,8
5	1,33	0	40	2,4	0	9	0	4	3,2
6	1,78	–	30	1,8	0	9	0	4	3,2
7	1,07	+	50	3	0	9	0	4	3,2
8	1,33	0	40	2,4	–	6	0	4	3,2
9	1,33	0	40	2,4	+	12	0	4	3,2
10	0,67	0	40	2,4	0	9	–	4	1,6
11	2,0	0	40	2,4	0	9	+	6	4,8

Таблица 2 – Критерии оптимизации технологического процесса термообработки яиц

Критерии оптимизации				
№	Температура нагрева яиц, °C (T), $T_0 = 18$ °C	Производительность установки, кг/ч (Q)	Энергетические затраты, (W) кВт·ч/кг	Бактериальная обсемененность, КОЕ/г·10 ⁶ , (ОМЧ) (исход. ОМЧ 1 млн КОЕ/г)
	$Y1$	$Y2$	$Y3$	$Y4$
1	130	15	0,32	0,09
2	62	30	0,053	0,8
3	115	9	0,177	0,11
4	110	18	0,267	0,12
5	105	16	0,2	0,15
6	115	12	0,267	0,13
7	94	20	0,16	0,18
8	86	24	0,133	0,15
9	113	12	0,267	0,145
10	84	16	0,1	0,17
11	120	16	0,3	0,1

Примечание. Средняя масса 1 яйца первой категории 55–64 г, в среднем принимаем 60 г. Начальная температура яиц, 18 °C.



Регрессионная модель изменения температуры от массы загрузки яиц (G , *шт*), продолжительности воздействия ЭМП СВЧ (τ , *мин*) при мощности генератора 3,2 кВт:

$$G = 312,6 - 136,6x_1 - 11,9x_2 + 8,9x_1x_2 - 0,2x_2^2$$

Выводы

Яйца сварятся при достижении температуры 86–94 °С, при этом производительность установки составляет 20 кг/ч, энергетические затраты 0,16 кВт·ч/кг, бактериальная обсемененность 180 тыс. КОЕ/г. При этом в резонаторе будет одновременно подвергаться воздействию ЭМП СВЧ 50 шт. яиц, удельной мощностью 1,07 Вт/г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Белов А. А.** СВЧ установки для обработки яиц в птицеводческих хозяйствах : автореф. ... канд. техн. наук : 05.20.02. / Белов Александр Анатольевич М., ВИЭСХ. 2010. 20 с.

2. **Белов А. А., Кириллов Н. К., Новикова Г. В.** Варианты исполнения установок для варки яиц с СВЧ-энергоподводом // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии, производства и переработки продукции сельского хозяйства». Йошкар-Ола : ФГОУ ВПО «Марийский ГУ», 2008. Вып. 10. С. 357–359.

3. Наукова електронна бібліотека періодичних видань НАН України [Электронный ресурс]. URL: dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/...

4. **Кабардин О. Ф.** Международные физические олимпиады школьников / под ред. В. Г. Разумовского. М. : Наука, 1985. 160 с.

REFERENCES

1. **Belov A. A.** SVCH ustanovki dlya obrabotki yaic v pticevodcheskih hozyajstvah : avtoref. ... kand. tekhn. nauk : 05.20.02. / Belov Aleksandr Anatol'evich M., VIESKH. 2010. 20 p.

2. **Belov A. A., Kirillov N. K., Novikova G. V.** Varianty ispolneniya ustanovok dlya varki yaic s SVCH-energopodvodom // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii, proizvodstva i pererabotki

produkcii sel'skogo hozyajstva». Joshkar-Ola : FGOU VPO «Marijskij GU», 2008. Vyp. 10. pp. 357–359.

3. Naukova elektronna biblioteka periodichnih vidan' NAN Ukraïni [Elektronnyj resurs]. URL: dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/...

4. **Kabardin O. F.** Mezhdunarodnye fizicheskie olimpiady shkol'nikov / pod red. V. G. Razumovskogo. M. : Nauka, 1985. 160 p.

Орлова Ольга Ивановна, старший преподаватель

Тел. 8-952-458-98-40

E-mail: oliandria5@mail.ru

Жданкин Георгий Валентинович, канд. экон. наук, доцент

Тел. 8-903-603-55-54

Белова Марьяна Валентиновна, доктор техн. наук, профессор кафедры «Электрификация и автоматизация», доктор техн. наук

Тел. 8-953-015-53-94

E-mail: maryana_belova_803@mail.ru

УДК 636.92, 621.385.6

Е. А. ШАМИН, канд. экон. наук, доцент, директор института

М. В. БЕЛОВА, доктор техн. наук, профессор

Г. В. НОВИКОВА, доктор техн. наук, профессор,

главный научный сотрудник

Государственное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», Российская Федерация, г. Княгинино

E. A. SHAMIN, *Ph. D. of Economic Sciences, Associate Professor, Director of the Institute*

M. V. BELOVA, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

G. V. NOVIKOVA, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor, Chapter Researcher*

State educational institution of higher education "Nizhny Novgorod state University of engineering and Economics", Russian Federation, Knyaginino

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СВЧ УСТАНОВОК ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ ПУХА ОТ ШКУРОК КРОЛИКОВ

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MICROWAVE INSTALLATIONS FOR SEPARATION OF DOWN FROM RABBIT SKINS

Аннотация. Разработка микроволновой технологии и установок для отделения обеззараженного пухового сырья от шкурок кроликов в непрерывном режиме с низкими эксплуатационными затратами является актуальной задачей. Описаны две установки с нетрадиционными резонаторами. Первая установка с призматическим резонатором с основаниями в виде астроида и вторая – с симметричным биконическим резонатором. Изготовлена и апробирована в производственных условиях вторая СВЧ установка, имеющая новое конструкционное исполнение рабочей камеры, обеспечивающая отделение пухового сырья от шкурок кроликов в непрерывном режиме при соблюдении электромагнитной безопасности и реализацию обоснованных конструкционно-технологических пара-

метров для снижения эксплуатационных затрат. Проведены исследования регрессионных моделей процесса отделения волосяного покрова от шкурок кроликов в СВЧ установке с биконическим резонатором и обоснованы эффективные конструкционно-технологические параметры.

Ключевые слова: шкурка кроликов, сверхвысокочастотные установки, биконический резонатор, непрерывный режим, отделения пуха от шкур.

Abstract. *The development of microwave technology and plants for the separation of disinfected down raw materials from rabbit skins in a continuous mode with low operating costs is an urgent task. Described two installations with non-traditional resonators. The first installation of the prismatic resonator with bases in the form of astroid, and the second with a symmetrical biconical cavity. Manufactured and tested under production conditions second microwave installation with new construction of the working chamber, ensuring the separation of raw materials down from the pelts of rabbits in continuous operation in compliance with electromagnetic safety, and implementing reasonable construction-technological options to reduce operating costs. Conducted research regression models of the process of separation of hair from the pelts of rabbits in microwave installation with a biconical resonator and proved effective constructional-technological parameters.*

Keywords: *the skin of rabbits, microwave installation, biconical resonator, the continuous mode, separating the fluff from the skins*

Большой вклад в разработку инновационных электротехнологий внесли: Бородин И. Ф., Башилов А. М., Бунимович В. И., Васильев А. Н., Вендин С. В., Стребков Д. С., Цугленок Н. В. и др. Анализ результатов исследований, выполненных многими авторами по реализации электрофизических методов воздействия на многокомпонентное сырье, в том числе на шкуры животных и зверей, позволяет выделить приоритетную микроволновую технологию первичной обработки шкурок кроликов.

Научной проблемой является снижение эксплуатационных затрат на отделение волосяного покрова от шкурок кроликов и сбор с сохранением качества в условиях фермерских хозяйств.

Целью работы является отделение обеззараженного пухового сырья от шкурок кроликов путем разработки микроволновой технологии и СВЧ установок для непрерывного режима работы с низкими эксплуатационными затратами.

Руководствуясь принципами ослабления силы удерживаемости волосяного покрова в коже при избирательном диэлектрическом нагреве шкурки кроликов, решена научно-техническая задача – разработка и обоснование параметров СВЧ установок для отделения пухового сырья в непрерывном режиме.

Методика разработки предусматривала:

- моделирование нетрадиционных резонаторов, обеспечивающих эффективные параметры электродинамической системы СВЧ установок для работы в непрерывном режиме;

- обоснование параметров резонаторов по результатам вычисления распределения ЭМП, проведенных в режиме переходного процесса в программе CST Microwave Studio;

- согласование мощности генератора, напряженности электрического поля, собственной добротности, объема резонатора с конструктивно-технологическими параметрами установки для отделения обеззараженного пухового сырья от шкурок кроликов в непрерывном режиме;

- обоснование технологических процессов воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) на сырье в резонаторах нетрадиционных конфигураций: цилиндрическом, коаксиальном, тороидальном, эллипсоидном, призматическом, биконическом и т. п.;

- изготовление и апробирование в производственных условиях СВЧ установки, имеющей новое конструктивное исполнение рабочей камеры, обеспечивающее отделение пухового сырья от шкурок кроликов в непрерывном режиме при соблюдении электромагнитной безопасности, и реализации обоснованных конструктивно-технологических параметров для снижения эксплуатационных затрат.

Разработано множество СВЧ установок с разными нетрадиционными резонаторами для отделения пуха от шкурок кроликов, где предусмотрено пропитывание мездры специальной опарой или расолом [3, с. 134–142; 4, с. 90–97]. Анализировали их с точки зрения

возможности обеспечения непрерывного режима работы при сохранении электромагнитной безопасности и максимальной собственной добротности. В данной статье описаны две установки, разработанные на принципе биконического резонатора, предложенного авторами О. О. Дробахиным, П. И. Заболотным, Е. Н. Приваловым О. О. [1, с. 433–441]. Это СВЧ установка с призматическим резонатором, где основаниями служат астроиды, а вторая – симметричным биконическим резонатором.

Установка с горизонтально расположенным призматическим резонатором содержит прорезы (рисунок 1). Через прорезы резонатора по горизонтальной диагонали проложена рабочая ветвь сеточного диэлектрического транспортера 6, пропущенная между прижимным и ведущим вальцами 7, расположенными в начале транспортера. На конце транспортера 6 имеется барабан 5 с колками, над которым расположен зонд с пневмопроводом 4. На стыке двух верхних граней резонатора установлен распылитель 10 рассола. Магнетроны 2 установлены посередине на верхних гранях призмы. Диаметр и длина условно вписанного цилиндра в призму равны кратной половине длины волны.

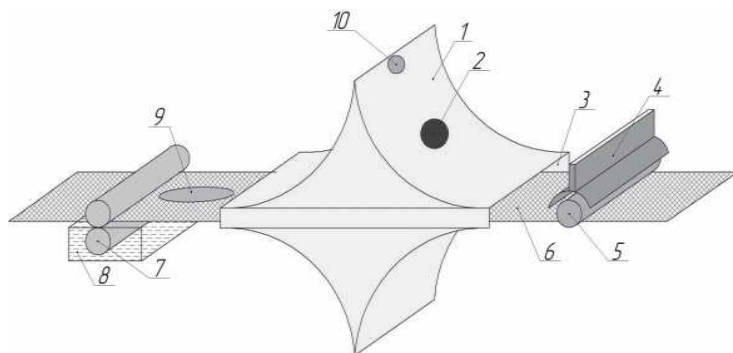


Рисунок 1 – СВЧ установка с призматическим резонатором: 1

– призматический резонатор, в основании которого лежит астроида; 2 – магнетроны; 3 – прорез, закрытая неферромагнитной сеткой; 4 – пневмопровод; 5 – барабан с колками; 6 – транспортер сеточный из диэлектрического материала; 7 – вальцы ведущий и прижимной; 8 – ванна с рассолом; 9 – шкурка кролика; 10 – распылитель рассола

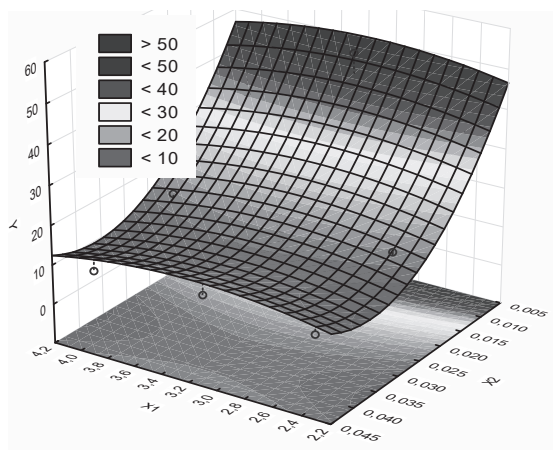
Технологический процесс обеззараживания и ослабления силы удерживаемости волосяного покрова в дерме шкурки происходит следующим образом. Включить электродвигатели для привода ведущего вальца 7, транспортера 6, барабана 5 с колками, пневмонасоса и распылителя. Положить шкурку 9 кролика вымоченную заранее, мездрой на транспортер, пухом вверх. Если шкурка окажется в резонаторе, то включить СВЧ генераторы 2. Тогда происходит воздействие ЭМП СВЧ на вымоченное сырье. При этом распаренная шкурка создает условия для смягчения кожи, расширения пор, быстрого разрушения волосяных луковиц и ослабления силы удерживаемости пуха. За пределами резонатора с помощью вращающегося барабана 5 с колками пух выщипывается и через пневмопровод 4 собирается в циклоне.

На основе результатов исследований за основу приняли симметричный биконический резонатор как рабочую камеру способную реализовать основные критерии проектирования СВЧ установок, а именно: непрерывность технологического процесса за счет прорезей в вершинах конуса; высокую напряженность электрического поля, достаточную для обеззараживания пухового сырья; достаточно высокую собственная добротность, электромагнитную безопасность. Изготовили и апробировали установку с симметричным биконическим резонатором (рисунок 2).



Рисунок 2 – СВЧН установка для отделения волосяного покрова от шкурки кроликов: а) установка; б) шкаф управления; в) электропривод сеточного транспортера; г) магнетроны; д) щеточный барабан; е) механизм регулирования зазора между шкуркой и щеточным барабаном

Проведены исследования регрессионных моделей процесса отделения волосяного покрова от шкурок кроликов в СВЧ установке с биконическим резонатором. Пределы изменения факторов следующие: (x_1) $2,4 \leq P \leq 4$ кВт; (x_2) $0,083 \leq \tau \leq 0,042$ ч; (x_3) $3 \leq n \leq 7$ %. Оптимизировали технологические параметры по следующим критериям: Y_1 – температура в коже шкуры (T , °C); Y_2 – производительность установки (Q , кг/ч); Y_3 – удельные энергетические затраты на технологический процесс отделения волосяного покрова от кожи шкур кроликов, (W , кВт·ч/кг); Y_4 – микробиологическая обсемененность собранного пуха, (ОМЧ, 10^6 КОЕ/г). Поверхность отклика и двумерные сечения в изолиниях трехфакторной модели изменения производительности СВЧ установки при концентрации рассола 5 % приведена на рисунке 3.



Со шкур кроликов сразу после забоя удаление волосяного покрова возможно при вымачивании рассолом 5 % концентрации и воздействии ЭМП СВЧ дозой, равной 0,2 кВт·ч/кг. По истечении более 2 часов после забоя эффективнее распыленная опара из сброженной смеси ржаной муки, воды, дрожжей, горчичного порошка и соли на мездровую сторону шкуры, в процессе передвижения через резонатор.

Наиболее эффективной является СВЧ установка с симметричным биконическим резонатором производительностью 35–45 шт./ч., потребляемой мощностью 5,55 кВт, энергетическими затратами 0,3 кВт·ч/кг (таблица 1).

Таблица 1 – Технические характеристики СВЧ установки

Потребляемая мощность четырех генераторов, кВт	4,8
Производительность установки, кг/ч; шт./ч	15–20; 34–45
Мощность электродвигателя транспортера, кВт	0,25
Скорость передвижения транспортера, м/с	0,015-0,2
Мощность пневмонасоса, кВт	0,25
Мощность вентилятора для охлаждения магнетронов, кВт	0,25
Потребляемая мощность СВЧ установки, кВт	5,55
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,3
Габаритные размеры, м	1,2×1,0×2,15

Узкие прорезы, независимо от их длины, ширина которых меньше, чем четверть длины волны, излучают СВЧ энергию ниже ПДУ, если прорезы расположены вдоль линий протекания тока в резонаторе. Проведенные исследования мощности потока СВЧ излучений с помощью измерителя ПЗ–33М показывают, что электромагнитная безопасность оператора обеспечивается в течение 3 часов работы непосредственно около транспортера без экранирующей сетки, а при наличии сетки – в течение рабочего дня (рисунок 4).

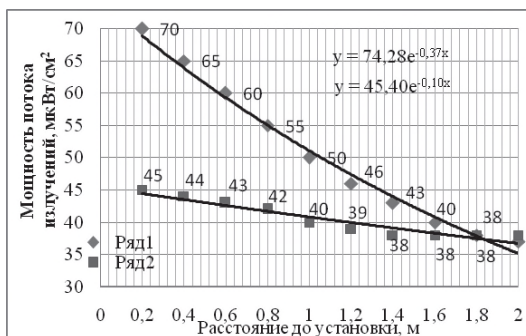


Рисунок 4 – Изменения мощности потока излучений в зависимости от расстояния до установки и высоты замера:

1) без экранирующей сетки; 2) с сеткой

Выводы

Симметричный биконический резонатор может обеспечить электромагнитную безопасность при непрерывном технологическом процессе за счет щелей в вершинах конуса и высокую напряженность

электрического поля, достаточную для обеззараживания пухового сырья; обладает достаточно высокой собственной добротностью.

Наиболее эффективной является СВЧ установка с симметричным биконическим резонатором, производительностью 35–45 шт./ч., потребляемой мощностью 5,55 кВт, энергетическими затратами 0,3 кВт·ч/кг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дробахин О. О., Заболотный П. И., Привалов Е. Н. Резонансные свойства аксиально-симметричных микроволновых резонаторов с коническими элементами // Радиофизика и радиоастрономия. 2009. № 4. Т. 1. С. 433–441.

2. Шамин Е. А., Новикова Г. В., Белова М. В. Разработка микроволновой технологии и установки для отделения пухового сырья от шкур кроликов // Инновации в сельском хозяйстве. М. : ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. 2018. № 4 (29). С. 134–142.

3. Шамин Е. А., Михайлова О. В., Тончева Н. Н. СВЧ установка для отделения и сбора пуха со шкурок кроликов // Электро-технологии и оборудование в АПК, 2019. № 2 (35). С. 90–97.

REFERENCES

1. Drobahin O. O., Zabolotnyj P. I., Privalov E. N. Rezonansnye svojstva aksial'no-simmetrichnyh mikrovolnovykh rezonatorov s konicheskimi elementami // Radiofizika i radioastronomiya. 2009. T. 1. № 4. pp. 433–441.

2. Shamin E. A., Novikova G. V., Belova M. V. Razrabotka mikrovolnovoj tekhnologii i ustanovki dlya otdeleniya puhovogo syr'ya ot shkur krolikov // Innovacii v sel'skom hozyajstve. M. : FGBNU FNAC VIM. 2018. № 4 (29). pp. 134–142.

3. Shamin E. A., Mihajlova O. V., Toncheva N. N. SVCH ustanovka dlya otdeleniya i sbora puha so shkurok krolikov // Elektrotekhnologii i oborudovanie v APK. 2019. № 2 (35). pp. 90–97.

Шамин Евгений Анатольевич, канд. экон. наук, доцент,

директор института

Тел. 8-910-138-62-44

E-mail: evg.shamin4@gmail.com

Белова Марьяна Валентиновна, доктор техн. наук,

профессор кафедры «Электрификация и автоматизация»

Тел. 8-953-015-53-94

E-mail: maryana_belova_803@mail.ru

Новикова Галина Владимировна, доктор техн. наук, профессор,

главный научный сотрудник

Тел. 8-927-994-00-52

E-mail: NovikovaGalinaV@yanex.ru

Т. А. ЩЕГОЛИХИНА, *научный сотрудник*

Л. А. НЕМЕНУЩАЯ, *старший научный сотрудник*

Л. Ю. КОНОВАЛЕНКО, *старший научный сотрудник*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГБНУ «Росинформагротех»), Российская Федерация, Московская область, р. п. Правдинский

T. A. SCHEGOLIKHINA, *Research Officer*

L. A. NEMENUSHCHAYA, *Senior Research Officer*

L. Yu. KONOVALENKO, *Senior Research Officer*

Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex» (FGBNU «Rosinformagrotech»), Russian Federation, Moscow region, Pravdinsky v.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

INTELLIGENT SYSTEMS FOR MODERN SPRAYERS

Аннотация. Рассмотрены конструктивные особенности, компьютерные системы современных самоходных штанговых опрыскивателей зарубежного производства.

Ключевые слова: опрыскиватель, программное обеспечение, электронные системы, управление, контроль.

Abstract. Considered design features, computer systems and software of modern self-propelled boom sprayers of foreign production

Keywords: sprayer, software, electronic systems, control, monitoring.

В современном мировом сельскохозяйственном производстве активно развиваются и совершенствуются компьютерные и информационные технологии, электронные приборы и устройства автома-

тизации, микропроцессорные системы управления технологическими процессами, в том числе для опрыскивающей техники. Основным объемом средств защиты растений в России и за рубежом вносится с помощью штанговых опрыскивателей. В развитии зарубежных штанговых опрыскивателей можно отметить увеличение производства самоходных моделей. В конструкциях зарубежных самоходных опрыскивателей, техническая характеристика которых приведена в таблице 1, используются современные системы стабилизации положения штанги, контроля нормы расхода рабочей жидкости, автоматизированные системы контроля технологического процесса. В настоящее время имеется большой ассортимент техники с применением стандарта передачи данных ISOBUS [1].

Система опрыскивания GreenFlowPlus на самоходном опрыскивателе Condor 4 фирмы «Agrifac» (Нидерланды) предназначена для снижения объема остающейся жидкости и включает в себя специальный самоочищающийся напорный фильтр с регулятором давления. Данное техническое решение обеспечивает быструю реакцию системы на изменения, например, возникающие при работе с автоматическим посекционным управлением штанги. Опрыскиватель оборудован терминалом EcoTronicPlus, с помощью которого обеспечивается автоматическое наполнение бака, осуществляется управление на поворотной полосе, а также контролируются другие системы опрыскивателя [1, с. 34–40, 3].

На опрыскивателе Pantera 4502 компании «Amazone» (Германия) автоматизацию контура опрыскивания осуществляет система Comfort-Pack, включая автоматическое наполнение, перемешивание, а также очистку и ополаскивание. Система рециркуляции обеспечивает постоянное нахождение трубопроводов системы опрыскивания под давлением для мгновенного включения и облегчения промывки штанги. Управление опрыскивателем, регулирование ширины колеи и частоты вращения насоса осуществляется различными функциями сенсорного терминала AmaDrive.

Программное обеспечение TaskDocPro, установленное на самоходном опрыскивателе RoGator 655D компании «Challenger» (США) обеспечивает регулируемое по скорости внесение средств защиты, посекционное управление секциями шириной 1 м и беспроводную передачу данных.

**Таблица 1 – Техническая характеристика зарубежных
самоходных штанговых опрыскивателей**

Марка, (изготовитель)	Мощность двигателя, кВт	Ширина захвата, м	Вместимость рабочего бака, л	Производительность насоса, л/мин	Дорожный просвет, м	Ширина колеи, м	Масса, кг
Condor 4 («Agrifac», Нидерланды)	213	24–54	4000; 5000	540	1,25	1,5...2,55	10 000
Pantera 4502 («Ama- zone», Германия)	163	24–40	4500	520	1,2	1,8...2,4	9600–10 500
RoGator 655D («Challenger», США)	181	36	4000; 5200; 6200	800	0,75; 1,2	1,8...2,25	12 000
R4040i («JohnDeere», США)	175	До 36	4000	280	1,0	1,87...2,55; 2,0...2,7; 2,15...2,85	12 100
Laser FC4240 («Tecnomat Technol- ogy», Франция)	162	36	2500; 3200; 4200; 5200	300	1,05-1,8	1,8...2,2	10 480

Стальные штанги опрыскивателя R4040i компании «JohnDeere» оборудованы системой BoomTrac, обеспечивающей автоматическую регулировку по высоте всей штанги, а версия Pro предоставляет возможность подъема и опускания каждой стороны индивидуально. Настройка и управление широким диапазоном стандартных и автоматизированных функций осуществляется через терминал GreenStar 2630 с программным обеспечением SolutionCommand. В их числе автоматическое наполнение бака и перемешивание, очистка с несколькими циклами ополаскивания и опрыскивание. С помощью системы телеметрии JD Link не только обеспечивается удаленный доступ для дилеров и собственников, но также и беспроводная передача данных по планам опрыскивания и данных журналов, а также доступ к сайту «myjohndere» [4].

Автоматическое управление рулевым устройством, секциями штанги, а также их положением по высоте, процессами наполнения и ополаскивания на опрыскивателе Laser FC4240 фирмы «Теснома» осуществляется комплексным терминалом i.Top.

Среди систем контроля и управления процессом внесения известна система Field-IQ (компания «Trimble»), которая позволяет одновременно управлять нормами внесения до шести различных материалов, включая семена, гранулированные семена, гранулированные удобрения, жидкости и безводный аммиак в различных комбинациях. Для самоходных опрыскивателей в систему Field-IQ добавлена функция контроля высоты штанги, с помощью которой можно регулировать высоту штанг ультразвуковыми датчиками, измеряющими расстояние между землей или растительным покровом для равномерного внесения материала.

Система контроля высоты штанг Norac UC5 с помощью 5 ультразвуковых датчиков и гидравлических приспособлений, путем мониторинга рельефа земли или поверхности урожая, поддерживает постоянную высоту штанг. Управление секциями штанги осуществляется с помощью бортового компьютера, который запоминает траекторию движения техники и при помощи выключения различных секций штанги не допускает дублирования внесения материалов на пройденных участках. Оснащена функцией «крена» (определения угла наклона штанги), которая позволяет системе контролировать и компенсировать штангу в центре. Имеет возможность контроля «покачивания» штанги, что также позволяет проводить максималь-

но равномерную обработку растений [2, с. 49].

Электронное управление опрыскивателей с использованием установленной в кабине системы наведения на основе GPS обеспечивает прецизионное позиционирование почти сантиметровой точности, а точная дозировка средств защиты создает возможность оптимального охвата площади обработки. Внедрение более надежных систем стабилизации штанг, использование электронных средств автоматизации управления технологическим процессом, модернизация основных рабочих органов обеспечивают повышение производительности, качества внесения рабочей жидкости, улучшение условий труда и снижение экологической нагрузки на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сравнительные демонстрационные испытания опрыскивателей. Часть 1 // FarmMachineryJournal. 2016. № 25. С. 34–40.

2. Щеголихина Т. А., Гольяпин В. Я. Современные технологии и оборудование для систем точного земледелия: научно-аналитический обзор. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 80 с.

3. Agrifac Condor agricultural self-propelled sprayer [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agrifac.co.uk/condor/condor/condor> (дата обращения 24.04.2018).

4. Self-Propelled Sprayer. The thoroughbred [Электронный ресурс]. URL: https://www.deere.com/en_INT/products/equipment/sprayers/self_propelled_sprayers/r4040i/r4040i.page (дата обращения 24.04.2018).

REFERENCES

1. Sravnitel'nye demonstracionnye ispytaniya opryskivatelej. Chast' 1 // Farm Machinery Journal. 2016. № 25. pp. 34–40.

2. Shchegolihina T. A., Gol'tyapin V. YA. Sovremennyye tekhnologii i oborudovanie dlya system tochnogo zemledeliya: nauchno-analiticheskiy obzor. M. : FGBNU «Rosinformagrotekh», 2014. 80 p.

3. Agrifac Condor agricultural self-propelled sprayer [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.agrifac.co.uk/condor/condor/condor> (data obrashcheniya 24.04.2018).

4. Self-Propelled Sprayer. The thoroughbred [Elektronnyj resurs].
URL:
https://www.deere.com/en_INT/products/equipment/sprayers/self_propelled_sprayers/r4040i/r4040i.page (data obrashcheniya 24.04.2018).

Щеголихина Татьяна Алексеевна, научный сотрудник

Тел. 8-903-787-19-00

E-mail: totya190@mail.ru

Неменуцкая Людмила Алексеевна, старший научный сотрудник

Тел. 8-985-166-94-87

E-mail: nela-21@mail.ru

Коноваленко Людмила Юрьевна, старший научный сотрудник

Тел. 8-916-364-55-28

E-mail: lkon_73@mail.ru

УДК 631.81

А. А. МУСЕНКО, аспирант

А. А. БЕЛОВ, доктор техн. наук, ведущий научный сотрудник

А. Н. ВАСИЛЬЕВ, доктор техн. наук, профессор,

научный руководитель

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Российская
Федерация, г. Москва

A. A. MUSENKO, *Postgraduate*

A. A. BELOV, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor,
Senior Research Officer*

A. N. VASILJEV, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor,
Scientific Adviser*

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", Russian Federation, Moscow

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ ДЛЯ ПОЛИВА РАСТЕНИЙ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА

ELECTROHYDRAULIC WATER TREATMENT FOR IRRIGATION OF PLANTS OF THE CLOSED GROUND

***Аннотация.** Авторами выдвигается способ по повышению эффективности полива из-за активации водных растворов при помощи электрогидравлической обработки. Авторами создано устройство относящиеся к области использования в растениеводстве, одна из главных отраслей сельского хозяйства влияющая на экономическое развитие страны. Установка выполнена в виде цилиндрического резервуара, имеющий источник напряжения, конденсаторы, автотрансформатор, выпрямляющие элементы, пускорегулирующую аппаратуру. Представлена электрическая схема, служащая для монтажа и управления режимами электрогидравлической обработки, показано реальное исполнение устройства в качестве фотоматериала, разработана электрическая принципиальная схема.*

Ключевые слова: питательный раствор, разряд в жидкости, тепличные культуры, чашеобразный наконечник, электрогидравлический удар.

Abstract. The authors propose a method to improve the efficiency of irrigation due to the activation of aqueous solutions using electrohydraulic treatment. The authors created a device related to the field of use in crop production, one of the main branches of agriculture affecting the economic development of the country. The installation is made in the form of a cylindrical tank having a voltage source, capacitors, autotransformer, rectifying elements, start-up control equipment. A circuit diagram used for the installation and operation of electro-hydraulic processing, the real performance of the device as a photographic material, designed the electrical schematic diagram.

Keywords: nutrient solution, discharge in liquid, greenhouse cultures, Cup-shaped tip, electrohydraulic shock.

Достоинством электрогидравлических технологий составляет эффективность процессов, формирование экологически чистого продукта с минимальным воздействием на окружающую среду [1, с. 103–112]. Используя дешевое сырье можно повысить качественные, а также экономические показатели АПК [2, с. 22–28]. В данных технологиях используется принцип «электрогидравлического эффекта», когда электрическая энергия трансформируется в механическую, во время возникновения электрического разряда [5, с. 46–50]. Авторами изготовлено устройство для электрогидравлической обработки показано на рисунке 1.

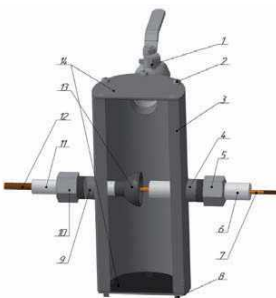


Рисунок 1 – Модель электрогидравлической установки

Форма выполнена в виде цилиндра, корпус 3 выполняет роль контейнера для погружения жидкости. Металлические крышки 14 закрепляются с помощью болтов 2, 8. Крышка расположенная сверху чаще всего изготавливается из органического стекла для отслеживания процесса (наблюдения). У резервуара имеются входные и выходные патрубки 1, устройство может работать при 2 режимах периодического и непрерывного. Для закрепления электродов изготовлены отверстия в которые вкручиваются втулки 4, 9. Электроды утапливаются при помощи гаек-заглушек 5 и 10. Изолятором служит капролон, электрическая прочность составляет которого 35 кВ/см. В качестве сырья применяется озерная и речная вода.

На рисунке 2 представлена схема электрическая принципиальная данного устройства.

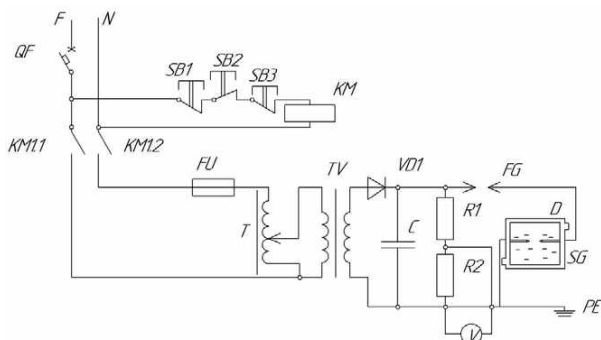


Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная установки

Схема состоит из магнитного пускателя *KM*, замыкающих контактов *KM 1.1* и *KM 1.2*, автоматического выключателя *QF*. В системе управления имеется кнопка пуск *SB1*, стоп *SB2*, блокиратор *SB3*. В схеме присутствует; *TV* – однофазный повышающий трансформатор, *VD* – выпрямляющий диод, *C* – высоковольтный конденсатор, *R1* и *R2* – делитель напряжения, *V* – вольтметр, *PE* – защитный ноль, *И* – искровой промежуток, *Ф* – формирующий промежуток.

Технологический процесс состоит в следующем, обосновывается на примере озерной воды. Жидкость заполняется до уровня превышающего электроды на 50 мм. Выявлено получение

разряда при 30 кВ при зазоре формирующего промежутка 10мм. Потверждено, что при данных режимах напряжения при использовании плоского диска или электрода с острием искровой разряд не формируется, нужно повышать напряжение. Наблюдается электрогидравлический эффект, происходит колебание воды, которая берет ускорение за счет образования кавитационных полостей при образовании сверхвысоких гидравлических давлений в области разряда [5, с. 49–55].

Проведены исследования по изменению электрической проводимости озерной воды, результаты показаны в таблицы 1 при напряжении 15 кВ. В соответствии с таблицей 1 получены исследования электрической проводимости при напряжении 38 кВ таблица 2. При напряжении 50 кВ исследования показаны в таблице 3.

Таблица 1 – Динамика электрической проводимости при 15 кВ

№ п/п	Источник воды	Количество разрядных импульсов								
		100	200	300	400	500	600	700	800	900
1	Озерная	258	260	261	262	263	264	265	266	267

Таблица 2 – Динамика электрической проводимости при 38 кВ

№ п/п	Источник воды	Количество разрядных импульсов								
		100	200	300	400	500	600	700	800	900
1	Озерная	258	270	273	276	277	280	285	287	289

Таблица 3 – Динамика электрической проводимости при 50 кВ

№ п/п	Источник воды	Количество разрядных импульсов								
		100	200	300	400	500	600	700	800	900
1	Озерная	258	272	274	277	281	284	286	290	294

Электропроводность измеряли в емкости, в которой возникало электрогидравлическое воздействие, используя измерительный прибор (датчик) Атлант 1200, в течение 1 минуты.

Анализ данных показывает, что усредненный рост находится в пределах 9,8 %. Также был измерен микробиологический анализ воды до обработки и после, который представлен в таблице 4.

Исследования проводили в лаборатории при температуре 25 °С. температура образца составляла 25 °С, объем образца 2,5 л. Были подобраны таеи параметры; напряжение, находилось в пределах 40

кВ, конденсаторная батарея была 0,2 мкФ, формирующий промежуток выставлялся 15 мм, рабочий промежуток был выбран 8 мм, электроды были изготовлены имеющие форму острие-диск (диаметр диска был выточен 66 мм), частота разрядов имела 3 Гц, количество разрядов было 500 шт., и 1000 шт.

Таблица 4 – Результаты измерений микробиологической загрязненности воды

№ п/п	№ варианта	Уровень АТФ, RLU
1	Контроль	10
2	500 ЭГ-разрядов	8
3	1000 ЭГ-разрядов	6

Для определения уровня гигиены воды был использован люминометр EnSURE (Hygiene) [3]. Прибор только работает в комплексе с пробирками-тестерами, который определяет общее число АТФ в воде рисунок 3.



Рисунок 3 – Измерение микробиологическокого показателя

Величина АТФ прямо пропорционально от степени микробной обсемененности и органического загрязнения. Количество АТФ показывает величину общего микробного числа, а, следовательно - свидетельствует об уровне гигиены.

В результате электрогидравлической обработки жидкости, уменьшается патогенная микрофлора, повышается электропроводность, одним устройством возможно управлять несколькими операциями [4, с. 4705–4714].

Площадь отрицательного электрода составляет – 1700 мм², максимальные зазоры, которые возможно выставить от 5...20 мм, рабочее напряжение 15...50 кВ, емкость 0,1...0,2 мкФ. Производительность установки составляет 300 л/ч.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Белов А. А.** Моделирование оценки факторов влияния на процесс электрогидравлической обработки воды // Вестник НГИЭИ, 2018. № 11 (90). С. 103–112.

2. **Белов А. А., Топорков В. Н., Васильев А. Н.** Планирование и проведение отсеивающего эксперимента по исследованию получения удобрений при электрогидравлической обработке растворов // Международный технико-экономический журнал. 2018. № 5. С. 22–28.

3. Люминометры EnSURE [Электронный ресурс]. URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/56653-14-en-sure-60496> (дата обращения: 18.06.2019 г.).

4. **Leitner NKV, Syoen G, Romat H, Urashima K, Chang JS.** Generation of active entities by the pulsed arc electrohydraulic discharge system and application to removal of atrazine, Water Research, 2005. vol. 39. No. 19. pp. 4705–4714.

5. **Мусенко А. А.** Применение электрогидравлических технологий в сельском и народном хозяйстве // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 1(30). С. 46–50.

6. **Топорков В. Н.** Электротехнологический метод получения удобрения из почвы и воды для теплиц, ЛПХ и мелкоземельных фермерских хозяйств // Вестник ВИЭСХ. 2017. № 3 (28). С. 49–55.

REFERENCES

1. **Belov A. A.** Modelirovanie ocenki factorov vliyaniya na process electrogidravlicheskoj obrabotki vody // Vestnik NGIEI. 2018. № 11 (90). С. 103–112.

2. **Belov A. A., Toporkov V. N., Vasiliev A. N.** Planirovanie i provedenie otseivaushogo experimenta po issledovaniyu polucheniya udobrenij pri electrogidravlicheskoj obrabotke rastvorov // Mezhdunarodnij tehniko-economicheskij zhurnal. 2018. № 5. С. 22–28.

3. Luminometri EnSURE [Elektronnyiy resurs]. URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/56653-14-en-sure-60496> (data obrascheniya: 18.06.2019 g.).

4. **Leitner NKV, Syoen G, Romat H, Urashima K, Chang JS.** Generation of active entities by the pulsed arc electrohydraulic discharge

system and application to removal of atrazine, Water Research, 2005. vol. 39. No. 19. pp. 4705–4714.

5. **Мусенко А. А.** Primenenie elektrogidravlicheskih tehnologij v sel'skom i narodnom hozyajstve // Innovacii v sel'skom hozyajstve, 2019. № 1(30). Pp. 46–50.

6. **Топорков В. Н.** Elektrotehnologicheskij metod polucheniya udobreniya iz pochvi I oid dlya teplic, LPH I melkozemel'nih fermer-skih hozyajstv // Vestnik VIESH. 2017. № 3 (28). Pp. 49–55.

Мусенко Андрей Анатольевич, аспирант

Тел. 8-951-821-00-58

E-mail: iier4uk@mail.ru

Васильев Алексей Николаевич, доктор техн. наук,
профессор, научный руководитель

Тел. 8-925-132-96-13

E-mail: vasilyev-viesh@inbox.ru

Белов Александр Анатольевич, доктор техн. наук,
ведущий научный сотрудник

Тел. 8-915-197-35-21

E-mail: restrok@mail.ru

С. В. КИЛИН, преподаватель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», Российская Федерация, Белгородский регион, поселок Майский

S. V. KILIN, Lecturer

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin”, Russian Federation, Maysky settlement, Belgorod region

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

METHODS OF PROTECTION AGAINST ATMOSPHERIC OVERVOLTAGE

***Аннотация.** В статье приведены способы защиты используемые для защиты оборудования от атмосферных перенапряжений. Опыт эксплуатации современной техники показывает, что число и опасность грозовых нарушений в системах электроснабжения резко возрастает при массовом внедрении микропроцессорной техники в системы управления, автоматики и релейной защиты. Молниезащита представляет собой комплекс мер, направленных на предотвращение прямого удара молнии в объект или на устранение опасных последствий, связанных с прямым ударом. Защита зданий и сооружений от прямых ударов молнии осуществляется с помощью молниеотводов. Комплексные меры по молниезащите, выполненные согласно действующим нормативам, обеспечивают безопасность при эксплуатации многочисленных объектов и систем, строений и инженерных коммуникаций. Для обеспечения постоянной надежности работы устройств молниезащиты ежегодно перед началом грозового сезона производится проверка и осмотр всех элементов молниезащиты.*

***Ключевые слова:** молниезащита, перенапряжения, молния, гроза, заземление, молниеотвод.*

Abstract. *The article presents the methods of protection used to protect the equipment from atmospheric overvoltage. The experience of operation of modern equipment shows that the number and danger of lightning disturbances in power supply systems increases dramatically with the mass introduction of microprocessor technology in control systems, automation and relay protection. Lightning protection is a set of measures aimed at preventing a direct lightning strike into an object or at eliminating the dangerous consequences associated with a direct strike. Protection of buildings and structures from direct lightning strikes is carried out by means of lightning rods. Comprehensive measures for lightning protection, made in accordance with applicable standards, ensure safety in the operation of numerous facilities and systems, buildings and utilities. To ensure the constant reliability of lightning protection devices every year before the storm season is checked and inspected all elements of lightning protection.*

Keywords: *lightning protection, overvoltage, lightning, thunderstorm, grounding, lightning rod.*

Опыт эксплуатации практически всех видов современной техники показывает, что число и опасность грозовых нарушений резко возрастает при массовом внедрении микропроцессорной техники в системы управления, автоматики и релейной защиты. В электроэнергетике такие средства локализованы, главным образом, на ПС, в первую очередь, – цифровых [5, с. 119], что и вынуждает пересматривать методологические основы их молниезащиты и обеспечение электромагнитной совместимости [4, с. 119].

Атмосферные перенапряжения возникают в электрических установках при грозовых разрядах. Они делятся на внешние и внутреннее. Наибольшую опасность представляют собой прямые удары молнии в линию электропередачи или в оборудование, установленное на подстанции.

Молниезащита представляет собой комплекс мер, направленных на предотвращение прямого удара молнии в объект или на устранение опасных последствий, связанных с прямым ударом; к этому комплексу относятся также средства защиты, предохраняющие объект от вторичных воздействий молнии и заноса высокого потенциала.

Разряд молнии во время грозы представляет собой электрический взрыв, который сопровождают световые вспышки и раскаты грома. Для **прямого удара молнии** характерны опасные поражающие воздействия – механическое и термическое: повреждение инженерного оборудования, разрушение зданий и сооружений, пожары и взрывы. При отсутствии защиты термическое воздействие молнии вызывает нагрев конструкции здания и возгорание при наличии в ней горючего материала.

Мощные импульсы электромагнитного излучения становятся причиной повреждения информационных и вычислительных устройств, систем автоматики, управления и связи. Прямой или близкий, в радиусе до 1 км, удар молнии провоцирует возникновение **вторичных проявлений**. При этом электрический потенциал заносится по металлическим трубопроводам и проводам систем электроснабжения. Его сопровождают импульсы перенапряжения до 100 кВ, создающие помехи в работе высокочувствительного оборудования. Таким образом, электрооборудование выходит из строя, происходят сбои в работе автоматизированных систем и баз данных. Изоляция электрической проводки может получить повреждения или загореться [1, с. 5].

Молниезащита содержит токопроводящие элементы, комплектующие для стыковки между собой и фиксации на плоскости. Вместе они принимают разряд молнии. Прутки и полосы из специальных металлов отводят электрический ток, после чего происходит его растекание в слое грунта. Таков принцип работы заземления молниезащиты. Между высочайшей точкой объекта и землей создается электрическая цепь с низким значением Ом, она определяет защитное действие всей системы.

Защита зданий и сооружений от прямых ударов молнии осуществляется с помощью молниеотводов (тросовых, стержневых, сетчатых, комбинированных) [2, с. 6].

Электрические установки на подстанциях защищают от прямых ударов молнии вертикальными молниеотводами (стержнями), а линии электропередач горизонтальными.

Вертикальный молниеотвод представляет собой высокий объект, на котором устанавливается молниеприемник соединенный с заземляющим устройством. Горизонтальный представляет собой провод, расположенный над фазными линиями на опорах ЛЭП. Чем

выше над защищаемым объектом расположен молниеприемник, тем больше его защитная зона, в которой с большей долей вероятности молния ударит именно в молниеприемник, а не в защищаемый объект.

Тросовые молниеотводы выполняют защиту линий на всей протяженности троса.

Для отвода токов разряда молнии в землю молниеотводы соединены с заземляющими устройствами (заземлителями). Заземлители выполняются из стальных труб или уголков. Сопротивление заземлителей опор ЛЭП должно составлять не более 30 Ом, а сопротивление ЗУ на подстанции не более 0,5 Ом [3, с. 56].

Молниезащита зданий и сооружений осуществляется как тросовыми, так и стержневыми молниеотводами. Широко используются сетчатые молниеотводы, накладываемые на защищаемые объекты и соединенные с заземляющим устройством. Защитное действие сетчатых молниеотводов аналогично действию обычного молниеотвода.

При защите промышленных зданий и сооружений молниезащитными тросами тросы располагаются над защищаемым объектом вдоль его длинной стороны. Молниезащитный трос крепится на металлических заземляемых опорах, располагаемых по торцам объекта.

Основными документами регламентирующими устройство молниезащиты являются:

1. ПУЭ раздел «Заземление. Защита от перенапряжений»;
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений РД 34.21.122-87;
3. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО 153-34.21.122-2003;
4. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. РД 153-34.3-35.125-99;
5. ГОСТ Р 50571-4-44-2011 «2011 Электроустановки низковольтные. Требования по обеспечению безопасности. Защита от скачков напряжения и электромагнитных помех»;
6. ГОСТ Р 51992-2011 (МЭК 61643-1-2005) «Устройства для защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Технические требования и методы испытаний».

Комплексные меры по молниезащите, выполненные согласно действующим нормативам, обеспечивают безопасность при эксплу-

атации многочисленных объектов и систем, строений и инженерных коммуникаций. Крайне желательно принять меры по защите конструкций из горючих материалов, пожароопасных или размещенных на возвышенности сооружений, высоких строений. Следует надежно защитить сооружения, в которых размещается оборудование, если оно чувствительно к импульсным помехам и резким скачкам напряжения. Комплексные защитные меры позволяют минимизировать негативные воздействия прямого удара и последствий грозы.

Эксплуатация и проверка системы молниезащиты.

Грозовой сезон начинается, когда возникают условия формирования грозовых облаков, способных накапливать электрические разряды. На большинстве территории России грозовой сезон начинается 15 апреля и заканчивается 15 ноября.

Для обеспечения постоянной надежности работы устройств молниезащиты ежегодно перед началом грозового сезона производится проверка и осмотр всех элементов молниезащиты [3, с. 202, 324].

Проверки элементов систем молниезащиты проводятся при внесении различных изменений в систему молниезащиты или при повреждении объектов, находящихся в зоне защиты молниеприемника.

Во время осмотра и проверки необходимо:

1. Произвести визуальный осмотр целостности молниеприемника, частей токоотводов, молниеприемной сетки, надежность их соединения и крепления к мачтам;
2. Выявить элементы устройств молниезащиты, требующие замены или ремонта;
3. Проверить надежность электрических соединений между токоведущими частями всех элементов устройств молниезащиты;

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТа Р МЭК 62305-1-2010 «Защита от молнии» Часть 1 Общие принципы М. : Стандартинформ, 2011. 45 с.
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. М. : Из-во МЭИ, 2004. 56 с.
3. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 7-й выпуск. Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007.

4. **Соловьев С. В., Буковцов Д. В.** Проблемы электромагнитной совместимости на подстанции 110/6 кВ «Строитель» // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения материалы международной научно-практической конференции. Воронеж : ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2018. С. 118–121.

5. **Яковлев А. О.** Особенности применения цифровых подстанций // Материалы XXIII Международной научно-производственной конференции, «Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее» 28–29 мая 2019 года Т. 1. Майский : ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2019. С. 119–120.

REFERENCES

1. GOSTa R ME`K 62305-1-2010 «Zashhita ot molnii» Chast` 1 Obshhie principy` M. : Standartinform. 2011. 45 p.

2. Instrukciya po ustrojstvu molniezashhity` zdaniy, sooruzhenij i promy`shlenny`x kommunikacij. M. : Iz-vo ME`I, 2004. 56 p.

3. Pravila ustrojstva e`lektroustanovok: Vse dejstvuyushhie razdely` PUE`-6 i PUE`-7. 7-j vy`pusk. Novosibirsk : Sib. univ. izd-vo, 2007.

4. **Solov`yov S. V., Bukovczov D. V.** Problemy` e`lektromagnitnoj sovmestimosti na podstancii 110/6 kV «Stroitel`» // Nauka i obrazovanie na sovremennom e`tape razvitiya: opy`t, problemy` i puti ix resheniya materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Voronezh: FGBOU VO «Voronezhskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni imperatora Petra I», 2018. pp. 118–121.

5. **Yakovlev A. O.** Osobennosti primeneniya cifrovy`x podstancij // Materialy` XXIII Mezhdunarodnoj nauchno-proizvodstvennoj konferencii, «Innovacionny`e resheniya v agrarnoj nauke – vzglyad v budushhee» 28-29 maya 2019 g. T. 1. Majsij: FGBOU VO Belgorodskij GAU, 2019. pp. 119–120.

Килин Станислав Витальевич, преподаватель

Тел. 8-920-561-09-74

E-mail: Kilin.St87@yandex.ru

С. В. ВЕНДИН, доктор техн. наук, профессор

А. Ю. МАМОНТОВ, аспирант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», Российская Федерация, Белгородский регион, п. Майский

S. V. VENDIN, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

A. Yu. MAMONTOV, *Postgraduate*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin", Russian Federation, Maysky settlement, Belgorod region

К РАСЧЕТУ МОЩНОСТИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ (СТОРОННИХ) ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО БИОГАЗОВОГО РЕАКТОРА

TO THE CALCULATION OF THE POWER OF ADDITIONAL (THIRD-PARTY) HEAT SOURCES FOR A CYLINDRICAL BIOGAS REACTOR

Аннотация. Приведены результаты теоретических исследований по оценке мощности дополнительных (сторонних) источников теплоты для подогрева сырья в биогазовом реакторе. Расчетные зависимости по оценке мощности сторонних источников теплоты для рассмотренной физической модели были получены на основе решения уравнения теплопроводности Фурье в слоистых средах. Рассматривалась одномерная задача. На наружной поверхности стенки принимались граничные условия третьего рода. Между внутренней поверхностью стенки и внутренним объемом биомассы внутри реактора обеспечивались условия сопряжения температурных полей и тепловых потоков четвертого рода. Представлены расчетные зависимости мощности дополнительных (сторонних) источников теплоты с учетом допустимых перепадов температур, геометрических размеров реактора и теплофизических характеристик биогазовой среды и материала стенки биореактора.

Ключевые слова: мощность, источники теплоты, биогаз, биореактор, температурное поле.

Abstract. *The results of theoretical studies on estimating the power of additional (third-party) heat sources for heating raw materials in a biogas reactor are presented. The calculated dependences for estimating the power of external heat sources for the considered physical model were obtained on the basis of solving the Fourier heat equation in layered media. A one-dimensional problem was considered. On the outer surface of the wall, boundary conditions of the third kind were adopted. Between the inner surface of the wall and the internal volume of biomass inside the reactor, the conditions of conjugation of temperature fields and heat flows of the fourth kind were provided. The calculated dependences of the power of additional (third-party) heat sources are presented taking into account the permissible temperature differences, the geometric dimensions of the reactor and the thermophysical characteristics of the biogas medium and the bioreactor wall material.*

Keywords: *power, heat sources, biogas, bioreactor, temperature field.*

При переработке органических отходов в биогаз необходимо учитывать особенности конструкции оборудования, состав сырья и технологические режимы его сбраживания [1–3, 8–9]. При этом выделяют психрофильный (20–25 °С), мезофильный (25–40 °С) и термофильный (свыше 40 °С) режимы сбраживания.

Технологическим регламентом необходимо также выдерживать определенные требования по колебаниям температуры в течение определенного времени, которые в зависимости от рекомендуемых режимов могут составлять от $\pm 0,5$ °С в час (при термофильном режиме) до ± 2 °С в час (при психрофильном режиме) [8]. Диапазон изменения температуры определяется конкретной температурой при брожении.

При недостатке теплоты, производимой во время химической реакции брожения, для обеспечения технологического режима используют дополнительные (сторонние) источники теплоты. Это могут быть различные теплообменные аппараты или электрические нагреватели (ТЭНы). Проблема состоит в правильном выборе мощности дополнительных источников теплоты.

Сбраживание органического сырья осуществляется в биогазовых реакторах, простейшая конструкция которых представляет цилиндрическую емкость, оснащенную перемешивающими устройствами, а также устройствами подачи свежего сырья, отбора биогаза и выгрузки отработанного сырья.

Для математической постановки задачи физическую модель биореактора можно представить в виде сплошного цилиндра радиусом R_1 (рабочий объем реактора) и высотой H , окруженного цилиндрической оболочкой (стенкой) с толщиной Δ . При этом наружный радиус конструкции будет равен $R_2 = R_1 + \Delta$.

Мощность дополнительных (сторонних) источников теплоты, которые можно расположить внутри рабочего объема реактора будет зависеть от распределения температурного поля внутри конструкции и условий теплообмена снаружи. Технологический диапазон изменения температуры при сбраживании в первом приближении можно определить как разницу значений температурного поля между центром биореактора $T_1(0)$ и у внутренней стенки биореактора $T_1(R)$.

Расчетные зависимости по оценке мощности сторонних источников теплоты для рассмотренной физической модели были получены на основе решения уравнения теплопроводности Фурье в слоистых средах [4–5, 8–9]. Рассматривалась одномерная задача. На наружной поверхности стенки принимались граничные условия третьего рода. Между внутренней поверхностью стенки и внутренним объемом биомассы внутри реактора обеспечивались условия сопряжения температурных полей и тепловых потоков четвертого рода.

В результате теоретического анализа было установлено, что для обеспечения разницы температур $\Delta T_1 = T_1(0) - T_1(R)$ при равномерном распределении внутри рабочего объема биореактора мощность дополнительных (сторонних) источников теплоты будет определяться выражением

$$P = 4\pi\lambda_1 H \Delta T_1. \quad (1)$$

где λ_1 – коэффициент теплопроводности биогазовой среды; H – высота реактора.

Из выражения (1) следует, что при равномерном распределении внутри рабочего объема биореактора мощность, необходимая

для обеспечения разницы температур ΔT_1 не зависит от радиуса рабочего объема биореактора R_1 и определяется такими параметрами, как теплопроводность биомассы λ_1 и высота биореактора H .

Результаты расчетов мощности для различных значений высоты биореактора в диапазоне от 1 до 5 м при теплопроводности биомассы $\lambda_1 = 0,6 \text{ Вт/(м·К)}$ показана на рисунке 1.

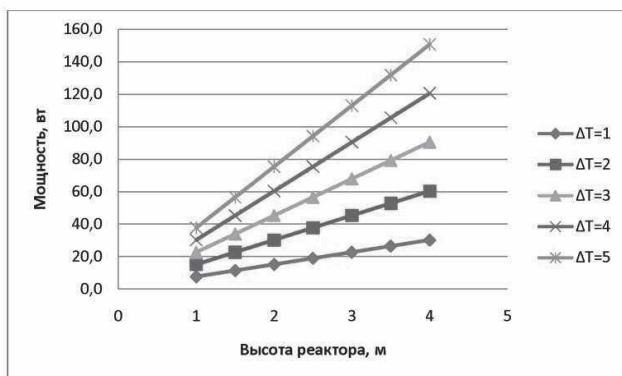


Рисунок 1 – Мощность дополнительных (сторонних) источников теплоты в зависимости от высоты реактора H

Следующим важным моментом является поддержание оптимальных температур внутри реактора с учетом наружной температуры (окружающей среды) T_c , в зависимости от теплофизических свойств стенки λ_2 , толщины стенки $\Delta = R_2 - R_1$ и интенсивности теплообмена α .

Если принять нормируемой (критической) температурой температуру на оси реактора $T_{кр} = T_1(0)$, то требуется определить мощность дополнительных (сторонних) источников теплоты с учетом разницы температур $\Delta T = T_1(0) - T_c$.

Проведенный анализ показал, что в этом случае мощность дополнительных (сторонних) источников теплоты будет определяться согласно выражению

$$P = 4\pi\lambda_1 H \Delta T F(R_1, \Delta, \lambda_2, \alpha), \quad (2)$$

где $F(R_1, \Delta, \lambda_2, \alpha)$ – безразмерная функция, учитывающая свойства стенки и условия теплообмена.

Результаты расчетов мощности равномерно распределенных внутри рабочего объема биореактора дополнительных (сторонних) источников теплоты при изменении толщины кирпичной стенки Δ и наружной температуры воздуха T_c приведены на рисунке 2.

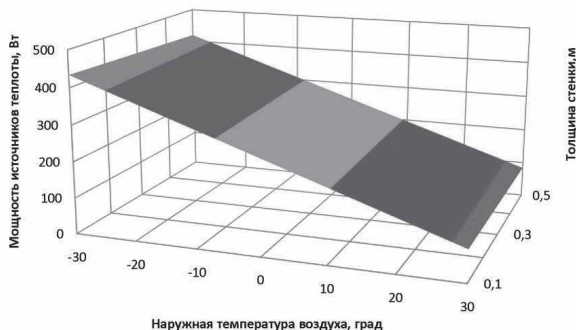


Рисунок 2 – Мощность дополнительных (сторонних) источников теплоты при изменении толщины кирпичной стенки Δ и наружной температуры воздуха T_c

Характер представленной поверхности указывает на то, что необходимая мощность практически не зависит от толщины стенки реактора Δ , но существенно зависит от температуры наружной среды вне реактора T_c .

Выводы

1. Получены аналитические соотношения оценки мощности равномерно распределенных внутри рабочего объема биореактора дополнительных (сторонних) источников теплоты для подогрева массы в биореакторе цилиндрической формы.

2. В результате теоретических исследований установлено, что необходимая для обеспечения разницы температур ΔT_1 не зависит от радиуса рабочего объема биореактора R_1 и определяется такими параметрами, как теплопроводность биомассы λ_1 и высота биореактора H .

3. Необходимая мощность дополнительных (сторонних) источников теплоты практически не зависит от толщины стенки реактора Δ , но существенно зависит от температуры наружной среды вне реактора T_c .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Вендин С. В., Мамонтов А. Ю.** Электрооборудование биогазового реактора // Сельский механизатор. 2017. № 5. С. 26–27.
2. **Вендин С. В., Мамонтов А. Ю., Каплин А. В.** Программа расчета геометрических и конструкционных параметров биогазового реактора // Промышленная энергетика. 2017. № 3. С. 51–55.
3. **Вендин С. В., Мамонтов А. Ю.** Расчет мощности дополнительных источников теплоты для подогрева биомассы в биогазовом реакторе // Вестник Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова. 2017. № 7. С. 97–99.
4. **Вендин С. В.** К расчету нестационарной теплопроводности в многослойных объектах при граничных условиях третьего рода // ИФЖ. 1993. Т. 65, № 8. С. 249–251.
5. **Вендин С. В., Щербинин И. А.** К решению задач нестационарной теплопроводности в слоистых средах // Вестник Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова. 2016. № 3. С. 96–99.
6. **Vendin S. V.** Calculation of nonstationary heat conduction in multilayer objects with boundary conditions of the third kind / Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 1993. Т. 65. № 2. С. 823.
7. **Vendin S. V.** On the Solution of Problems of Transient Heat Conduction in Layered Media // International Journal of Environmental and Science Education. 2016. Т. 11. № 18. С. 12253–12258.
8. **Садчиков А. В., Кокарев Н. Ф.** Оптимизация теплового режима в биогазовых установках // Фундаментальные исследования. 2016. № 2-1. С. 90–93.
9. **Трахунова И. А., Халитова Г. Р., Караева Ю. В.** Эффективность процесса анаэробного сбраживания при различных режимах гидравлического перемешивания // Альтернативная энергетика и экология. 2011. № 10. С. 90–94.

REFERENCES

1. **Vendin S. V., Mamontov A. YU.** Elektrooborudovaniye biogazovogo reaktora // Sel'skiy mekhanizator. 2017. № 5. pp. 26–27.
2. **Vendin S. V., Mamontov A. YU., Kaplin A. V.** Programma rascheta geometricheskikh i konstruktsionnykh parametrov biogazovogo

реактора // *Promyshlennaya energetika*. 2017. № 3. pp. 51–55.

3. **Vendin S. V., Mamontov A. YU.** Raschet moshchnosti dopolnitel'nykh istochnikov teploty dlya podogreva biomassy v biogazovom reaktore // *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2017. № 7. pp. 97–99.

4. **Vendin S. V.** K raschetu nestatsionarnoy teploprovodnosti v mnogosloynnykh ob"yektakh pri granichnykh usloviyakh tret'yego roda // *IFZH*. 1993. T. 65, № 8. C. 249–251.

5. **Vendin S. V., Shcherbinin I. A.** K resheniyu zadach nestatsionarnoy teploprovodnosti v sloistykh sredakh // *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova*. 2016. № 3. pp. 96–99.

6. **Vendin S. V.** Calculation of nonstationary heat conduction in multilayer objects with boundary conditions of the third kind/ *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 1993. T. 65. № 2. S. 823.

7. **Vendin S. V.** On the Solution of Problems of Transient Heat Conduction in Layered Media // *International Journal of Environmental and Science Education*. 2016. T. 11. № 18. C. 12253–12258.

8. **Sadchikov A. V., Kokarev N. F.** Optimizatsiya teplovogo rezhima v biogazovykh ustanovkakh // *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2016. № 2-1. pp. 90–93.

9. **Trakhunova I. A., Khalitova G. R., Karayeva YU. V.** Effektivnost' protsessa anaerobnogo sbrazhivaniya pri razlichnykh rezhimakh gidravlicheskogo peremeshivaniya // *Al'ternativnaya energetika i ekologiya*. 2011. № 10. pp. 90–94.

Вендин Сергей Владимирович, доктор техн. наук, профессор,

заведующий кафедрой

Тел. 8-906-603-55-64

E-mail: elapk@mail.ru

Мамонтов Артем Юрьевич, аспирант

Тел. 8-920-594-04-50

E-mail: ligaman999@mail.ru

С. В. ВЕНДИН, доктор техн. наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», Российская Федерация, Белгородский регион, п. Майский

S. V. VENDIN, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin", Russian Federation, Maysky settlement, Belgorod region

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ СВЧ ОБРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

ON THE ISSUE OF CHOOSING THE EFFECTIVE FREQUENCY FOR MICROWAVE PROCESSING OF THE TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT

***Аннотация.** Рассмотрено решение электродинамической задачи падения плоской электромагнитной волны на полубесконечную среду с диэлектрическими потерями. Получены аналитические выражения для расчета напряженности электрического поля в технологической среде при СВЧ обработке. Полученные зависимости учитывают свойства среды, параметры электромагнитной волны, а также отражение ЭМП от границы раздела сред и ослабление амплитуды напряженности электрического поля при прохождении технологической среды. Предложено аналитическое выражение для функции передачи электромагнитной волны на глубину. Предложено аналитическое выражение коэффициента эффективности для выбора частоты источника электромагнитного излучения с учетом параметров среды и глубины проникновения электромагнитной волны.*

***Ключевые слова:** электромагнитное поле, СВЧ, напряженность электрического поля, глубина проникновения, коэффициент ослабления, диэлектрические потери, микроволновый нагрев.*

Abstract. *The solution of the electrodynamic problem of the incidence of a plane electromagnetic wave onto a semi-infinite medium with dielectric losses is considered. Analytical expressions are obtained for calculating the electric field in a process medium during microwave processing. The obtained dependencies take into account the properties of the medium, the parameters of the electromagnetic wave, as well as the reflection of the electromagnetic field from the interface of the media and the weakening of the amplitude of the electric field when passing through the technological medium. An analytical expression is proposed for the function of transmitting an electromagnetic wave to a depth. An analytical expression of the efficiency coefficient is proposed for choosing the frequency of the electromagnetic radiation source, taking into account the parameters of the medium and the penetration depth of the electromagnetic wave.*

Keywords: *electromagnetic field, microwave, electric field strength, penetration depth, attenuation coefficient, dielectric loss, microwave heating.*

На практике технологическая электромагнитная СВЧ обработка (микроволновый нагрев) часто связана с обработкой неоднородной среды или среды с дисперсными включениями (семена сорных растений или вредителей в почве, насекомые в зерновой среде и др.) [1, 2].

Для эффективности СВЧ обработки весьма важно определить условия, влияющие на характер распределения напряженностей электромагнитных полей, которые часто зависят от определяющих размеров длины электромагнитной волны и размеров объекта.

Классический подход в электродинамике предполагает, что ослабление амплитуды электромагнитной волны в среде с потерями пропорционально коэффициенту ослабления α , амплитуда передаваемой мощности на глубину $z = d$ уменьшается в $2\alpha d$ раз [3]. В тоже время отражение и преломление электромагнитных волн на границе раздела сред рассматриваются отдельно от контекста эффективности технологической обработки среды.

Отметим, если размеры включений в сплошной среде будут намного меньше длины волны излучаемой источником, то условно эту среду можно рассматривать однородной с усредненными параметрами. В этом случае на первом этапе следует рассмотреть рас-

пространение электромагнитной волны при переходе из воздуха в обрабатываемую среду, т. е. из среды «0» в среду «I». Эта задача является классической, решение ее можно встретить в различной литературе [3].

Для упрощения электромагнитную волну будем полагать монохроматической, плоской и линейно-поляризованной, которая падает перпендикулярно поверхности среды. Расчетная схема представлена на рисунке 1.

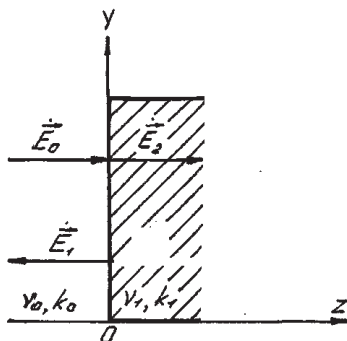


Рисунок 1 – Расчетная схема электромагнитной волны

В наших обозначениях по рисунку 1 будем считать, что электрический вектор \vec{E} поляризован вдоль оси «y», а ЭМВ распространяется вдоль оси «z».

Из теории переменного электромагнитного поля известно, что напряженности электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей взаимосвязаны между собой и образуют взаимно перпендикулярные векторы.

Поэтому при анализе часто используют введение комплексного электромагнитного вектора \vec{M} связывающего электрическое и магнитное поле в соответствии с равенством [3]:

$$\vec{M} = \vec{H} \pm i\nu\vec{E}, \quad (1)$$

где ν – характеристическая проводимость среды:

$$\left[\frac{(\varepsilon\omega - i\sigma)}{\mu\omega} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

ε – диэлектрическая проницаемость среды; σ – электрическая проводимость среды; μ – магнитная проницаемость среды; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота ЭМВ; f – частота ЭМВ.

При этом комплексный электромагнитный вектор $\dot{\vec{M}}$ должен удовлетворять равенствам:

$$\text{rot} \dot{\vec{M}} = \pm k \dot{\vec{M}}, \quad (3)$$

$$\text{div} \dot{\vec{M}} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{d\dot{\vec{M}}}{dx} = \frac{d\dot{\vec{M}}}{dy} = 0, \quad (5)$$

где $k = \mu\omega\nu$ – коэффициент распространения ЭМВ.

Уравнение (3) с учетом (4), (5) и оператора Лапласа ∇^2 преобразуется к виду:

$$\frac{d^2 \dot{\vec{M}}}{dx^2} + k^2 \dot{\vec{M}} = 0. \quad (6)$$

При решении уравнения (6) для напряженностей электрического $\dot{\vec{E}}$ и магнитного $\dot{\vec{H}}$ полей в каждом слое в соответствии с рисунком 1 получают следующие выражения:

при $-\infty < z \leq 0$

$$\dot{\vec{E}}_{y0} = \dot{\vec{E}}_0 e^{ik_0 z} + \dot{\vec{E}}_1 e^{-ik_0 z}; \quad (7)$$

$$\dot{\vec{H}}_{x0} = -\nu_0 [\dot{\vec{E}}_0 e^{ik_0 z} - \dot{\vec{E}}_1 e^{-ik_0 z}]; \quad (8)$$

при $0 \leq z < \infty$

$$\dot{\vec{E}}_{y1} = \dot{\vec{E}}_2 e^{ik_1 z}; \quad (9)$$

$$\dot{\vec{H}}_{x1} = -\nu_1 [\dot{\vec{E}}_2 e^{ik_1 z}], \quad (10)$$

где $\dot{\vec{E}}_0, \dot{\vec{E}}_1, \dot{\vec{E}}_2$ – соответственно модули комплексных напряженностей электрического поля падающей, отраженной и прошедшей в среду ЭМВ.

Индексы « x », « y » указывают вдоль какой оси поляризован вектор напряженности поля. Знак $(-)$ в выражении для $\dot{\vec{H}}_x$ указывают на то, что при такой поляризации ЭМВ вектор $\dot{\vec{H}}$ направлен в сторону, противоположную оси x . Коэффициенты при функции $e^{ik_1 z}$ соответствуют падающей ЭМВ, а коэффициенты при функциях

$e^{-ik_1 z}$ соответствуют отраженной ЭМВ.

С учетом непрерывности касательных составляющих напряженностей $\dot{\vec{E}}$ и $\dot{\vec{H}}$ значения \dot{E}_1 и \dot{E}_2 однозначно определяются через комплексную напряженность падающей ЭМВ \dot{E}_0 :

$$\dot{E}_1 = -\dot{E}_0 \frac{v_1 - v_0}{v_1 + v_0}; \quad (11)$$

$$\dot{E}_2 = -\dot{E}_0 \frac{2v_0}{v_1 + v_0}. \quad (12)$$

Окончательно выражения для \dot{E}_{y1} и \dot{H}_{x1} имеют вид:

$$\dot{E}_{y1} = -\dot{E}_0 \frac{2v_0}{v_1 + v_0} e^{ik_1 z}; \quad (13)$$

$$\dot{H}_{x1} = -\dot{E}_0 \frac{2v_0 v_1}{v_1 + v_0} e^{ik_1 z}. \quad (14)$$

Коэффициент распространения k может быть представлен в виде комплексного числа $k = \beta + i\alpha$. Тогда с учетом равенства $k = \mu\omega v$ аппроксимации на сверхвысоких частотах по формулам [3]:

$$k = \beta + i\alpha; \quad (15)$$

$$\beta \approx 2\pi \sqrt{\frac{\varepsilon_r}{\lambda}}; \quad (16)$$

$$\alpha \approx 188,4 \frac{\sigma}{\sqrt{\varepsilon_r}}, \quad (17)$$

где λ – длина ЭМВ в вакууме, м

Выражение для расчета напряженности электрического поля в глубине среды имеет вид:

$$\dot{E}_{y1} = \dot{E}_0 \psi(\lambda) e^{-a_1 z} e^{i\beta_1 z}, \quad (18)$$

где $\psi(\lambda)$ – комплексная функция зависящая от длины ЭМВ:

$$\psi(\lambda) = K(\lambda) e^{-i\varphi(\lambda)}, \quad (19)$$

где $K(\lambda)$, $\varphi(\lambda)$ – соответственно функции амплитуды и фазы.

С учетом электрофизических характеристик воздуха ($\epsilon_{r0} = 1$, $\sigma_0 = 0$, $\mu_{r0} = 1$) для $K(\lambda)$ и $\varphi(\lambda)$ имеем расчетные формулы:

$$K(\lambda) = \frac{2}{\sqrt{\left(1 + \sqrt{\epsilon_{r1}}\right)^2 + \left(\frac{30\lambda\sigma_1}{\sqrt{\epsilon_{r1}}}\right)^2}}; \quad (20)$$

$$\varphi(\lambda) = \arctg \left[\frac{30\lambda\sigma_1}{\left((1 + \sqrt{\epsilon_{r1}})\sqrt{\epsilon_{r1}}\right)} \right]. \quad (21)$$

Окончательно для \dot{E}_{y1} можем записать

$$\dot{E}_{y1} = \dot{E}_0 K(\lambda) e^{-a_1 z} e^{i[\beta_1 - \varphi(\lambda)]z}. \quad (22)$$

Выражение (22) показывает, что напряженность электрического поля в глубине среды зависит не только от электрофизических параметров, но и от длины электромагнитной волны λ . При этом имеет место фазовый сдвиг излучаемой волны $\varphi(\lambda)$.

Напряженность электрического поля на глубине $z = d$ будет равна

$$\dot{E}_{y1}(d) = \dot{E}_0 K(\lambda) e^{-a_1 d} e^{i[\beta_1 - \varphi(\lambda)]d}, \quad (23)$$

или

$$\dot{E}_{y1}(d) = \left| \dot{E}_{y1}(d) \right| e^{i[\beta_1 - \varphi(\lambda)]d}, \quad (24)$$

где $\left| \dot{E}_{y1}(d) \right|$ – модуль напряженности электрического поля на глубине $z = d$:

$$\left| \dot{E}_{y1}(d) \right| = \dot{E}_0 K(\lambda) e^{-a_1 d}. \quad (25)$$

С практической точки зрения полезно исследовать поведение функции (25) в зависимости от электрофизических параметров и длины волны. Для этого разделим $\left| \dot{E}_{y1}(d) \right|$ на \dot{E}_0 в результате получим функцию передачи электромагнитной волны на глубину $e_{y1}(d)$ в относительных единицах:

$$\left| e_{y1}(d) \right| = K(\lambda) e^{-a_1 d}. \quad (26)$$

Заметим также, что при выборе частоты СВЧ источника для технологической СВЧ обработки среды на определенной глубине

необходимо учитывать не только ослабление амплитуды, но и изменение уровня мощности в зависимости от длины волны.

Мощности, передаваемые на глубину $z = d$ на различных частотах f_1 и f_2 определяются выражениями:

$$P_1(d) = 2\pi\varepsilon_{r1}\varepsilon_0\operatorname{tg}\delta_1 f_1 |E_1(d)|^2; \quad (27)$$

$$P_2(d) = 2\pi\varepsilon_{r2}\varepsilon_0\operatorname{tg}\delta_2 f_2 |E_2(d)|^2, \quad (28)$$

где f_1 и f_2 – частота ЭМВ; $P_1(d), P_2(d)$ – мощности на глубине $z = d$ соответственно на частотах f_1 и f_2 ; $\varepsilon_{r1}, \varepsilon_{r2}, \operatorname{tg}\delta_1, \operatorname{tg}\delta_2$ – соответственно относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь среды на частотах f_1 и f_2 ; ε_0 – диэлектрическая постоянная ($\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ Ф/м); $|E_1(d)|^2, |E_2(d)|^2$ – значение квадрата модуля напряженности электрического поля на частотах f_1 и f_2 .

Поэтому введем относительный коэффициент эффективности СВЧ мощности передаваемой на глубину $z = d$ на разных частотах $\beta_{\text{эф}}(d)$ равный отношению мощностей на различных частотах f_1 и f_2 :

$$\beta_{\text{эф}}(d) = \frac{P_2(d)}{P_1(d)} = \frac{2\pi\varepsilon_{r2}\varepsilon_0\operatorname{tg}\delta_2 f_2 |E_2(d)|^2}{2\pi\varepsilon_{r1}\varepsilon_0\operatorname{tg}\delta_1 f_1 |E_1(d)|^2}. \quad (29)$$

Заметим также, что отношение квадратов модулей напряженностей электрического поля в выражении (29) пропорционально отношению функций передачи ЭМВ на глубине (26). Окончательно выражение (29) для коэффициента эффективности на глубине $z = d$ приобретает вид:

$$\beta_{\text{эф}}(d) = \frac{\varepsilon_{r2}\varepsilon_0\operatorname{tg}\delta_2 f_2}{\varepsilon_{r1}\varepsilon_0\operatorname{tg}\delta_1 f_1} \left(\frac{K(\lambda_2)}{K(\lambda_1)} \right)^2 e^{-2(\alpha_2 - \alpha_1)d}, \quad (30)$$

где $K(\lambda_1), K(\lambda_2)$ – значение функции передачи электромагнитной волны на глубину $z = d$ при различных длинах волн соответственно на частотах f_1 и f_2 ; α_1, α_2 – коэффициент ослабления электромагнитной волны на частотах f_1 и f_2 .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бородин И. Ф., Шарков Г. А., Горин А. Д.** Применение СВЧ энергии в сельском хозяйстве М. : ВНИИТЭИагропром. 1987. 55 с.

2. **Вендин С. В.** Технологические приемы СВЧ обработки семян в слое // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2016. № 2 (10). С. 3–11.

3. **Вендин С. В.** Теория и математические методы анализа электродинамики процессов СВЧ обработки семян М. : ОАО «Центральный коллектор библиотек «БИБКОМ», ООО «ТРАНСЛОГ», 2015. 137 с.

REFERENCES

1. **Borodin I. F., Sharkov G. A., Gorin A. D.** Primeneniye SVCH energii v sel'skom khozyaystve M. : VNIITEIagroprom. 1987. 55 p.

2. **Vendin S. V.** Tekhnologicheskiye priyemy SVCH obrabotki semyan v sloye // Innovatsii v APK: problemy i perspektivy. 2016. № 2 (10). pp. 3–11.

3. **Vendin S. V.** Teoriya i matematicheskiye metody analiza elektrodinamiki protsessov SVCH obrabotki semyan M. : ОАО «Tsentral'nyy kollektor bibliotek «BIBKOM», ООО «TRANSLOG», 2015. 137 p.

***Вендин Сергей Владимирович**, доктор техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой*

Тел. 8-906-603-55-64

E-mail: elapk@mail.ru

УДК 654.09

Ю. С. КОРОТКИХ, *старший преподаватель*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», Российская Федерация, г. Москва

Y. S. KOROTKIKH, *Senior Lecturer*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev», Russian Federation, Moscow

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ТЕРРИТОРИИ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

APPLICATION OF GEOINFORMATION SYSTEMS IN AGRICULTURE IN THE LIPETSK REGION

***Аннотация.** В статье автор рассматривает применение современных технологий в сельском хозяйстве. Автором приведены системы, применяемые в настоящее время в сельскохозяйственном производстве. Проанализированы преимущества их применения, а также приведен анализ использования техники и технологий с применением геоинформационных технологий на территории в Липецкой области.*

***Ключевые слова:** сельское хозяйство, ГИС, точное земледелие, беспилотники, инновации, сельхозорганизации, персонал.*

***Abstract.** In the article the author considers the application of modern technologies in agriculture. The author presents the systems currently used in agricultural production. The advantages of their application are analyzed, as well as the analysis of the use of equipment and technologies with the use of geoinformation technologies in the Lipetsk region.*

***Keywords:** agriculture, GIS, precision agriculture, drones, innovations, agricultural organizations, personnel.*

Новейшие разработки связаны с созданием информационной базы развития растений по принципу on-line, когда состояние биообъектов, их потребности сканируются специальными устройствами машинного агрегата в процессе его движения по полю и с учетом этого обследования осуществляется необходимое воздействие на посев. Эта техника контролирует качество выполняемых технологических операций с учетом изменяющихся условий ландшафта, оптимизирует использование ресурсов интенсификации (вводимой в процесс энергии). Технология с управлением продукционным процессом относится к типу точных (прецизионных) и позволяет регулировать не только величину урожая, но и качество получаемой продукции, издержки.

Точное земледелие – это система управления продуктивностью посевов, основанная на использовании комплекса спутниковых и компьютерных технологий. После того как на основе спутниковых и лабораторных данных составляется точная карта поля с указанием характеристик каждого его участка, сельхозпредприятие получает возможность более рационально распределять ресурсы между ними. Таким образом, удастся избежать перерасхода ресурсов там, где они прежде использовались в избытке, и повысить продуктивность тех участков поля, которые ранее недополучали в удобрениях, вспашке или поливе.

В основе всей системы точного земледелия лежит использование точных карт полей со всеми их характеристиками. Помимо границ участков нужны точные данные о химическом составе почвы, уровне ее влажности (в том числе глубине подземных вод), количестве получаемой солнечной радиации, углу наклона относительно горизонта, преобладающих ветрах, наличии по близости значимых природных и других объектов (лесов, водоемов, промышленных предприятий, жилых домов, дорог и т.п.). Чем больше факторов учтено и чем подробнее карта, тем точнее можно использовать спутниковые и компьютерные технологии точного земледелия, тем адекватнее и оперативнее можно корректировать производственный процесс.

Составление карт осуществляется различными методиками:

1. Взятие проб грунта с дальнейшим проведением лабораторных анализов;
2. Получение информации со спутников;

3. Общий научный анализ каждого участка.

На основе электронных карт создаются точные инструкции по количеству удобрений, семян, воды, которые нужно внести на каждый участок поля. Эти инструкции загружаются в компьютеризированную сельхозтехнику, выходящую в поле. Далее машина обрабатывает поле с минимальным участием человека, который просто контролирует правильность исполнения этих инструкций. Руководствуясь инструкциями и ведомая с помощью спутниковой навигации, машина сама регулирует количество вносимых удобрений и семян на каждом участке поля. При этом исключаются просветы и нахлесты между обработанными участками [2].

Еще одной к одной из систем точного земледелия можно отнести «сельскохозяйственные беспилотники» – которые в настоящее время в экономически развитых странах являются трендом развития в сельскохозяйственном производстве.

На территории нашей страны данные беспилотники в сельском хозяйстве применяются достаточно редко из-за отсутствия необходимой материальной базы и квалифицированных сотрудников в сельхозорганизациях.

Тем не менее, применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве имеет ряд преимуществ:

1. Анализ состояния почвы на различных участках и позволяют определить, на каких участках целесообразно проводить высадку семян.

2. Мониторинг состояния урожая, который позволит своевременно обнаружить вредителей и оперативно предпринять необходимые меры от гибели урожая.

3. Обработка урожая методом его опрыскивания ядохимикатами и специальными удобрениями.

По сравнению с внесением удобрений колесной техникой, данный метод обработки урожая позволит сократить до минимума потери урожайности, не сминая почву и растения.

Применение системы точного земледелия позволит достичь:

1. Минимизацию затрат на расходные материалы.

2. Повысить урожайность сельхозпродукции.

3. Минимизировать негативное влияние сельскохозяйственного производства на окружающую среду.

4. Повысить качество земель.

5. Выйти на высокотехнологичный уровень сельскохозяйственного производства.

Кроме этих показателей, беспилотные летательные аппараты позволяют составлять карты полей с высокой точностью. К примеру, при составлении бумажных карт с планами полей разница с реальной площадью может составлять до 15 %, а применение беспилотных летательных аппаратов позволит сократить эту разницу до минимума.

Одной из самых доступных и в то же время самых популярных технологий точного земледелия является система параллельного вождения. Она требует гораздо меньше затрат на внедрение, чем другие, а эффект заметен сразу.

Данная система позволяет проводить полевые работы (вспашка, культивация, сев, внесение удобрений, уборка урожая) с максимальной точностью и минимумом «ненужных» движений. Также важным ее преимуществом является возможность обработки поля ночью с той же эффективностью и точностью, что и днем. Значение такой возможности трудно переоценить, когда из-за неблагоприятных погодных условий для проведения полевых работ есть небольшое «окно» в 2–3 дня, из которых нельзя терять ни одного часа.

Система параллельного вождения основана на использовании сигнала спутниковой навигации. При этом, если использовать бесплатный GPS-сигнал, движение сельхозтехники по полю осуществляется с точностью до 30 см. При работе с платным сигналом точность доходит до 2,5 см. Используя платный сигнал, можно радикально сократить площадь пропущенных (необработанных) или дважды обработанных участков поля. Также сокращается длина холостого хода техники и ширина разворотной полосы. В целом сильно снижается (до 20 %) удельное количество используемых ресурсов — топлива, семян, удобрений [1].

Для реализации мероприятий по развитию инновационного машинно-тракторного парка в сельском хозяйстве, необходимо параллельно обеспечить кадровый потенциал, способный управлять, эксплуатировать и обслуживать технику такого рода. В настоящее время кадровое состояние инженерно-технической системы оценивается как сложное. Ежегодно уменьшается численность

дипломированных специалистов инженерно-технической службы, происходит сокращение рабочих инженерно-технической сферы. Их потребность в сельском хозяйстве за эти годы не снижалась, а восполнялась в основном за счет временных миграционных работников из Таджикистана, Беларуси, Молдовы. Все это происходило на фоне высокой безработицы в сельской местности. Из-за низкого материального уровня жизни на селе молодежь мигрирует в город. Ухудшились условия их подготовки сельским специальностям: резко сокращены учебные заведения по обучению работников массовых профессий и др.

В настоящее время система высшего аграрного образования Минсельхоза включает в себя 54 вуза – среди них 31 аграрный университет, 22 сельхозакадемии и 1 сельскохозяйственный институт, они расположены в 58 субъектах РФ. Кроме того, она включает сельскохозяйственные факультеты в 29 неаграрных вузах, а также более 250 колледжей и техникумов по всей стране. Доля молодежи до 30 лет в АПК составляет 12,5 %. По данным Росстата, в 2000 году замещение лиц пожилого возраста сельской молодежью составляло 238 %, к 2010 показатель снизился до 86 %, а к 2020 он упадет до 15 %.

Количество дипломированных специалистов в хозяйствах неуклонно снижается. Так, доля насыщенности дипломированными специалистами основных служб сельскохозяйственных организаций сегодня составляет менее 60 % от уровня 2000 года.

До начала 2010 годов прослеживалась тенденция к расширению штата массовых аграрных профессий, но к 2014 году – как раз к началу импортозамещения – она пошла на спад. К 2017 году потребность в кадрах снизилась на 15 %, достигнув 1,1 млн человек.

Из 25 тысяч руководителей сельскохозяйственных организаций только 67 % имеют высшее образование, 25 % – среднее профессиональное. Еще 8 % – практики. При этом из всех руководителей имеют экономическое или управленческое образование только 20 %, еще 23 % – непрофильное, а ученая степень есть только у 1,8 % руководителей.

По данным Всероссийского научно-исследовательского института экономики сельского хозяйства, с каждым годом количество руководителей и специалистов аграрных предприятий с

высшим образованием уменьшается, и на сегодняшний день дефицит в квалифицированных кадрах превышает 80 тысяч человек [3].

Таким образом, что при ежегодном выпуске количества студентов вузов, превышающем дефицит на 70 тыс. чел., потребность бизнеса в специалистах только увеличивается. Одна из причин – несоответствие образования потребностям сельского рынка труда.

Для реализации мероприятий по развитию инновационного уровня АПК необходимо реформировать систему подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров на всех уровнях профессионального образования, скорректировать профессиональные образовательные программы, обеспечив более глубокое изучение прогрессивных технологий и техники для производства продовольствия и сельскохозяйственного сырья, подготовить учебники нового поколения и обновить технологии теоретического и практического обучения кадров для инженерно-технической сферы, а также лабораторное оборудование для аграрных образовательных учреждений. В системе высшего аграрного образования необходимо ввести курс «Инновации в сельском хозяйстве» для подготовки управленческих кадров по технологическому менеджменту и инновационному предпринимательству.

По данным Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года на территории Липецкой области применяются инновационные технологии, такие как система точного вождения и дистанционного контроля качества выполнения технологических процессов, как переносных, так и стационарных, вмонтированных в отдельные виды техники [4]. В таблице 7 приведено число сельскохозяйственных организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей, применявших инновационные технологии.

На основании приведенных данных в табл. 1 очевиден низкий процент использования на территории Липецкой области системы точного земледелия и параллельного вождения, основными причинами которого является:

1. Высокая стоимость оборудования. На внедрение инновационных технологий необходимы немалые средства, которые могут позволить себе крупные сельхозорганизации. Одним из путей решений данной ситуации служит создание специализированных организаций, способных обеспечить наличие техники с применением инновационной техники и технологий.

Таблица 1 – Число сельскохозяйственных организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей, применявших инновационные технологии (на 1 июля 2016 года), в процентах от общего числа организаций (хозяйств) соответствующей категории

Наименование	Сельско-хозяйственные организации	Крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели
Капельная система орошения	4,5	1,2
Биологические методы защиты растений от вредителей и болезней	4,2	1,1
Система индивидуального кормления скота	6,8	3,2
Метод бесклеточного содержания птицы	3,9	1,0
Очистные сооружения на животноводческих фермах	5,5	0,5
Система водоотведения и очистки производственных стоков	11,6	0,2
Возобновляемые источники энергоснабжения:	—	0,1
солнечные батареи	—	0,1
Система точного вождения и дистанционного контроля качества выполнения технологических процессов, как переносных, так и стационарных, вмонтированных в отдельные виды техники	17,1	1,3

2. Техническая сложность оборудования. Наличие инновационных технологий требует современных компьютерных программ в сельхозорганизациях, а также специалистов, способных использовать данные программы. В настоящий момент существует острая проблема в высококвалифицированных кадрах, способных работать с инновационной техникой. Внедрить и обучить работников сельского хозяйства работать с инновационными технологиями в каждой сельхозорганизации в настоящий момент является весьма проблематичным и затратным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Алексанов Д. С., Порфирьев Е. И.** Оценка потребности в навигационной технике при внедрении систем точного земледелия // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 9(51). С. 10–13.

2. **Саленко Е. А.** Инновации в системе ресурсосберегающего земледелия // World science: problem and innovation : X International scientific conference. С. 183–185.

3. **ФАО:** Цифровые технологии привлекают молодежь в сельское хозяйство [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dairynews.ru/presentation/fao-tsifrovye-innovatsii-privlekayut-molodezh-v-se.html> (дата обращения: 01.09.2019).

4. **Федеральная служба государственной статистики** [Электронный доступ]. URL: <http://www.gks.ru>. (дата обращения 02.09.2019).

REFERENCES

1. **Aleksanov D. S., Porfir'ev E. I.** Otsenka potrebnosti v navigatsionnoj tekhnike privnedrenii sistem tochnogo zemledeliya // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2016. № 9(51). pp. 10–13.

2. **Salenko E. A.** Innovatsii v sisteme resursosberegayushhego zemledeliya // World science: problem and innovation: X International scientific conference. pp. 183–185.

3. **FAO:** TSifrovye tekhnologii privlekayut molodezh' v sel'skoekhozyajstvo [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.dairynews.ru/presentation/fao-tsifrovye-innovatsii-privlekayut-molodezh-v-se.html> (data obrashheniya: 01.09.2019).

4. **Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki** [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.gks.ru>. (data obrashheniya 02.09.2019).

Коротких Юлия Сергеевна, старший преподаватель

Тел. 8-915-057-56-61

E-mail: skt.at@yandex.ru

УДК 621.311.13(470.45)

В. И. БАЕВ, доктор техн. наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», Российская Федерация, г. Волгоград

С. В. ПАНЧЕНКО, начальник Кумылженского района электрических сетей

С. П. КАЛИНИН, инженер группы учета электроэнергии Кумылженского района электрических сетей

ПАО «МРСК-Юга» «Волгоградэнерго» ПО «МЭС», Российская Федерация, Волгоградская область, ст. Кумылженская

V. I. BAEV, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Full Professor, Professor at the Department*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Volgograd State Agrarian University», Russian Federation, Volgograd

S. V. PANCHENKO, head of the Kumylzhenskiy district electrical networks of Public company "MRSK of the South" "Volgogradenergo" PO "MES", Russian Federation, Volgograd oblast, St. Kumylzhenskaya

S. P. KALININ, engineer of the group electricity metering Kumylzhenskiy district electrical networks of Public company "MRSK of the South" "Volgogradenergo" PO "MES", Russian Federation, Volgograd oblast, St. Kumylzhenskaya

НЕОБХОДИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТЬ ПЕРЕВОДА ПОСЕЛКОВЫХ СЕТЕЙ НА ПОВЫШЕННЫЙ КЛАСС НАПРЯЖЕНИЯ

NECESSITY AND POSSIBILITY OF TRANSFER OF SETTLEMENT NETWORKS TO THE INCREASED CLASS OF TENSION

***Аннотация.** Обоснована необходимость перевода сетей сельских поселений на повышенный класс напряжения с целью снижения технических потерь энергии. Показана возможность реализации перевода сетей на повышенный класс напряжения. Приведены ре-*

зультаты расчетов капитальных вложений в реконструкцию сетей сроков окупаемости капитальных вложений и потерь эклектической энергии, сопротивление проводов линий при переводе на повышенный класс напряжений. Сделан вывод о целесообразности перевода сетей на повышенный класс напряжения 10 кВ.

Ключевые слова: *потери электроэнергии в электрических сетях, повышенный класс напряжения, капитальные вложения в реконструкцию сетей, срок окупаемости.*

Abstract. *Necessity of transfer of networks of rural settlements to the raised class of tension for the purpose of decrease in technical losses of energy is proved. Possibility of realization of transfer of networks to the raised class of tension is shown. Results of calculations of capital investments in reconstruction of networks of payback periods of capital investments and losses of eclectic energy, resistance of wires of lines at transfer to the raised class of stresses are resulted. The conclusion is drawn about expediency of transfer of networks to the raised class of tension 10 kV.*

Keywords: *power losses in electric networks, increased voltage class, capital investments in the reconstruction of networks, payback period.*

Необходимость перевода сетей поселений на повышенный класс напряжения.

Потери электроэнергии в электрических сетях – важнейший показатель экономичности их работы, наглядный индикатор состояния системы учета электроэнергии, эффективности энергосбытовой деятельности энергоснабжающих организаций. Этот индикатор все отчетливей свидетельствует о накапливающихся проблемах, которые требуют безотлагательных решений в области развития, реконструкции и технического перевооружения электрических сетей, совершенствования методов и средств их эксплуатации и управления, повышения точности учета электроэнергии, эффективности сбора денежных средств за поставленную потребителям электроэнергию и т. п. [2].

В настоящее время почти повсеместно наблюдается рост абсолютных и относительных потерь электроэнергии при одновременном уменьшении отпуска в сеть. За последнее десятилетие в элек-

трических сетях России в целом относительные потери выросли с 10,09 до 12,22 % [2].

По мнению международных экспертов, относительные потери электроэнергии при ее передаче и распределении в электрических сетях большинства стран можно считать удовлетворительными, если они не превышают 4...5 %. Потери электроэнергии на уровне 10% можно считать максимально допустимыми с точки зрения физики передачи электроэнергии по сетям. Это подтверждается и докризисным уровнем потерь электроэнергии в большинстве энергосистем бывшего СССР, который не превышал, как правило, 10 %. Так как сегодня этот уровень вырос в 1,5–2, а по отдельным электросетевым предприятиям – даже в 3 раза, очевидно, что на фоне происходящих изменений хозяйственного механизма в энергетике, кризиса экономики в стране проблема снижения потерь электроэнергии в электрических сетях не только не утратила свою актуальность, а наоборот – выдвинулась в одну из задач обеспечения финансовой стабильности организаций [1].

Опыт по разработке программ снижения потерь электроэнергии в электрических сетях показал, что снижение потерь электроэнергии на 1 млн кВт·час/год требует, как правило, не менее 0,6–1,0 млн. руб. в год на внедрение соответствующих мероприятий. При этом срок окупаемости этих затрат находится в пределах 2–8 лет и более. Поэтому так важен квалифицированный энергоаудит электросетевых организаций для разработки обоснованной программы действий, совершенствование организации работ по снижению потерь [3].

Необходимо сформулировать новые подходы к выбору мероприятий по снижению технических потерь и оценке их сравнительной эффективности в условиях акционирования энергетики.

Возможные варианты снижения потерь электроэнергии

К приоритетным мероприятиям по снижению технических потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,4–35 кВ относятся:

- использование 10 кВ. в качестве основного напряжения распределительной сети;
- сокращение радиуса действия и строительство ВЛ (0,4 кВ) в трехфазном исполнении по всей длине;
- применение самонесущих изолированных и защищенных

проводов для ВЛ напряжением 0,4-10 кВ;

- использование максимального расчетного допустимого сечения провода в электрических сетях напряжением 0,4-10 кВ с целью адаптации их пропускной способности к росту нагрузок в течение всего срока службы;

- разработка и внедрение нового, более экономичного, электрооборудования, в частности, распределительных трансформаторов с уменьшенными активными и реактивными потерями холостого хода, встроенных в КТП и ЗТП конденсаторных батарей;

- применение столбовых трансформаторов малой мощности (6-10/0,4 кВ) для сокращения протяженности сетей напряжением 0,4 кВ и потерь электроэнергии в них;

- более широкое использование устройств автоматического регулирования напряжения под нагрузкой, вольтдобавочных трансформаторов, средств местного регулирования напряжения для повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь;

- комплексная автоматизация и телемеханизация электрических сетей, применение коммутационных аппаратов нового поколения, средств дистанционного определения мест повреждения в электрических сетях для сокращения длительности неоптимальных ремонтных и послеаварийных режимов, поиска и ликвидации аварий;

- повышение достоверности измерений в электрических сетях на основе использования новых информационных технологий, автоматизации обработки телеметрической информации [3].

Учитывая, что одной из основных характеристик электропередачи является ее пропускная способность, то есть та наибольшая мощность, которую можно передать по ЛЭП с учетом ограничивающих факторов: предельной мощности по условиям устойчивости, нагрева проводников и т. д., использование уровня напряжения 10 кВ в качестве основного напряжения распределительной сети и применение столбовых трансформаторов малой мощности (6-10/0,4 кВ) для сокращения протяженности сетей напряжением 0,4 кВ и потерь электроэнергии в них являются на сегодняшний день вполне обоснованным шагом.

Для ВЛ переменного тока можно приближенно считать, что максимальная передаваемая мощность примерно пропорциональна квадрату напряжения, а стоимость сооружения ЛЭП пропорциональна

напряжению. Поэтому в развитии электропередач наблюдается тенденция к увеличению напряжения как к главному средству повышения пропускной способности ЛЭП и, как следствие – сокращение технических потерь электроэнергии в распределительных сетях [5].

Снижение потерь электроэнергии в сети 6–10 кВ по отношению к сети 0,4 кВ будет иметь место за счет снижения значения тока, проходящего по проводам ВЛ от шин питающей подстанции до конечного потребителя.

Реализация вышеуказанных мероприятий при решении задач распределения и потребления электроэнергии приводит к сокращению сетей напряжением до 1 кВ путем приближения высшего напряжения к потребителям электроэнергии [5].

Кроме того, если учесть, что в сетях расход проводникового материала, потребного для передачи одной и той же мощности, быстро растет с понижением номинального напряжения, а потери электроэнергии в сетях класса напряжения 0,4 кВ составляют 12...20 % от общего количества технических потерь, то тенденция сокращения длины сетей напряжением до 1 кВ становится понятной [4].

Технические возможности перевода поселковых сетей 0,4 кВ на 10 кВ.

Реализация вышесказанного производится путем перевода питания потребителей от существующей ТП-10/0,4 кВ, находящейся в центре нагрузок населенного пункта от столбовых трансформаторных подстанций (СТП), которые планируются расположить в непосредственной близости к домовладениям и получающие питание по сети 10 кВ.

Ввиду того, что ВЛ-0,4 кВ имеют средний срок эксплуатации 30–45 лет, предлагается поэтапная их реконструкция с заменой на сети 10 кВ с применением СТП-10/0,4 кВ., малой мощности от 10 до 40 кВА. Проектирование опор с трансформаторами малой мощности должно предусматривать размещение оптимального количества трансформаторов в черте населенного пункта и возможность запитки определенного количества домовладений (от 2 до 6).

Конструктивно СТП состоит из отдельных элементов, устанавливаемых при сборке на железобетонную опору на месте монтажа в единый комплекс и состоит из следующих элементов:

- силовой трансформатор марки ОМП-10/10/0,4;

– устройство высокого напряжения, состоящее из вводных изоляторов, предохранителя-разъединителя и ограничителей перенапряжения;

– железобетонная опора типа СВ-105;

– распределительный щит 0,4 кВ с автоматическим выключателем.

Для защиты от токов перегрузки и короткого замыкания предусматривается предохранитель-разъединитель выхлопного типа ПРВТ-10У1 с автоматически откидывающимся при срабатывании патроном.

В качестве вводных изоляторов предусматриваются стеклопластиковые изоляторы с полимерной изоляцией типа ЛК-70/10.

Для защиты трансформатора предусматриваются ограничители перенапряжения ОПН-10 с полимерной изоляцией.

Проектируемые опоры ВЛ 10 кВ будут установлены вместо существующих опор ВЛ 0,4 кВ в черте населенного пункта в количестве, необходимом для размещения трансформаторов и питания всех потребителей (вместо трассы существующей ВЛ 0,4 кВ). Возможно увеличение расстояния между опорами проектируемой ВЛ с учетом расстояний между домовладениями.

Питание потребителей осуществляется с применением провода СИП от СТП до щита учета на фасаде домовладения.

Таким образом, становится очевидной экономическая выгода от предлагаемых мероприятий. Мы производим и без того необходимую реконструкцию сетей с минимальным превышением капиталовложений за счет разницы стоимости сетей уровней напряжения 0,4 кВ и 10 кВ.

Подстанция трансформаторная столбовая (ПТС) напряжением 10/0,4 кВ мощностью 10 кВ·А. Конструктивно подстанция состоит из отдельных элементов, устанавливаемых при сборке на месте монтажа в единый комплекс. Подстанция имеет следующие элементы:

1. Силовой трансформатор марки ОМП-10/10/0,4.

2. Устройство высокого напряжения (ВН), состоящее из вводных изоляторов, предохранителя-разъединителя и ограничителей перенапряжения.

В качестве вводных изоляторов применены стеклопластиковые изоляторы натяжного типа с полимерной изоляцией.

Для защиты подстанции от грозовых и коммутационных перенапряжений применяются ограничители перенапряжения ОПН-10 с полимерной изоляцией.

Возможные варианты повышения класса напряжения.

Уровни напряжения строго стандартизированы. В распределительных сетях применяются классы напряжения от 0,4 до 35 кВ. Теоретически каждый из них возможно применить для сокращения протяженности сетей 0,4 кВ с целью приближения высшего напряжения к потребителям электроэнергии для сокращения потерь электроэнергии в низковольтных сетях.

Однако данную проблему необходимо оценить и с другой позиции.

1. Меры по переходу на высокий класс напряжения связаны с высокими капиталовложениями с большими сроками окупаемости. Учитывая, что стоимость сооружения ЛЭП пропорциональна напряжению, необходимо в каждом конкретном случае производить технико-экономическое обоснование принятых решений, в том числе и по классу принимаемого напряжения.

2. Существующая система электроснабжения на сегодняшний день состоит из питающих подстанций преимущественно напряжением 110/35/10 кВ, 110/10 кВ, 35/10 кВ, и распределительных сетей напряжением 10 кВ и 0,4 кВ.

3. Характеристика потребителя. Потребители электроэнергии расположены в населенных пунктах, имеют большое территориальное рассредоточение в пределах района электрических сетей при небольших нагрузках и, как следствие, небольшом потреблении электроэнергии.

4. Электробезопасность. Пропорционально увеличению класса напряжения питающей линии и электрооборудования возрастают технические требования к устройству данного вида электроустановок, опасность поражения людей электрическим током и последствия, связанные с отклонениями от нормального режима работы данного оборудования.

5. Габарит линии. Так как приближение высшего напряжения к потребителям электроэнергии связано с сооружением линии в черте жилого массива, не всякий класс напряжения может быть использован для этого в связи с тем, что с увеличением класса напряжения возрастает и габарит линии.

Учитывая вышесказанное можно сделать вывод, что повышать уровень напряжения взамен класса напряжения 0,4 кВ необходимо, но принимая во внимание местные условия.

Электроустановки данного вида должны быть просты в устройстве и обслуживании, безопасны, надежны, унифицированы в отношении сочетания с существующими сетями, ориентированы на местного потребителя, а также иметь относительно невысокую стоимость строительства и как можно короче срок окупаемости.

Из-за того, что в России принята сетка стандартного напряжения 10,35,110 кВ, под которое изготавливается электротехническое оборудование для электросетей, экономически целесообразно выйти на уровень 10 кВ. Следуя формуле $U_1/U_2 = I_2 / I_1$, рассмотрим варианты использования следующих стандартных классов напряжения:

- при $U_1 = 3000 \text{ В}$, $3000/380 = 7,9$;
- при $U_1 = 6000 \text{ В}$, $6000/380 = 15,8$;
- при $U_1 = 10000 \text{ В}$, $1000/380 = 26,3$;
- при $U_1 = 20000 \text{ В}$, $20000/380 = 52,6$;

или значение тока в проводнике уменьшится пропорционально увеличению напряжения, тем самым появляется возможность уменьшить сечение проводника, уменьшить нагрев самого проводника, тем самым уменьшить расходы электрической энергии в сетях электрического тока.

Произведем расчет сроков окупаемости рассмотренных выше стандартных уровней напряжений.

При определении экономической эффективности капитальных вложений рассматриваются варианты строительства ВЛ классов напряжений 0,4; 3;6;10;20 кВ, в комплексе со строительством КТП и СТП из расчета на 1 км протяженности линии. Исходя из средние статистических данных построения улиц, принято на 1 км ВЛ – 40 домовладений. Для ВЛ 0,4 кВ – одно КТП-160/10/0,4 кВ. Для ВЛ – 3;6;10;20 кВ – принимаем СТП соответствующего класса напряжения мощностью – 10 кВА из расчета одно СТП на 3 домовладения.

Капитальные вложения и издержки производства приняты для срока службы линий равному – 33 годам.

Годовые затраты на эксплуатационное обслуживание 1 км ВЛ с неизолированными проводами приняты по данным филиала ПАО «МРСК Юга» – «Волгоградэнерго» за 2018 год и составляют для ВЛ-

0,4 кВ – 19 980 руб. и для ВЛ-10 кВ – 11 780 руб.

Средняя стоимость строительства 1 км ВЛ с неизолированными проводами составляет: для ВЛ-0,4 кВ – 960 тыс.руб.; для ВЛ-10 кВ – 874 тыс.руб.

Затраты на строительство и эксплуатационное обслуживание ВЛ классов напряжений – 3; 6; 20 кВ приняты пропорционально росту класса напряжения.

Стоимость КТП и СТП приняты согласно рыночной стоимости в 2019 году: – КТП-160/10/0,4 кВА – 350 тыс. руб., а СТП-10/10/0,4 кВА – 120 тыс. руб.

Эксплуатационные затраты на КТП составляют 36 тыс. руб. в год, а на СТП составляют 10 тыс. руб.

Для уровней напряжений 3; 6 и 20 кВ эксплуатационные затраты на СТП приняты как для СТП-10/10/0,4 кВ.

Расчет произведен методом приведенных затрат. Сравнительная эффективность дополнительных капитальных затрат (коэффициент эффективности E) была рассчитана по формуле:

$$E = \frac{dИ}{dK} = \frac{(И1 - И2)}{(K2 - K1)} > E_n = 0,12$$

где E_n – нормативный коэффициент сравнительной эффективности ($E_n = 0,12$)

Результаты расчета представлены в таблице и на рисунках 1, 2, 3.

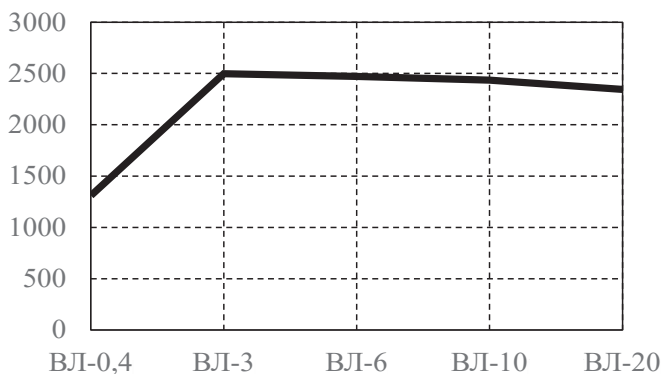


Рисунок 1 – Капитальные вложения (тыс. руб.)

Таблица 1 – Результаты расчета

Напряжение ВЛ	Затраты на эксплуатационное обслуживание, тыс. руб.		Капитальные вложения, тыс. руб.		Коэффициент эффективности, E
	Неизолированные провода И1	И1–И2 = $dИ$	Неизолированные провода К1	К2–К1 = $dК$	
ВЛ 0,4 кВ	55,98		1310		
ВЛ 3 кВ	147,766	–91,786	2497	1187	–0,08
ВЛ 6 кВ	145,223	–89,243	2470	1160	–0,08
ВЛ 10 кВ	141,78	–85,8	2434	1124	–0,08
ВЛ 20 кВ	141,25	–85,27	2344	1034	–0,08

Таблица 2 – Результаты расчета

Напряжение ВЛ	Затраты на эксплуатационное обслуживание, тыс. руб.		Капитальные вложения, тыс. руб.		Срок окупаемости, $t_{ок}$
	Неизолированные провода И1	И2–И1 = $dИ$	Неизолированные провода К1	К1–К2 = $dК$	
ВЛ 0,4 кВ	55,98		1310		
ВЛ 3 кВ	147,766	91,786	2497	–1187	12,93
ВЛ 6 кВ	145,223	89,243	2470	–1160	13,00
ВЛ 10 кВ	141,78	85,8	2434	–1124	13,10
ВЛ 20 кВ	141,25	85,27	2344	–1034	12,13

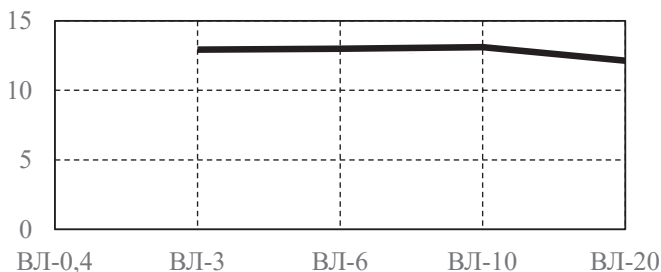


Рисунок 2 – Срок окупаемости (годы)

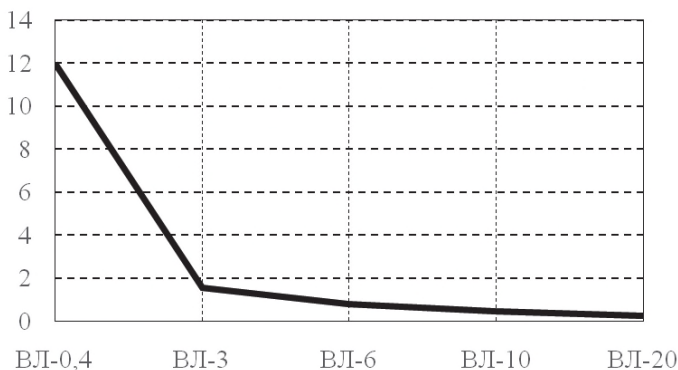


Рисунок 3 – Потери, %

Вывод при переводе поселковых электрических сетей на повышенный класс напряжения потери электрической энергии резко снижаются пропорционально увеличению класса напряжения основной сети. Капитальные вложения при строительстве сетей повышенного класса напряжения интенсивно увеличиваются по отношению к сети 0,4 кВ и незначительно уменьшаются с ростом класса напряжения от 3 до 20 кВ. Срок окупаемости изменяется незначительно от класса напряжения основной сети.

Таким образом очевидно использование повышенного класса напряжения 10 кВ как самого оптимального с точки зрения стандартизированного выпускаемого в настоящее время оборудования.

Из вышеуказанного ясно, что применение повышенного класса напряжения 10 кВ для питания потребителей от столбовых трансформаторных подстанций малой мощности является технически

возможным, экономически оправданным и востребованным временем, что приводит к снижению потерь электроэнергии в поселковых электрических сетях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Воротницкий В. Э.** Снижение потерь электроэнергии – важнейший путь энергосбережения в электрических сетях, 104 с.

2. **Воротницкий В. Э., Калинкина М. А., Апрыткин В. Н.** Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций, 64 с.

3. **Воротницкий В. Э., Калинкина М. А., Комкова Е. В., Пятигор В. И.** Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях, 91 с.

4. **Воротницкий В. Э., Калинкина М. А., Комкова Е. В., Пятигор В. И.** Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях Динамика, структура, методы анализа и мероприятия, 91 с.

5. **Файзуллин Р. М., Стариков В. С.** Пропускная способность ЛЭП и мероприятия по ее повышению, 251 с.

REFERENCES

1. **Vorotnickij V. E.** Snizheniepoter' elektroenergii – vazhnejshij put' energosberezheniya v elektricheskikh setyah, 104 p.

2. **Vorotnickij V. E., Kalinkina M. A., Apryatkin V. N.** Meropriyatiya po snizheniyu poter' elektroenergii v elektricheskikh setyah energosnabzhayushchih organizacij, 64 p.

3. **Vorotnickij V. E., Kalinkina M. A., Komkova E. V., Pyatigor V. I.** Snizheniepoter' elektroenergii v elektricheskikh setyah, 91c.

4. **Vorotnickij V. E., Kalinkina M. A., Komkova E. V., Pyatigor V. I.** Snizheniepoter' elektroenergii v elektricheskikh setyah Dinamika, struktura, metodyanalizai meropriyatiya, 91 p.

5. **Fajzullin R. M., Starikov V. S.** Propusknaya sposobnost' LEP i meropriyatiya po eyo povysheniyu, 251 p.

Баев Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор

Тел. 8-917-337-21-50

E-mail: vibaew@mail.ru

Панченко Сергей Владимирович, начальник Кумылженского
района электрических сетей

Тел. 8-937-530-81-82

E-mail: putinfedor2000@yandex.ru

Калинин Сергей Петрович, инженер группы учета
электроэнергии Кумылженского района электрических
сетей

Тел. 8-937-544-25-96

УДК 621.385.6

Г. В. НОВИКОВА, доктор техн. наук, профессор, главный научный сотрудник

В. Л. ОСОКИН, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой Государственное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», Российская Федерация, г. Княгинино

А. А. ТИХОНОВ, канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», Российская Федерация, г. Нижний Новгород

G. V. NOVIKOVA, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor, Chapter Researcher*

V. L. OSOKIN, *Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department*

State educational institution of higher education "Nizhny Novgorod state University of engineering and Economics", Russian Federation, Knyaginino

A. A. TIKHONOV, *Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Nizhny Novgorod State Agricultural Academy", Russian Federation, Nizhny Novgorod

РАБОЧИЕ КАМЕРЫ СВЧ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ СЫРЬЯ В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ С СОБЛЮДЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

WORKING CHAMBERS OF MICROWAVE UNITS FOR HEAT TREATMENT OF RAW MATERIALS IN CONTINUOUS MODE IN COMPLIANCE WITH ELECTROMAGNETIC SAFETY

***Аннотация.** Сконструированы многогенераторные сверхвысокочастотные (СВЧ) установки с нетрадиционными резонаторами с использованием маломощных магнетронов с воздушным охлаждением.*

ждением с необходимой производительностью и напряженностью электрического поля для термообработки сырья в непрерывном режиме с ограничением излучений в окружающее пространство. Получены регрессионные зависимости, позволяющие оценить влияние конструктивных параметров щелей, прорезей, перфорации нетрадиционных резонаторов на мощность потока излучений и допустимую продолжительность работы в зависимости от расстояния до СВЧ установки. Выработан принцип обеспечения электромагнитной безопасности за счет конструктивного исполнения рабочих камер СВЧ установок для термообработки сырья разной структуры в непрерывном режиме.

Ключевые слова: нетрадиционные резонаторы, электромагнитная безопасность, радиогерметичность, регрессионные модели, мощность потока излучений.

Abstract. Designed snegogenerator microwave installation with unconventional resonators using low-power magnetrons with air cooling capacity required and the electric field intensity for heat treatment of raw materials in a continuous mode with the restriction of radiation in the surrounding space. The obtained regression dependencies, allowing to estimate the effect of structural parameters of slits, slots, perforations unconventional resonators in the power of the flow of radiation and permissible duration of operation depending on the distance from the microwave installation. The principle of electromagnetic safety due to the structural design of the working chambers of microwave units for heat treatment of raw materials of different structures in a continuous mode.

Keyword: unconventional resonators, electromagnetic safety, radio pharmacist, regression models, power flow of radiation.

Актуальность проблемы. Стратегическая программа исследований технологической платформы «СВЧ технологии» утверждена 17.12.2012 года на заседании Наблюдательного совета технологической платформы «СВЧ технологии» Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли РФ. В России, как и за рубежом, технологии создания изделий СВЧ электроники отнесены к критичным технологиям.

Научная проблема. Повышение эффективности функционирования многогенераторных СВЧ установок для термообработки и

стерилизации сельскохозяйственного сырья в непрерывном режиме путем разработки нетрадиционных резонаторов, обеспечивающих высокую напряженность электрического поля и электромагнитную безопасность.

Степень разработанности темы. На основе анализа выполненных ранее исследований основных закономерностей распространения СВЧ колебаний, конструкций резонаторов, принципа действия основных элементов отмечаем, что они проводились без системного анализа конструкционного исполнения резонаторов, предназначенных для непрерывного режима работы с соблюдением электромагнитной безопасности.

Целью исследования является разработка и обоснование эффективных многогенераторных СВЧ установок с нетрадиционными резонаторами, обеспечивающими электромагнитную безопасность при непрерывном режиме работы.

Задачи исследования:

- сконструировать многогенераторные СВЧ установки с использованием маломощных магнетронов с воздушным охлаждением с необходимой производительностью и напряженностью электрического поля для реализации температурных и влажностных режимов в непрерывном режиме с ограничением излучений в окружающее пространство;

- изготовить СВЧ установки для непрерывного режима работы с перфорированным резонатором, резонатором в виде беличьей клетки, резонатором с прорезями и провести экспериментальные исследования степени радиогерметичности;

- получить регрессионные зависимости, позволяющие оценить влияние конструкционных параметров щелей, прорезей, перфорации нетрадиционных резонаторов на мощность потока излучений и допустимую продолжительность работы в зависимости от расстояния до установки;

- выработать принцип обеспечения электромагнитной безопасности за счет конструкционного исполнения рабочих камер СВЧ установок для обработки сырья разной структуры в непрерывном режиме;

- обосновать выбор нетрадиционных резонаторов СВЧ установок с учетом собственной добротности и рассеиваемой мощности.

Известно, что основными элементами в структурной схеме (рисунок1) многогенераторной СВЧ установки для обеззараживания сырья в непрерывном режиме являются генераторные блоки и рабочая камера, которая состоит из резонаторов, запердельных волноводов, механизмов для транспортировки сырья.

СВЧ установки непрерывного режима работы содержат			
генераторные блоки, состоящие из		рабочую камеру, состоящую из	экранирующий корпус
магнетронов с излучателя- ми, волновода- ми и системой охлаждения	электронного бло- ка с высоковольт- ным трансформа- тором, выпрямите- лем и др.	объемных резонато- ров с транспортиру- ющими сырье узлами	ограничителей излучений из подающих и выгрузных устройств

Задача – оценить эффективность функционирования установок с нетрадиционными резонаторами при непрерывном режиме работы

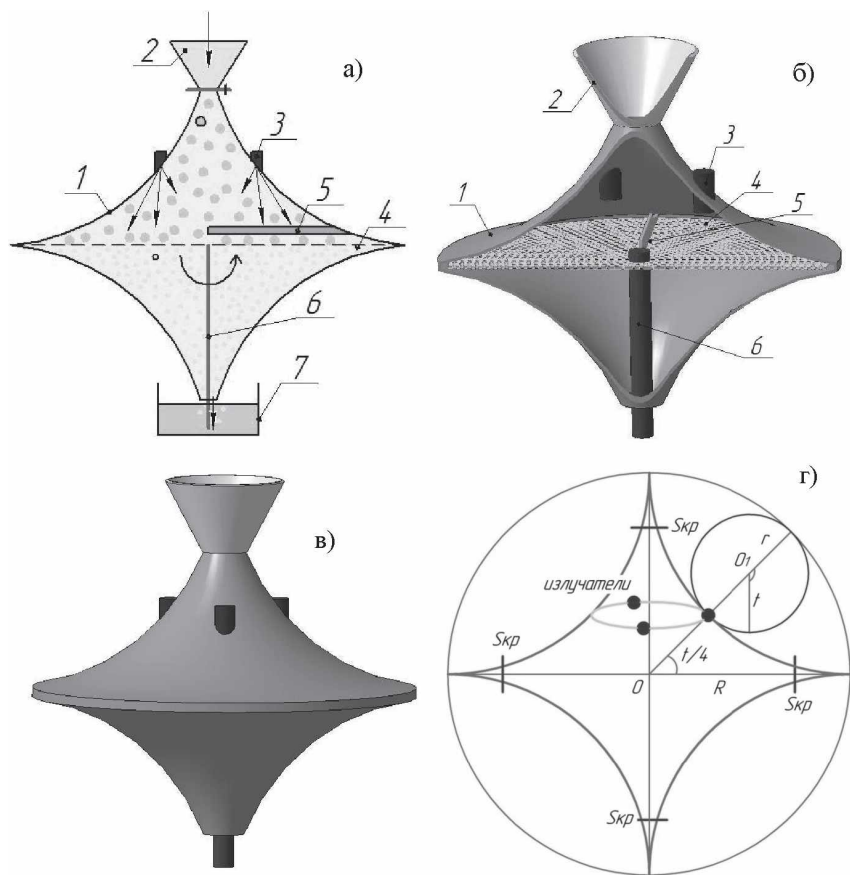
Задача – оценить электромагнитную безопасность при использовании:		
запердельных волноводов	прорезей на резонаторе	перфорации на резонаторе и смотрового окна

Рисунок 1 – Структурная схема СВЧ установок для оценки электромагнитной безопасности

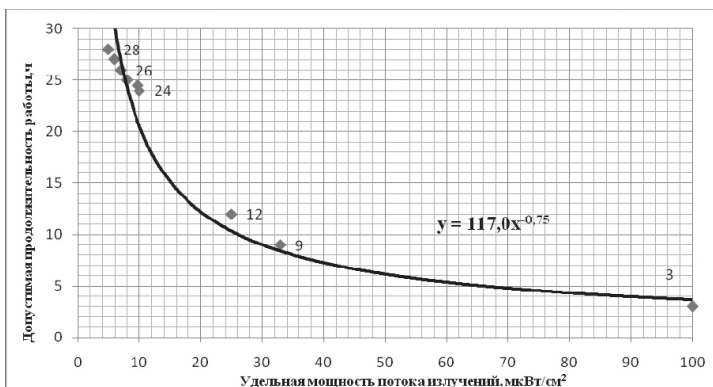
Источниками электромагнитного поля являются магнетроны с воздушным охлаждением, излучатели которых направлены в один резонатор, либо каждый резонатор с индивидуальным излучателем. Вся система управления и контроля технологическим процессом расположена в шкафу управления [3, с. 47]. При непрерывном технологическом процессе радиогерметичность обеспечивается за счет запердельных волноводов, если сырье сыпучее, жидкое или измельченное вязкое сырье. Например, разработана технология и СВЧ установок с коническими резонаторами для термообработки пищевых отходов животного происхождения [2, с. 55–64]. При обработке сырья в виде плоскости, толщиной менее чем четверть длины волны, например, шкурка кролика, электромагнитную безопасность можно обеспечить при особых конструкционных исполнениях резонатора, например биконического резонатора или резонатора в виде астроида. Ниже проанализированы особенности обеспечения элек-

тромагнитной безопасности в конкретной разработанной установке, а именно в СВЧ установке с резонатором в виде объемной астроида для термообработки измельченного мясного сырья.

Известен биконический резонатор [1, с. 433–441]. Характерной особенностью является наличие в объеме областей с резко выраженным экспоненциальным законом изменения электромагнитного поля. Это позволяет удалить часть поверхности вершин биконуса без существенных потерь собственной добротности для некоторых типов колебаний. Тогда образуется открытая резонансная система. Вблизи тех критических сечений, от поверхности которых наблюдается полное отражение волн, делают открытые торцы. Базируясь на этих результатах, разработана СВЧ установка с резонатором в виде объемной астроида для термообработки измельченного мясного сырья (рисунок 2). Она содержит резонатор 1, выполненный в виде объемной астроида. Ее вершины по вертикальной оси отсечены до уровня критического сечения, диаметром менее, чем четверть длины волны. Сюда со стороны верхней поверхности резонатора пристыкован усеченный конус 2 с малым основанием, содержащим заслонку, а к нижнему открытому концу пристыкован запердельный волновод. На уровне горизонтальной оси резонатора установлен радиопрозрачный перфорированный диск 4 на радиопрозрачном валу 6 с электродвигателем так, что его диаметр меньше диаметра центральной части резонатора, а над диском к корпусу резонатора жестко прикреплена радиопрозрачная гребенка 5. Технологический процесс термообработки измельченного мясного сырья в установке происходит следующим образом. В объемном резонаторе измельченное жиросодержащее мясное сырье на перфорированном радиопрозрачном вращающемся диске эндогенно нагревается, перемешивается, дробится с помощью радиопрозрачной гребенки. Сырье на периферии диска не нагревается, так как в горизонтальной периферийной области объемной астроида электромагнитное поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) сведено к нулю, поэтому градиенты температуры и давления в каждой элементарной частице сырья в этой области резонатора выравниваются. Это повышает равномерность эндогенного нагрева сырья, происходит вытопка жира, стекание его через отверстия перфорации диска и через нижний запердельный волновод в емкость для готового продукта 7.



Раздробленная с помощью гребенки шквара вместе с вытопленным жиром проходит через отверстия перфорации диска, и также попадает в емкость. Такое конструктивное исполнение резонатора обеспечивает электромагнитную безопасность без экранирующего корпуса, сохраняя на достаточно высоком уровне собственную добротность и обеспечивая высокую напряженность электрического поля. Зависимость допустимой продолжительности работы от мощности потока излучений установкой с резонатором в виде объемной астроида приведена на рисунке 3.



Пользуясь планом Хартли проводили исследования влияния открытой поверхности резонатора на уровне критического сечения на базе СВЧ установки с резонатором в виде объемной астроиды на электромагнитную безопасность.

Варьируемые факторы: x_1 —удельная мощность генераторов на единицу объема резонатора, $P_{уд}$, Вт/см³ (0,06-0,133);

x_2 — коэффициент живого сечения резонатора (0,015–0,035);

x_3 — толщина экранирующего корпуса, мм (2–4).

Регрессионные модели, описывающие зависимость мощности потока излучений и продолжительности работы около СВЧ установки с резонатором в виде объемной астроиды от варьируемых факторов при постоянной толщине экранирующего корпуса, равной 3 мм:

$$P_{общ} = 199,79 - 210,91x_1 - 10059x_2 + 7329x_1^2 - 60495x_1x_2 + 1,23 \times 10^5 x_2^2,$$

$$\tau = -0,34 + 377x_1 + 1779x_2 - 1058x_1^2 - 13831x_1x_2 + 1,23 \times 10^5 x_2^2,$$

Поверхности отклика и их двумерные сечения в изолиниях приведены на рисунке 4.

Пользуясь уравнением регрессии, описывающим зависимость мощности потока излучений СВЧ установки с резонатором, имеющим щели от варьируемых факторов, вычислили мощность потока излучений при коэффициенте живого сечения резонатора 0,07 и при толщине экранирующего корпуса 3 мм. Она равна 20–55 мВт/см², допустимая продолжительность работы составляет 11–15 ч. При нахождении на расстоянии 1,5–2 м от установки оператор может работать 15–24 ч.

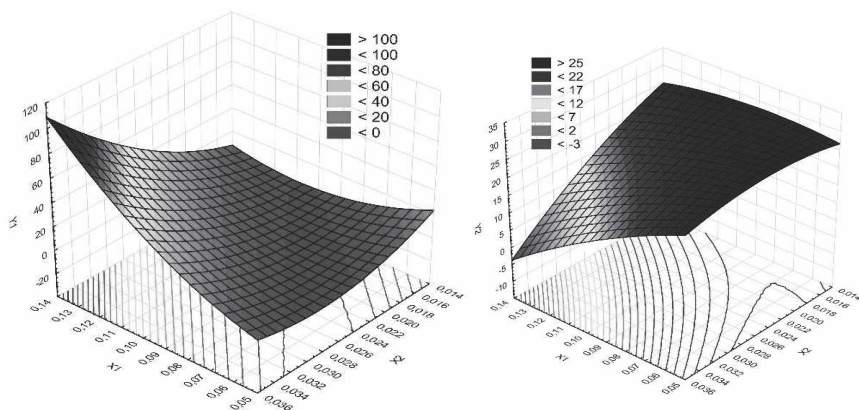


Рисунок 4 – Поверхности отклика и их двумерные сечения

Выводы. Сверхвысокочастотная установка с резонатором в виде объемной астроиды обеспечивает непрерывный технологический процесс термообработки сырья, электромагнитную безопасность без экранирующего корпуса, высокую напряженность электрического поля, достаточную для стерилизации продукта (1,2–4 кВ/см), равномерный эндогенный нагрев сырья, перемешивание продукта с раздроблением шквары до необходимых размеров для прохождения через отверстия перфорации диска. Если приемную емкость установить на уровне критического сечения, то установка обеспечивает радиогерметичность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дробахин О. О., Заболотный П. И., Привалов Е. Н. Резонансные свойства аксиально-симметричных микроволновых резонаторов с коническими элементами // Радиофизика и радиоастрономия. 2009. Т. 1. № 4. С. 433–441.
2. Жданкин Г. В., Новикова Г. В., Белова М. В. Разработка технологии и СВЧ установки с коническими резонаторами для термообработки пищевых отходов животного происхождения // Вестник НГИЭИ. Княгинино : НИЭУ, 2018. № 10 (89). С. 55–64.
3. Пчельников Ю. Н., Свиридов В. Т. Электроника сверхвысоких частот М. : Радио и связь, 1981. 96 с.

REFERENCES

1. **Drobahin O. O., Zabolotnyj P. I., Privalov E. N.** Rezonansnye svoystva aksial'no-simmetrichnyh mikrovolnovykh rezonatorov s konicheskimi elementami // Radiofizika i radioastronomiya. 2009. T. 1. № 4. pp. 433-441.

2. **Zhdankin G. V., Novikova G. V., Belova M. V.** Razrabotka tekhnologii i SVCH ustanovki s konicheskimi rezonatorami dlya termootobrotki nepishchevykh othodov zhivotnogo proiskhozhdeniya // Vestnik NGIEI. Knyaginino : NIEU. 2018. № 10 (89). pp. 55–64.

3. **Pchel'nikov YU. N., Sviridov V. T.** Elektronika sverhvyssokih chastot M. : Radio i svyaz', 1981. 96 p.

Новикова Галина Владимировна, доктор техн. наук, профессор,
главный научный сотрудник

Тел. 8-927-994-00-52

E-mail: NovikovaGalinaV@yandex.ru

Осокин Владимир Леонидович, канд. техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой «Электрификация и автоматизация»

Тел. 8-915-956-90-45

E-mail: osokinvl@mail.ru

Тихонов Александр Анатольевич, канд. техн. наук,
доцент кафедры «Технология металлов и ремонт машин»

Тел. 8-910-122-84-36

E-mail: tichonov57@mail.ru

С. И. БОГДАНОВ, канд. техн. наук, доцент

М. А. МАРКИН, аспирант

Н. С. ЖИЛЬЦОВА, аспирант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», Российская Федерация, г. Волгоград

S. I. BOGDANOV, Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor

M. A. MARKIN, Postgraduate

N. S. ZHILTSOVA, Postgraduate

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Agricultural University", Russian Federation, Volgograd

ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКОВ В КОНВЕКТИВНЫХ ЗЕРНОСУШИЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ ШАХТНОГО ТИПА

APPLICATION OF SENSORS IN CONVECTIVE GRAIN DRYING UNITS OF MINE TYPE

***Аннотация.** Сушка зерна является одним из наиболее важных и энергозатратных процессов в сельскохозяйственном производстве зерновых культур. Поэтому применение в зерносушильных установках современных средств измерения параметров, влияющих на качество высушиваемого материала и на процесс сушки в целом, является обязательным условием модернизации технологического процесса. В зерносушильных агрегатах, наиболее распространенными средствами измерения являются: датчики температуры, датчики влажности, датчики уровня. Таким образом, технически рациональное размещение и установка этих датчиков, позволяя контролировать все основные параметры зерна при его высушивании. При сушке зерна, применение измерительных датчиков с использованием систем автоматизированного управления позволит уменьшить расход топливно-энергетических ресурсов.*

***Ключевые слова:** сушка зерна, конвективная сушка, измерительные датчики, температура, влажность зернового материала, шахтные зерносушилки.*

Abstract. Grain drying is one of the most important and energy-intensive processes in agricultural production of grain crops. Therefore, the use of modern means of measuring parameters affecting the quality of the dried material and the drying process as a whole in grain drying plants is a prerequisite for the modernization of the technological process. In grain drying units, the most common means of measurement are: temperature sensors, humidity sensors, level sensors. Thus, technically rational placement and installation of these sensors allows you to control all the main parameters of the grain during its drying. When drying grain, the use of measuring sensors using automated control systems will minimize the consumption of fuel and energy resources.

Keywords: grain drying, convective drying, measuring sensors, temperature, humidity of grain material, mine grain dryers.

В Российской Федерации растениеводство занимает порядка 50 % от всего сельскохозяйственного производства. Зерновые культуры выращиваются во многих регионах нашей страны, в которых климатические условия весьма разнообразны, и погодные явления зачастую бывают неблагоприятны для их производства.

По данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации в 2016 году было собрано 123 млн. т. зерна, в 2017 году рекордные 135,3 млн. т. зерна, а в 2018 году 116,5 млн. т. зерна [5]. При выращивании и переработке зерновых культур, в среднем, потери составляют порядка 15 %, что при таких объемах ежегодного сбора зерна составляет 17–20 млн. т.

Уменьшение потерь зерна в его послеуборочной обработке достигается путем разработки новых и совершенствования существующих технических систем, участвующих в данном технологическом процессе. Особое внимание уделяется сушке зерновых материалов, так как она является наиболее энергозатратной, и оказывает наибольшее воздействие на обрабатываемый зерновой материал.

Сушка зерна проводится в специализированных зерносушильных установках, отличающихся не только габаритами, производительностью, но и способами воздействия на объект сушки. Широкое распространение получили зерносушильные установки шахтного, барабанного, конвейерного, карусельного и модульного типов. Каждые из этих сушилок имеют ряд достоинств и недостатков, и как показывает практика, наиболее часто встречаемым типом зерносу-

шилльных установок являются шахтные зерносушилки, основанные на конвективном способе сушки.

В условиях современной цифровизации необходимость использования автоматизированных систем с применением высокоточных измерительных приборов, становится все более актуальной. В большинстве зерносушилок техническое совершенствование направлено на уменьшение топливно-энергетических затрат, хотя при этом качество высушиваемого материала уходит на второй план, поэтому происходит несоблюдение нормативов при сушке зерна, и как следствие потеря его свойств. Именно поэтому возникает необходимость подбора такого оптимального режима сушки, при котором обеспечиваются высокое качество зерна и наилучшие технико-экономические показатели [4с.88]. Такого результата можно добиться введением адаптивной автоматизированной системы управления процессом сушки с соблюдением устойчивости управления. Такая система требует современных средств измерения (датчиков) параметров технологического процесса.

Датчик – это устройство, преобразующее входное воздействие любой физической величины в сигнал, необходимый для дальнейшего использования. В зависимости от вида измеряемой величины различают: датчики механических перемещений (линейных и угловых), пневматические, электрические, расходомеры, датчики скорости, ускорения, усилия, температуры, давления и др..В сушильных установках распространение получили датчики температуры, влажности и уровня.

Датчики температуры – в зерносушильных агрегатах применяются при измерении температуры сушильного агента, и температуры зерна. По видам датчики температуры подразделяются на: терморезисторные, полупроводниковые, термоэлектрические, пьезоэлектрические, акустические, пирометры [1]. В послеуборочной обработке зерна наибольшее распространение получили термоэлектрические датчики (термопары).

Датчики уровня – используются для определения необходимого допустимого уровня просушиваемого материала, при его загрузке в бункер или в отдельных камерах зерносушильных установок. Подразделяются на емкостные, лопастные, лотовые, ультразвуковые, вибрационные, радарные и микроволновые [2].

Датчики влажности – в зерносушилках применяют для опре-

деления влажности зернового материала. Для получения подробной информации о состоянии зерна, датчики устанавливают в загрузочных бункерах для определения влажности только поступившего зернового материала, непосредственно в сушильной камере, а также на выходе после сушки для определения влажности, и при ее превышении, отправки зерна на повторный цикл сушки.

Конструктивное расположение датчиков влажности, температуры и уровня реализовано в патенте на полезную модель № 187354 [3]. Конвективная сушилка схематично представлена на рисунке 1, включает в себя: 1 – шахту, 2 – загрузочное устройство, 3 – разгрузочное устройство, 4 – подводящие коллекторы, 5 – отводящие коллекторы, 6 – наклонные сетчатые полки, 7 – гибкие полотна, 8 – горизонтальные перегородки, 9 – заклепки, 10 – датчики влажности, 11 – датчик уровня зерна, 12 – шиберные заслонки, 13 – вибратор, 14 – датчики температуры.

Секции I, II, III служат для нагрева и сушки зернового материала, а секция IV – для его охлаждения. Таким образом, датчик влажности и уровня контролируют количество поступающего зерна, а также в зависимости от его влажности, соответствующий датчик передает параметры на блок управления, где подбирается оптимальный режим сушки. В I, II, III секциях установлены все три типа датчиков для полного контроля процесса сушки, измерения температуры зернового материала, влажности зерна на каждом этапе сушки, для задания температуры теплового агента, исключая перегрев, а также датчик уровня необходимый для контроля уровня зернового слоя в каждой секции. В секции IV расположены датчики температуры и влажности, для определения соответствующих параметров, и подачи недосушенного зерна на повторный цикл сушки.

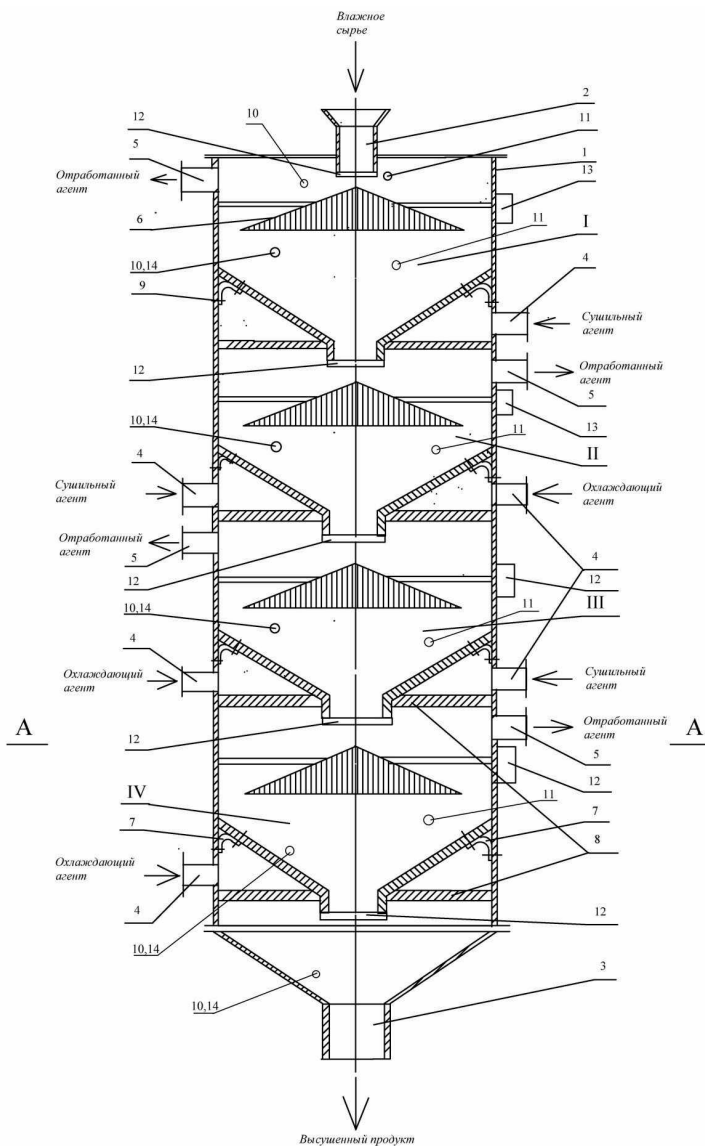


Рисунок 1 – Поперечный разрез шахтной конвективной сушилки

Использование адаптивной автоматизированной системы управления совместно с данным расположением измерительных

датчиков, позволит оптимально подбирать режимы работы зерносушильной установки в зависимости от считываемой датчиками информации, что минимизирует отрицательное воздействие сушки на качество зерна, а также уменьшит расход топлива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Датчики температуры. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.devicesearch.ru.com/article/datchiki-temperature> (дата обращения: 12.09.2019).

2. Датчики уровня сыпучих материалов. [Электронный ресурс]. URL: https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/datchiki-urovnya-sipuchih-materialov (дата обращения: 12.09.2019).

3. Пат. № 187354 Российская Федерация, СПК F26B 17/12. Конвективная сушилка / Чернявский А. Н., Плескачев Ю. Н., Рябцев В. Г., Чурзин А. П., Маркин М. А., Богданов С. И. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. № 2018131964 ; заявл. 05.09.2018 ; опубл. 01.03.2019, Бюл. № 7.

4. **Курдюмов В. И., Павлушкин А. А., Карпенко Г. В., Сутягин С. А.** Тепловая обработка зерна в установках контактного типа: монография Ульяновск : УГСХА имени П. А. Столыпина, 2013. 290 с.

5. О ходе проведения сезонных полевых сельскохозяйственных работ по состоянию на 30 ноября 2018 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://mcx.ru/analytics/spring-field-work/> (дата обращения: 11.09.2019).

REFERENCES

1. Datchiki temperature / [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.devicesearch.ru.com/article/datchiki-temperature> (data obrashcheniya: 12.09.2019).

2. Datchiki urovnya sypuchih materialov / [Elektronnyj resurs]. URL: https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/datchiki-urovnya-sipuchih-materialov (data obrashcheniya: 12.09.2019).

3. Pat. № 187354 Rossijskaya Federaciya, SPK F26B 17/12. Konvektivnaya sushilka / CHernyavskij A. N., Pleskachev YU. N., Ryab-cev V. G., CHurzin A. P., Markin M. A., Bogdanov S. I. ; zayavitel' i paten-

toobladatel' FGBOU VO Volgogradskij GAU. № 2018131964 ; zayavl. 05.09.2018 ; opubl. 01.03.2019, Byul. № 7.Kurdyumov V.I.

4. Teplovaya obrabotka zerna v ustanovkah kontaktnogo tipa: monografiya / V. I. Kurdyumov, A. A. Pavlushkin, G. V. Karpenko, S. A. Sutyagin. Ul'yanovsk : UGSKHA imeni P. A. Stolypina, 2013. 290 p.

5. O hode provedeniya sezonnyh polevyh sel'skohozyajstvennyh rabot po sostoyaniyu na 30 noyabrya 2018 g. / [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://mcx.ru/analytics/spring-field-work/> (data obrashcheniya: 11.09.2019).

Богданов Сергей Иванович, канд. техн. наук, доцент

Тел. 8-905-433-59-15

E-mail: bsi@mail.ru

Маркин Михаил Андреевич, аспирант

Тел. 8-906-174-04-74

E-mail: mast.elect@yandex.ru

Жильцова Наталья Сергеевна, аспирант

Тел.: 8-960-877-00-74

E-mail: margo.zhilcova@mail.ru

Н. П. КОНДРАТЬЕВА, доктор техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой

Р. Г. БОЛЬШИН, канд. техн. наук, преподаватель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия», Российская Федерация, г. Ижевск

С. А. ОВЧУКОВА, доктор техн. наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Чебоксары

N. P. KONDRATYEVA, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor, Head of the Department*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Izhevsk State Agricultural Academy", Russian Federation, Izhevsk

R. G. BOLSHIN, *Ph. D. of Engineering Sciences, Lecturer*

S. A. OVCHUKOVA, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Chuvash State Agricultural Academy", Russian Federation, Cheboksary

ИННОВАЦИОННЫЕ ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ СВЕТОВЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ

INNOVATIVE ENERGY-RESOURCE-SAVING LIGHT ELECTRICAL TECHNOLOGIES FOR GROWING MERISTEMIC PLANTS

***Аннотация.** В статье приведены результаты опытов по использованию инновационных энерго-ресурсосберегающих световых электротехнологий для выращивания меристемных растений картофеля реализуемых разноцветными светодиодами мощностью 1 Вт, доза излучения которых поддерживалась программным комплексом автоматизации «CoDeSys» с помощью специально разработанных программ для программируемых логических контроллеров (ПЛК).*

Ключевые слова: программируемые логические контроллеры (ПЛК), программный комплекс «CoDeSys», меристемный картофель, фотосинтетически активная радиация (ФАР), дозы зоны ФАР.

Abstract. *The article presents the results of experiments on the use of innovative energy-saving energy-saving light technologies for growing potato meristem plants sold with 1 W multi-colored LEDs, the radiation dose of which was supported by the CoDeSys automation software package using specially designed programs for programmable logic controllers (PLCs).*

Keywords: *programmable logic controllers (PLC), CoDeSys software package, meristemic potato, photosynthetically active radiation (PAR), doses of the PAR zone.*

Введение. Картофель является востребованной культурой во многих странах. Обычно картофель размножается клубнями. При этом высока вероятность заражения его вирусными, бактериальными и грибковыми заболеваниями, что существенно уменьшает урожай культуры. Использование метода меристемного выращивания картофеля (in vitro) позволяет получить за полгода до 20...40 тысяч не зараженных инфекциями точных генетических копий растений при урожайности такого картофеля от 10 до 15 кг/м² [2, с. 43; 7, с. 115].

С учетом того, что осветительными установками расходуется около 30 % всей генерируемой электрической энергии, то эффективное расходование электрической энергии на эти цели приведет к ощутимой экономии электрической энергии [2, с. 15; 10, с. 23].

Принимая во внимание то, что до 95 % урожая формируется за счет усвоенной энергии ФАР, то необходимо разработать инновационные энерго-ресурсосберегающие светодиодные фитоустановки, спектр излучения которых как можно эффективнее использовался растениями. [5, с. 476, 12, с. 33].

В Удмуртской Республике меристемный картофель выращивается в Удмуртском Федеральном исследовательском центре Уральского отделения Российской Академии Наук (УдмФИЦ УрО РАН) под экологически опасными ртутными люминесцентными лампами типа ЛБ 80, у которых невозможно изменять спектральный состав излучения [1, с. 71].

В настоящее время в существующих светодиодных фитоустановках спектральный состав изменяется в ручном режиме. На продуктивность растений в первую очередь оказывают влияние дозы спектральных составляющих зоны ФАР. Поэтому с помощью ПЛК можно управлять автономно работой различных по цвету светодиодов в фитоустановках и получать не только требуемую дозу спектральных составляющих зоны ФАР, но и корректировать ее для получения наибольшей продуктивности при уменьшении затрат на облучение (освещение) [3, с. 78; 4, с. 83; 6, с. 364].

Исследования выполнялись в течение десяти лет в соответствии с отраслевой научно-технической программой № 01201350385 «Исследования и разработка электротехнологий на предприятиях агропромышленного комплекса (АПК)».

Целью работы является повышение эффективности светодиодных фитоустановок для меристемного картофеля за счет научного обоснования наиболее эффективных доз спектральных составляющих зоны ФАР, позволяющих увеличить выход здорового меристемного картофеля и снизить потребление электроэнергии на его выращивание.

Биологи считают, что растения все-таки сохраняют свои биологические свойства, которые они приобрели в местах своего первоначального произрастания и возделывания (на генетической родине). Поэтому для повышения продуктивности овощных культур, необходимо создать для них условия близкие к исторической родине культуры. Картофель впервые круглогодично стал возделываться в субтропиках и тропиках в странах Перу, Эквадор, Боливия, в которых получают до 4-х урожаев культуры в год до сих пор. Поэтому мы решили смоделировать спектральный состав зоны ФАР генетической родины картофеля [2, с. 79]. Принимая во внимание, что растение является аккумулятивным объектом, то на его развитие существенно влияют дозы излучения зон ФАР ($N_{\text{ФАР}}$), которая определяется как:

$$N_{\text{фар}} = Et \quad (1)$$

где E – излучение (облученность, освещенность, интенсивность), t – время действия этого излучения (экспозиция).

Для расчета $N_{\text{ФАР}}$ была разработана методика расчета интенсивности и длительности экспозиции отдельных составляющих зо-

ны ФАР солнечного излучения для Перу и Краснодара, взятого нами для сравнения, как основной житницы России [2, с. 151; 9, с. 140; 11, с. 473].

Была разработана методика расчета дозы спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения. С помощью пакета MS Excel мы получили математические зависимости, описывающие изменение каждой составляющей спектра излучения Солнца в весенний и летний периоды для Перу и Краснодара. Например, для Краснодара в марте месяце фиолетового излучения описывается следующей зависимостью при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,9979$:

$$Y_{\text{фиол_мар}} = -0,0279x^3 + 1,4962x^2 + 3,6333x \quad (2)$$

где x – угол высоты солнца, град, от $0,5^\circ$ до 40°

Расчеты показали, что в Краснодаре в марте максимальный угол высоты солнца составляет 40° , а в мае – 60° , а в Перу в марте и в мае максимальный угол высоты солнца одинаков и составляет 80° .

Под продуктивностью меристемного картофеля, который выращивается в пробирках, мы принимаем площадь листьев. Нами была найдена зависимость между дозой спектральных составляющих зоны ФАР и продуктивностью меристемного картофеля.

При облучении разрядной лампой ЛБ 80 (контроль) зависимость площади листьев (S) от длины волны (x) имеет вид:

$$S_{\text{контр_лб}} = \frac{400}{1 + 10^{-0,0485 - 0,2925x}} \quad (3)$$

При облучении светодиодной фитоустановкой с имитацией спектра Краснодара зависимость площади листьев (S) от длины волны (x) имеет вид:

$$S_{\text{Краснодар}} = \frac{445}{1 + 10^{0,1772 - 0,3143x}} \quad (4)$$

При облучении светодиодной фитоустановкой с имитацией спектра Перу зависимость площади листьев (S) от длины волны (x) имеет вид:

$$S_{\text{Перу}} = \frac{505}{1 + 10^{0,3258 - 0,3796x}} \quad (5)$$

Нами предлагается следующая математическая модель по определению наиболее эффективного источника излучения,

учитывающая влияние дозы спектральных составляющих зоны ФАР на удельную продуктивность меристемного картофеля (количества растений) [2, с. 135]:

$$\left(\frac{3}{G_{\text{ПРОД}}}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{3_{\text{ОУ}} = f(H_{\text{ФАР}})}{V = F(H_{\text{ФАР}})}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

где $3_{\text{ОУ}} = f(H_{\text{ФАР}})$ – расходы на реализацию предлагаемых технических решений в зависимости от дозы спектральных составляющих зоны ФАР; $V = F(H_{\text{ФАР}})$ – количество полученных меристемных растений в зависимости от дозы спектральных составляющих зоны ФАР; $n = 3$ – это количество факторов, влияющих на продуктивность растения: фотосинтез, фотоморфоз и фотопериодизм. В виду того, что для осуществления процесса фотосинтеза необходимо самое максимальное значение энергии (20...30 Вт/м²), для фотоморфогенеза – 3...5 Вт/м² и фотопериодизма – 1...3 Вт/м², то в нашей модели мы принимаем во внимание только самый энергоемкий процесс, т. е. фотосинтез и поэтому показатель становится равным 1.

$$V_{\text{КОНТ}} = \int_0^{30} \frac{400}{1 + 10^{-0,0485 - 0,2925x}} dx;$$

$$V_{\text{Краснодар}} = \frac{445}{1 + 10^{0,1772 - 0,3143x}};$$

$$V_{\text{Перу}} = \frac{505}{1 + 10^{0,3258 - 0,3796x}} dx.$$

В интегралах под «х» понимается количество дней выращивания.

Следовательно, получаем для контроля с лампами ЛБ 80:

$$\left(\frac{3}{G_{\text{ПРОД}}}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{3_{\text{ОУ}} = f(H_{\text{ФАР}})}{V_{\text{КОНТ}} = F(H_{\text{ФАР}})}\right)^{\frac{1}{n}} = 60,02 \text{ руб./раст.}$$

Для варианта «Краснодар»:

$$\left(\frac{3}{G_{\text{ПРОД}}} \right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{3_{\text{ОУ}} = f(H_{\text{ФАР}})}{V_{\text{Красн}} = F(H_{\text{ФАР}})} \right)^{\frac{1}{n}} = 52,10 \text{ руб./раст.}$$

Для варианта «Перу»:

$$\left(\frac{3}{G_{\text{ПРОД}}} \right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{3_{\text{ОУ}} = f(H_{\text{ФАР}})}{V_{\text{Перу}} = F(H_{\text{ФАР}})} \right)^{\frac{1}{n}} = 46,3 \text{ руб./раст.}$$

Таким образом, за счет эффективного использования растениями энергии излучения зоны ФАР мы получили снижение удельных затрат в 1,3 раза от использования предлагаемых нами **инновационных энерго-ресурсосберегающих облучателей**.

Светодиодные установки для меристемных растений создавались нами, начиная с 2009 года. [2, с. 153; 8, с. 63; 13, с. 39].

По технологии выращивания, УдмФИЦ УрО РАН, меристемные растения растут 30 дней.

Реализация спектрального состава исторической родины картофеля государства Перу и житницы России – Краснодара осуществлялась с применением ПЛК российской фирмы Овен и немецкой Schneider Electric.

Программа для Перу обеспечивает работу фитоустановок в течение 30 дней по 16 часов в сутки, с изменением спектрального состава в течение дня в зависимости от высоты солнца, как это происходит при естественных условиях (рисунок 1) [5, с. 364].

Программа для Краснодара работает по 16 часов в сутки по следующему алгоритму: 10 дней имитируется спектр марта, следующие 10 дней – спектр апреля и последние 10 дней – спектр мая. Программа позволяет изменять спектральный состав излучения в течение дня.

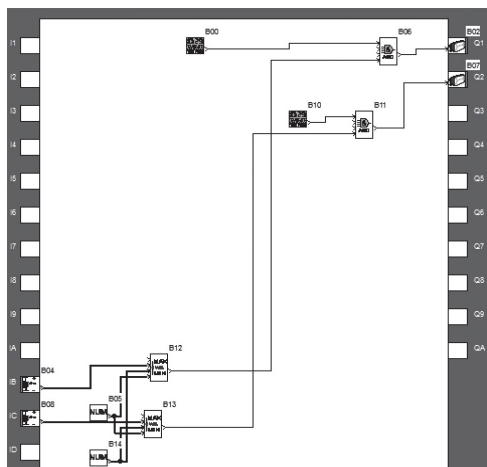
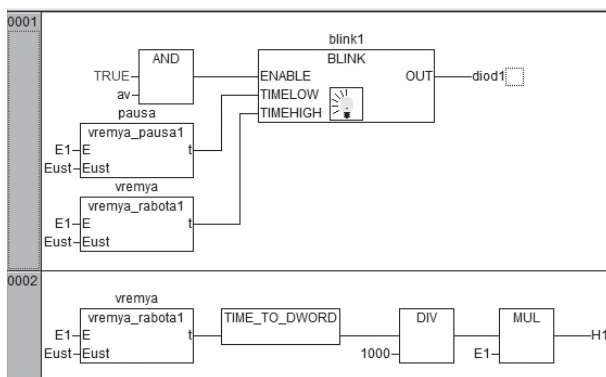


Рисунок 1 – Схема программы для ПЛК ZelioLogic

Для ПЛК фирмы Овен разработана программа, **написанная на языке FBD, для управления работой светодиодов одного цвета с применением инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys»,** в которой заложены данные по изменению спектрального состава Перу и юга России – Краснодара (рисунок 2) [10, с. 23].



**Рисунок 2 – Фрагмент программы для ПЛК фирмы Овен,
написанной на языке FBD с применением инструментального
программного комплекса промышленной автоматизации
«CoDeSys»**

Разработанные схемы системы управления интеллектуальной светодиодной установкой на базе ПЛК позволяют имитировать спектральный состав излучения для любой конкретной местности в течение дня и на протяжении требуемых месяцев.

Результаты исследований Эксперименты проводились в меристемной лаборатории УдмФИЦ УрО РАН с 2009 по 2014 гг. В опытах 2014 года сравнивались три варианта:

В таблице 1 приведены результаты исследований.

Таблица 1 – Исследование влияния спектрального состава излучения фитоустановок на развитие меристемного картофеля

Параметры	Схема Перу	Схема Краснодар	ЛБ 80 (контроль)
Действительное время работы облучательной установки, ч	2080	2240	2400
Расход электроэнергии, %	87	93	100
Изменение площади листьев, %	126	116	100
Удельные затраты электроэнергии, %	43,5	48,2	100

Анализ изменения ассимиляционной площади листьев показал, что наибольшая площадь листьев оказалась при выращивании растений под фитоустановкой по схеме Перу.

Выводы

Технико-экономическое обоснование эффективности применения светодиодных фитоустановок при выращивании меристемного картофеля проведено методом приведенных затрат.

Расчеты показали, что применение предлагаемой фитоустановки с имитацией спектра Перу позволяет сократить сроки готовности меристемных растений картофеля на 4 дня и получить за счет этого за год примерно на 15 % растений больше по сравнению с контролем. Ожидаемый экономический эффект составляет около 76 тыс. руб., доход от сэкономленной электроэнергии равен 148 тыс. руб., при сроке окупаемости светодиодных фитоустановок около 4 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов В. В., Коваленко О. Ю., Семенов Ю. Н., Овчукова

С. А. Экологическая безопасность, эксплуатационная надежность установок с разрядными лампами в сельскохозяйственном производстве // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 2(5). С. 71–76.

2. Большин Р. Г. Повышение эффективности облучения меристемных растений картофеля светодиодными (LED) фитоустановками : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Большин Роман Геннадьевич. М., ВИЭСХ. 2016. 178 с.

3. Большин Р. Г., Кондратьева Н. П., Краснолуцкая М. Г. Облучательная установка с УФ диодами и микропроцессорной системой автоматического управления дозой // Светотехника. 2019. № 2. С. 78–81.

4. Filatov D. A., Kondratyeva N. P., Terentyev P. V., Maksimov I. I., Pushkarenko N. N. Study of the pulsation coefficient and influence on the desing solutions of promising lighting systems for greenhouses // В книге: Перспективы развития аграрных наук Материалы Международной научно-практической конференции. Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 83–85.

5. Кондратьева Н. П., Корепанов Р. И., Батурин А. И. Энерго- и ресурсосберегающие облучательные установки для растений in vitro // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве / Материалы IV Национальной научно-практической конференции. В 2-х томах. Редколлегия: Э. Ю. Абдуллазянов [и др.]. 2018. С. 476–477.

6. Kondrateva N. P., Obolensky N. V., Bolshin R. G., Baturin A. I., Krasnolutsckaya M. G. Power – and resource-saving electric lighting technologies in agricultural engineering for protected soil // В сборнике: Advances in Engineering Research International Scientific and Practical conference "Agrosmart – Smart Solutions for Agriculture" (AGROSMART 2018) Tyumen, 16–20 июля 2018 г. 2018. С. 364–369.

7. Кондратьева Н. П., Большин Р. Г., Краснолуцкая М. Г., Корепанов Р. И., Ильясов И. Р., Сомова Е. Н., Маркова М. Г. Результаты опытов по облучению меристемного винограда различными светодиодными облучательными установками // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 2 (27). С. 112–118.

8. Кондратьева Н. П., Корепанов Р. И. Повышение эффек-

тивности облучения LED фитоустановками меристемного винограда // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 3 (28). С. 63–70.

9. **Kondrateva N. P., Krasnolutsкая M. G., Dukhtanova N. V., Obolensky N. V.** Innovative energy – saving technology of irradiation of seeds of coniferous trees // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 4 (21). С. 140–146.

10. **Кондратьева Н. П., Корепанов Р. И., Ильясов И. Р., Большин Р. Г., Краснолуцкая М. Г.** Интеллектуальная светодиодная фитоустановка // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики / Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках IV Всероссийского светотехнического форума с международным участием. Ответственный редактор О. Е. Железникова. 2017. С. 23–28.

11. **Kondrateva N. P., Krasnolutsкая M. G., Dukhtanova N. V., Obolensky N. V.** Effect of ultraviolet radiation the germination rate of tree seeds // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science International Jubilee Scientific and Practical Conference "Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)". 2019. С. 012–049.

12. **Рудобашта С. П.** Ресурсо- и энергосбережение в промышленных технологиях // Современные задачи инженерных наук сборник пленарных докладов Международного научно-технического Форума «Первые международные Косыгинские чтения». 2017. С. 33–41.

13. **Терентьев П. В., Кондратьева Н. П., Филатов Д. А.** Сравнительный экспериментальный анализ по электромагнитной совместимости разрядных и светодиодных искусственных источников света для растениеводства // Вестник НГИЭИ. 2018. № 12 (91). С. 39–49.

REFERENCES

1. **Belov V. V., Kovalenko O. Yu., Semenov Yu. N., Ovchukova S. A.** Ekologicheskaya bezopasnost. ekspluatatsionnaya nadezhnost ustanovok s razryadnymi lampami v selskokhozyaystvennom proizvodstve // Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2018. № 2 (5). pp. 71–76.

2. **Bol'shin R. G.** Povyshenie effektivnosti oblucheniya meristemnykh rastenij kartofelya svetodiodnymi (LED) fitoustanovkami : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.20.02 / Bol'shin Roman Gennad'evich. M. , VIESKH. 2016. 178 s.

3. **Bolshin R. G., Kondrateva N. P., Krasnolutsкая M. G.** Obluchatel'naya ustanovka s UF diodami i mikroprotsessornoy sistemoy avtomaticheskogo upravleniya dozoy // Svetotekhnika. 2019. № 2. pp. 78–81.

4. **Filatov D. A., Kondrateva N. P., Terentyev P. V., Maksimov I. I.** Study of the pulsation coefficient and influence on the design solutions of promising lighting systems for greenhouses // V knige: Perspektivy razvitiya agrarnykh nauk / Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Cheboksary: Chuvashskaya gosudarstvennaya selskokhozyaystvennaya akademiya. 2019. pp. 83–85.

5. **Kondrateva N. P., Korepanov R. I., Baturin A. I.** Energo- i resursosberegayushchiye ob-luchatel'nyye ustanovki dlya rasteniy in vitro // Pribo-rostroyeniye i avtomatizirovannyy elektroprivod v toplivno-energeticheskom komplekse i zhilishchno-kommunalnom khozyaystve Materialy IV Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2-kh tomakh. Red-kollegiya: E. Yu. Abdullazyanov [i dr.]. 2018. pp. 476–477.

6. **Kondrateva N. P., Obolensky N. V., Bolshin R. G., Baturin A. I., Krasnolutsкая M. G.** Power – and resource-saving electric lighting technologies in agricultural engineering for protected soil // V sbornike: Advances in Engineering Research International Scientific and Practical Conference "Agrosmart – Smart Solutions for Agriculture" (Agrosmart 2018) Tyumen. 16–20 iyulya 2018 g. 2018. pp. 364–369.

7. **Kondrateva N. P., Bolshin R. G., Krasnolutsкая M. G., Korepanov R. I., Iliasov I. R., Somova E. N., Markova M. G.** Rezultaty opytov po oblucheniyu meristemnogo vinograda razlichnymi svetodiodnymi obluchatel'nymi ustanovkami // Innovatsii v selskom khozyaystve. 2018. № 2 (27). pp. 112–118.

8. **Kondrateva N. P., Korepanov R. I.** Povysheniye effektivnosti oblu-cheniya LED fitoustanovkami meristemnogo vino-grada // Inno-vatsii v selskom khozyaystve. 2018. № 3 (28). pp. 63–70.

9. **Kondrateva N. P., Krasnolutsкая M. G., Dukhtanova N. V., Obolensky N. V.** Innovative energy – saving technology of irradiation of seeds of coniferous trees // Agrotekhnika i energoobespecheniye. 2018. № 4 (21). pp. 140–146.

10. **Kondrateva N. P., Korepanov R. I., Iliasov I. R., Bolshin R. G., Krasnolutsкая M. G.** Intellektualnaya svetodiodnaya fitoustanovka // Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoy svetotekhniki. elektrotekhniki i energetiki materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem v ramkakh IV Vserossiyskogo svetotekhnicheskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiyem. Otvetstvennyy redaktor O. E. Zheleznikova. 2017. pp. 23–28.

11. **Kondrateva N.P., Krasnolutsкая M. G., Dukhtanova N. V., Obolensky N. V.** Effect of ultraviolet radiation the germination rate of tree seeds // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science International Jubilee Scientific and Practical Conference "Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)". 2019. pp. 012–049.

12. **Rudobashta S. P.** Resurso- i energosberezheniye v promyshlennyykh tekhnologiyakh // Sovremennyye zadachi inzhenernykh nauk sbornik plenarnykh dokladov Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo Forumа «Pervyye mezhdunarodnyye Kosyginiskiye chteniya». 2017. pp. 33–41.

13. **Terentyev P. V., Kondrateva N. P., Filatov D. A.** Sravnitelnyy eksperimentalnyy analiz po elektromagnitnoy sovmosti-mosti razryadnykh i svetodiodnykh iskusstvennykh istochnikov sveta dlya rasstaniyevodstva // Vestnik NGIEI. 2018. № 12 (91). pp. 39–49.

Кондратьева Надежда Петровна, доктор техн. наук, профессор,
заведующая кафедрой

Тел. 8-912-856-12-45

E-mail: aer_isha@mail.ru

Большин Роман Геннадьевич, канд. техн. наук, преподаватель

Овчукова Светлана Александровна, доктор техн. наук, профессор

Д. В. ПОРУЧИКОВ, *научный сотрудник*

И. Г. ЕРШОВА, *канд. техн. наук, научный сотрудник*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Российская
Федерация, г. Москва

D. V. PORUCHIKOV, *research associate*

I. G. ERSHOVA, *Ph. D. of Engineering Sciences, Research Officer*

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", Russian Federation, Moscow

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СУБПРОДУКТЫ КУР В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

INVESTIGATION OF THE ELECTROPHYSICAL EFFECT ON THE CHICKEN VISCERA IN AN EXPERIMENTAL SETUP

***Аннотация.** Разработана экспериментальная установка для электрофизического воздействия на субпродукты кур. Определены параметры и режимы электрофизического воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты на субпродукты кур (сердце, мышечный желудок). Исследования температурных полей показали, что термообработка сырья в резонаторе-барабане позволяет снизить неравномерность эндогенного нагрева субпродуктов до 1–3 °С. Динамику нагрева сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты предварительно исследователи в стационарном режиме. Для этого поместили диэлектрический лоток с разным сырьем в резонаторную камеру без вращения. При этом сырье нагревается до 70 °С за 180 с при удельной мощности 7 Вт/г. Уравнения регрессии адекватно описывают процесс термообработки мясного сырья под влиянием исследуемых факторов. Оптимальная производительность установки для термообработки субпродуктов кур 1,33–20 кг/ч достигается при удельной мощности 0,08–0,4 Вт/кг и при продолжительности обработки 0,5–1,0 ч.*

Ключевые слова: электрофизическое воздействие, электромагнитное поле сверхвысокой частоты, посол, субпродукты кур.

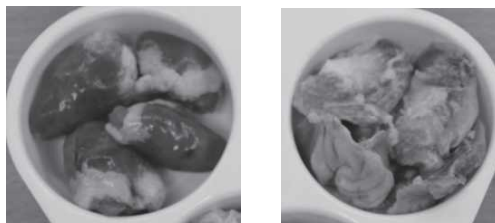
Abstract. *An experimental setup has been developed for the electrophysical effects on chicken by-products. The parameters and modes of the electrophysical effects of an electromagnetic field of ultrahigh frequency on by-products of chickens (heart, muscle stomach) are determined. The study of temperature fields showed that the heat treatment of the raw materials in the resonator drum allows to reduce the unevenness of endogenous heating of offal to 1–3 ° C. The dynamics of the heating of raw materials in an electromagnetic field of ultra-high frequency are previously researchers in a stationary mode. For this, a dielectric tray with different raw materials was placed in the resonator chamber without rotation. In this case, the raw material is heated to 70 ° C in 180 s at a specific power of 7 W / g. The regression equations adequately describe the process of heat treatment of meat raw materials under the influence of the studied factors. The optimal productivity of the installation for heat treatment of chicken by-products of 1.33–20 kg / h is achieved with a specific power of 0.08–0.4 W / kg and with a processing time of 0.5–1.0 hours.*

Keywords: *electrophysical effects, microwave electromagnetic field, salting, chicken viscera.*

По статическим данным за 2018 год общий объем перерабатываемых субпродуктов (печень КРС и свиней, сердце и мышечный желудок птиц) по РФ составляет 60,57 тыс. т. С увеличением производства продукции животноводства встает вопрос рационального использования субпродуктов. В настоящее время такое сырье преимущественно реализуется без переработки. Нами предлагается способ электрофизического воздействия на сырье в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) в процессе массирования в рассоле для получения вареной продукции.

Цель исследования – определить параметры и режимы электрофизического воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты на субпродукты кур (сердце, мышечный желудок) в разработанной экспериментальной установке.

Материалы и методы. В качестве исследуемого сырья применяли субпродукты кур: птичье сердце, мышечный желудок птиц (рисунк 1).



**Рисунок 1 – Исследуемое сырье из кур:
сердце, мышечный желудок**

Использовали измеритель температуры Testo 925 с зондами термопар, одноканальный контактный термометр, с подключением зондов термопар типа К, и диапазоном измерений от -50 до $+1000$ $^{\circ}\text{C}$, погрешностью $\pm 0,5$ $^{\circ}\text{C}$; бесконтактный инфракрасный термометр FLUKE 62 Mini, с лазерным наведением, диапазоном измерений от 30 до 500°C , обладающего точностью ± 1 %, измерение концентрации рассола заливаемого в рабочую камеру изготовленной установки проводили при помощи ионометра МУЛЬТИТЕСТ ИПЛ-101. Исследование распределения теплового потока по поверхности сырья проводили при помощи тепловизоров FLIRi3 и FLIRi335. Диапазон измеряемых температур от -20 $^{\circ}\text{C}$ до $+250$ $^{\circ}\text{C}$, погрешность ± 2 $^{\circ}\text{C}$ или ± 2 % от показания.

Визуализация распределения ЭМП в резонаторе-барабане и вычисления собственной добротности и напряженности электрического поля осуществляли в программе CST Microwave Studio [6]. При экспериментальных исследованиях применяли трехфакторный эксперимент типа 2^3 в программах Statistic 12.0, Excel 10.0. В программе Компас-3D V17 проводили трехмерное моделирование конструкционного исполнения разработанных СВЧ установок с резонаторами-барабанами, выполненными в виде беличьей клетки из труб, стержней или перфорированными [5]. На основе мясомассажера [4] разработали и изготовили СВЧ установку с резонатором-барабаном, выполненный в виде беличьей клетки, представлен на рисунке 2 [3].

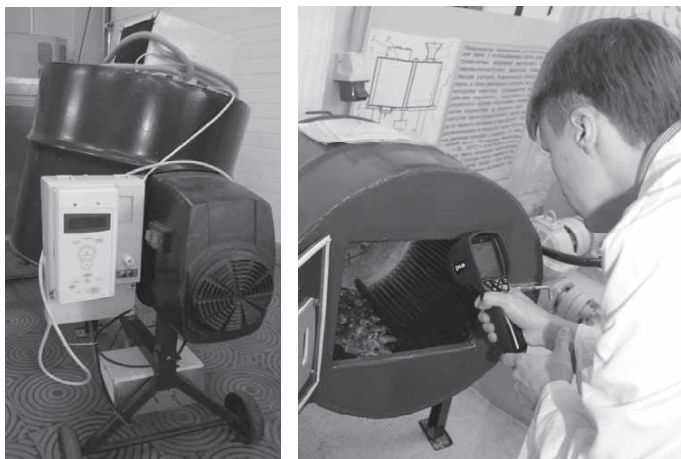


Рисунок 2 – Разработанный и изготовленный образец СВЧ установки с резонатором-барабаном

Результаты и обсуждение

Визуализация распределения ЭМП в резонаторе-барабане разработанной экспериментальной установки и вычисления собственной добротности и напряженности электрического поля использовали прикладное программное обеспечение CST Microwave Studio, в режиме переходного процесса. Применение данной программы позволило:

- эффективно провести моделирование структур с потерями и без потерь;
- вычислить E -, H -поля;
- выполнить адаптацию разбивочной сетки для пространственного расчета;
- произвести расчет распределения поля в сечении порта;
- реализовать многоэлементные порты с ТЕМ волнами;
- рассчитать эффективную поверхность рассеяния RCS;
- визуализировать представление различных характеристик электромагнитного типа: электрического поля, магнитного поля, поверхностных токов, потоков мощности, плотности потерь, а также тепловых характеристик [1, 2].

Исследования температурных полей, проведенные с помощью

тепловизора FLIRi3 (рисунок 2), показывают, что термообработка мясного сырья в резонаторе-барабане позволяет снизить неравномерность эндогенного нагрева субпродуктов до 1–3 °С.

Динамику нагрева мясного сырья в ЭМПСВЧ предварительно исследователи в стационарном режиме [7]. Для этого поместили диэлектрический лоток с разным сырьем в резонаторную камеру без вращения (рисунок 3). При этом сырье нагревается до 70 °С за 180 с при удельной мощности 7 Вт/г.

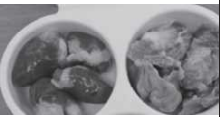
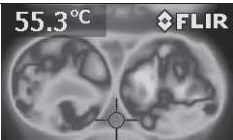
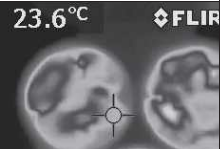
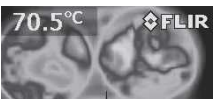

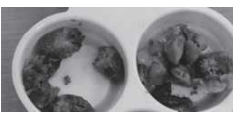
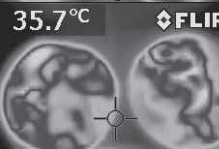
Продолжительность воздействия, с	Результаты исследования распределения температуры на поверхности сырья с помощью FLIR i3	Продолжительность воздействия, с	Результаты исследования FLIR i3
0		120	
30		180	
60			
90			

Рисунок 3 – Результаты исследования распределения температурного поля по поверхности субпродуктов: 1 – куриное сердце (слева), 2 – куриный мышечный желудок (справа)

Пользуясь программой «STATISTICA 12.0», построены поверхности отклика и двумерные сечения в изолиниях моделей производительности установки, дозы воздействия и бактериальной обсемененности в зависимости от варьируемых параметров (удельной мощно-

сти, продолжительности воздействия ЭМП СВЧ и частоты вращения).

В качестве основных факторов, влияющих на процесс термообработки сырья были выбраны: удельная мощность СВЧ генераторов $P_{уд}$, Вт/г (x_1); продолжительность воздействия ЭМП СВЧ τ , ч (x_2); частотой вращения рабочей камеры n , об/мин (x_3). Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими условиями и конструкционными параметрами СВЧ установки. Факторы были совместимы и не коррелированы между собой, а пределы их изменения принимались равными:

$$(x_1) 0,08 \times 10^{-3} \leq P_{уд} \leq 0,4 \times 10^{-3} \text{ Вт/кг};$$

$$(x_2) 0,5 \leq \tau \leq 1 \text{ ч};$$

$$(x_3) 13 \leq n \leq 33 \text{ об/мин.}$$

Критериями оптимизации являются:

Y_1 – производительность СВЧ установки (Q , кг/ч);

Y_2 – доза воздействия ЭМП СВЧ (D , Вт·ч/кг);

Y_3 – бактериальная обсемененность ($ОМЧ$, КОЕ/г);

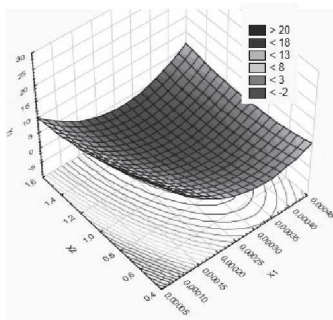
Y_4 – энергетические затраты на процесс (W , кВт·ч/кг).

Из анализа уравнений выявлены такие режимы работы установки, которые обеспечивают минимум удельных энергетических затрат на термообработку и массирование сырья и максимум снижения его микробиологической обсемененности. В уравнение регрессии факторы x_1 , x_2 , x_3 ввести в именованных единицах. Абсолютная величина фактора на любом уровне определяется по следующей формуле:

$$X = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i},$$

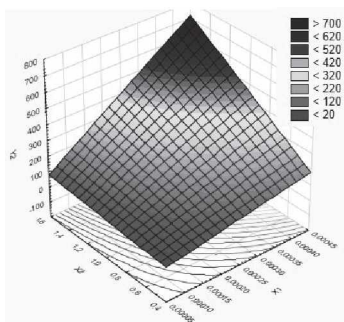
где x_i – значение фактора на основном (нулевом) уровне; Δx_i – интервал варьирования фактора.

При этом необходимо оценить эффективность оценки качества устройства и его запасных частей [8].

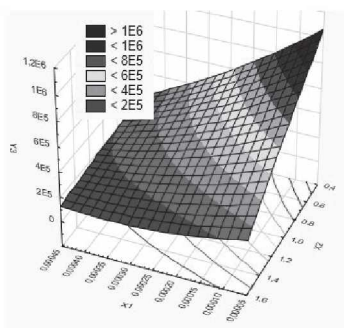


а

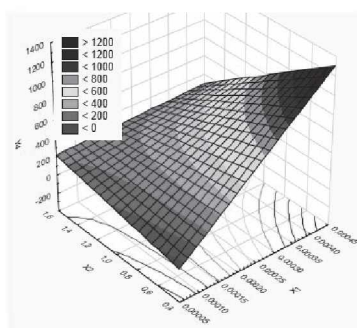
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4 – Поверхность отклика и двумерное сечение в изолиниях трехфакторных моделей в зависимости от удельной мощности и продолжительности обработки в ЭМП СВЧ при частоте вращения барабана, равной 23 об/мин:

а) производительность; б) доза воздействия; в) общее микробное число; г) энергетические затраты

Выводы. Обработка электрофизическим воздействием в разработанной установке позволит произвести термообработку субпродуктов кур, что подтверждено экспериментально.

Полученные эмпирические выражения характеризуют зависимость критериев оптимизации от варьируемых параметров.

$$Q = 42,29 - 1,79 \times 10^5 x_1 - 28,12 x_2 + 2,53 \times 10^8 x_1^2 + 27865,39 x_1 x_2 + 7,37 x_2^3.$$

$$D = -0,16 + 12327,34x_1 - 1,53x_2 + 2,59 \times 10^7 x_1^2 + 1 \times 10^6 x_1 x_2 + 0,73x_2^2.$$

$$\text{ОМЧ} = 1,47 \times 10^6 - 3,48 \times 10^9 x_1 - 6,53 \times 10^5 x_2 + 1,45 \times 10^{12} x_1^2 +$$

$$+ 1,53 \times 10^9 x_1 x_2 - 5394,41x_2^2.$$

$$W = -356,66 + 4,46 \times 10^6 x_1 + 354,91x_2 - 6,02 \times 10^7 x_1^2 -$$

$$- 2,66 \times 10^6 x_1 x_2 - 0,15x_2^2.$$

Уравнения регрессии адекватно описывают процесс термообработки мясного сырья под влиянием исследуемых факторов. Оптимальная производительность установки для термообработки субпродуктов кур 1,33–20 кг/ч достигается при удельной мощности 0,08–0,4 Вт/кг и при продолжительности обработки 0,5–1,0 ч.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Poruchikov Dmitrii, Vasilyev Alexey, Samarin Gennady, Ershova Irina Kovalev Andrey, Fomchenko Alexander, Normova Tatiana. Experimental data of meat raw parameter change by electrophysical impact // *Helix*. Vol. 9 (4). 2019. pp. 5144–5151.

2. **Самоделкин А. Г., Ершова И. Г., Поручиков Д. В., Белова М. В., Матвеева А. Н.** Анализ электрофизических параметров мясного сырья // *Естественные и технические науки*. 2015 № 6 (84). С. 501–504.

3. **Belova M. V., Novikova G. V., Ershova I. G., Ershov M. A., Mikhailova O. V.** Innovations in Technologies of Agricultural Raw Materials Processing // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016. T. 11. № 6. С. 1269–1277.

4. **Белова М. В., Белов А. А.** Электромеханический мясодомашинер // Роль молодых ученых в решении приоритетного национального проекта «Развитие АПК». Чебоксары : ФГОУ ВПО «Чувашская ГСХА», 2007. С. 208–209.

5. **Спирин Н. А., Лавров В. В.** Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Екатеринбург : Уральский государственный технический университет – УПИ. 2004. 357 с.

6. **Васильев А. А., Васильев А. Н., Будников Д. А.** Моделирование процесса нагрева зерна в СВЧ-поле универсального электротехнического модуля при различных алгоритмах работы электрооборудования // *Вестник аграрной науки Дона*. 2016. Т. 1. № 33.

С. 12–17.

7. **Родионова А. В., Боровков М. С., Ершов М. А.** Обоснование выбранной частоты электромагнитных излучений при физиопрофилактике крольчат // Нива Поволжья. 2012. № 1(22). С. 108–110.

8. **Дорохов А. С.** Эффективность оценки качества сельскохозяйственной техники и запасных частей // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина. 2015. № 1(65). С. 31–35.

REFERENCES

1. Poruchikov Dmitrii, Vasilyev Alexey, Samarin Gennady, Ershova Irina Kovalev Andrey, Fomchenko Alexander, Normova Tatiana. Experimental data of meat raw parameter change by electrophysical impact // Helix. Vol. 9 (4). 2019. P. 5144–5151.

2. **Samodelkin A. G., Ershova I. G., Poruchikov D. V., Belova M. V., Matveeva A. N.** Analysis of electrophysical parameters of raw meat // Natural and technical sciences. 2015. No. 6 (84). pp. 501–504.

3. **Belova M. V., Novikova G. V., Ershova I. G., Ershov M. A., Mikhailova O. V.** Innovations in Technologies of Agricultural Raw Materials Processing // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11. No. 6. pp. 1269–1277.

4. **Belova M. V., Belov A. A.** Electromechanical meat massager // The role of young scientists in solving the priority national project "Development of the agro-industrial complex". Cheboksary : FSEI HPE Chuvash State Agricultural Academy, 2007. pp. 208–209.

5. **Spirin N. A., Lavrov V. V.** Methods of planning and processing the results of an engineering experiment. Ekaterinburg: Ural State Technical University UPI. 2004. 357 p.

6. **Vasiliev A. A., Vasiliev A. N., Budnikov D. A.** Modeling the process of heating grain in the microwave field of a universal electrical module with various algorithms of electrical equipment / A.A. Vasiliev, // Bulletin of the agrarian science of the Don. 2016. T. 1. No. 33. pp. 12–17.

7. **Rodionova A. V., Borovkov M. S., Ershov M. A.** The rationale for the selected frequency of electromagnetic radiation during physiologi-

cal prophylaxis of rabbits // NIVA Volga. 2012. No. 1 (22). pp. 108–110.

8. **Dorokhov A. S.** The effectiveness of assessing the quality of agricultural machinery and spare parts // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkina. 2015. No. 1 (65). pp. 31–35.

Поручиков Дмитрий Витальевич, научный сотрудник

Ирина Георгиевна Ершова, канд. техн. наук, научный сотрудник

Тел. 8-919-653-88-18

E-mail: eig85@yandex.ru

А. О. ЯКОВЛЕВ, преподаватель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», Российская Федерация, Белгородский регион, поселок Майский

A. O. YAKOVLEV, lecturer

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin", Russian Federation, Maysky settlement, Belgorod region

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

ABOUT SOME FEATURES OF USING DIGITAL SUBSTATIONS

***Аннотация.** В статье рассматривается автоматизированная система управления цифровыми подстанциями. Первые проекты цифровых подстанций уже реализованы в Европе и странах СНГ. Введена в работу первая в России цифровая подстанция высокого класса напряжения. На цифровой подстанции системы релейной защиты и управления построены на базе интеллектуальных микропроцессорных терминалов, и передача сигналов осуществляется в цифровом виде на всех уровнях управления. Цифровые подстанции имеют ряд плюсов среди которых повышение точности измерений, простота проектирования, эксплуатации и обслуживания, высокая помехозащищенность, высокая экологичность и пожаро-взрывозащищенность и значительное сокращение кабельных связей.*

***Ключевые слова:** цифровая подстанция, экономическая выгода, преимущества, зеленая энергия, инновационное оборудование.*

***Abstract.** The article discusses the automated control system for a digital substations. The first projects of digital substations have already been implemented in Europe and the CIS countries. The first high-voltage digital substation in Russia was commissioned. At a digital substation, relay protection and control systems are built on the basis of intelligent mi-*

croprocessor terminals, and signals are transmitted digitally at all control levels. Digital substations have a number of advantages, including improved measurement accuracy, ease of design, operation and maintenance, high noise immunity, high environmental friendliness and fire and explosion protection and a significant reduction in cable communications.

Keywords: *digital substation, economic benefit, advantages, green energy, innovative equipment.*

В области передачи электроэнергии революция незаметна для обычных потребителей. Электрические подстанции с их гигантскими трансформаторами, реле и силовыми выключателями становятся цифровыми, включая Интернет вещей. Технологии в электроэнергетике идут в ногу со временем, и первые проекты цифровых подстанций уже реализованы в Европе и странах СНГ.

Подстанции также имеют другую важную функцию – релейную защиту [4, с. 264]. В случае аварийной ситуации на участке цепи автоматика отключает этот участок, обеспечивая тем самым нормальную работу энергосистемы в целом. Самыми крупными подстанциями, разумеется, являются те, которые первыми в каскаде получают ток от высоковольтных магистральных линий и отвечают за электроснабжение населенного пункта, района большого города или крупного предприятия [5, с. 428].

Разумеется, сами по себе большие, принимающие высоковольтное электричество подстанции – это объекты повышенной опасности [1, 2 с. 6, 18]. Вместе с тем до недавнего времени системы управления этим оборудованием были исключительно аналоговыми и требовали присутствия на объекте значительного количества персонала. Цифровая эпоха принесла с собой возможность взять работу подстанции под контроль интеллектуального ПО и максимально исключить действие человеческого фактора.

На цифровой подстанции системы релейной защиты и управления построены на базе интеллектуальных микропроцессорных терминалов, и передача сигналов осуществляется в цифровом виде на всех уровнях управления. Все основные узлы станции подключены к выносным цифровым устройствам ввода/вывода, которые в свою очередь связаны по оптоволоконному кабелю с системой управления.

Еще одно преимущество цифровых подстанций явно проявляется в развитии «зеленой энергии», в основном ветряных и солнечных электростанций. Ветер может дуть сильнее или слабее, солнце уходит за горизонт или покрывается облаками, что в результате влечет за собой пики и провалы в энергосистеме. Подстанция под цифровым управлением помогает справиться с этой проблемой, автоматически переключая пользователей во время падения на другие объекты производящие электроэнергию, например, на ТЭЦ.

Благодаря компании General Electric (GE) новая технология уже вышла на просторы бывшего СССР – в Беларусь. Введена в эксплуатацию цифровая подстанция 110 кВ «Приречная», в которой установлена система на основе технологии Hardfiber. По сравнению с подстанцией «Блок» является упрощенным решением, так как подстанция содержит элементы традиционной аналоговой системы управления. Это, однако, имеет свои преимущества: оно не требует серьезной переподготовки персонала, наоборот, ему стало легче работать. На ПС теперь меньше пунктов, которые нужно постоянно проверять. Вся информация передается не через сеть проводов, а через один канал. Следующим этапом является создание первой в Беларуси полностью цифровой трансформаторной подстанции «Металлургическая» (330/110/10 кВ). Ее ввод в эксплуатацию произошел в 2018 году.

В России технология цифровых подстанций находится на стадии тестирования и сбора информационной базы для создания технической сертификации нового уровня. GE тестирует свое инновационное оборудование на нескольких испытательных площадках. В частности, использование оптических трансформаторов тока испытано на полигоне НТЦ ФСК ЕЭС, ТГК-1. А цифровые терминалы релейной защиты и автоматики производства GE EnergyConnections включаются под нагрузкой и проверяются рабочим током и напряжением на площадке ПАО «РусГидро» на базе Нижегородской ГЭС и подстанции 500 кВ Емелино.

Введена в работу первая в России цифровая подстанция высокого класса напряжения.

В Тюменской области 16 апреля состоялся торжественный пуск комплекса объектов для электроснабжения крупнейшего в стране строящегося нефтехимического предприятия по глубокой переработке углеводородного сырья «ЗапСибНефтехима» (проект

компании «Сибур»). В церемонии пуска подстанции приняли участие руководители ФСК и «Сибура».

Цифровая подстанция 500 кВ «Тобол» / ФСК.

Ключевое звено комплекса – подстанция 500 кВ «Тобол» являющаяся первым в России энергообъектом высокого класса напряжения, в котором комплексно реализованы передовые цифровые технологии. На ней внедрены инновационные технологии преимущественно (80 % оборудования) российского производства, их использование позволит повысить надежность и эффективность работы [3, с. 510].

На укрупненной однолинейной схеме подстанции видно (рисунок 1) что на РУ №1 установлены по два комплекта оптико-электронных трансформаторов тока 500 кВ и по два комплекта емкостных электронных делителей напряжения 500 кВ. РУ № 2 оснащено традиционными трансформаторами тока и напряжения.

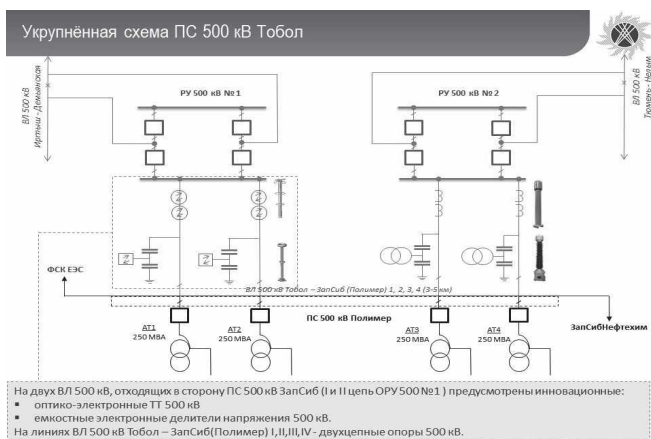


Рисунок 1 – Укрупненная схема ПС 500 кВ Тобол

При переходе к передаче сигналов на всех уровнях управления подстанцией в цифровой форме можно выделить ряд следующих достоинств:

– из-за того, что источники цифровых сигналов приближаются к первичному оборудованию происходит значительное снижение затрат на вторичные кабельные цепи, а также каналы, где их прокладывают;

– благодаря тому, что тракты для ввода аналоговых сигналов исключаются, происходит удешевление (за счет упрощения) архитектуры микропроцессорных устройств;

– из-за того, что происходит переход на оптические связи вторичных цепей и микроконтроллеров, т. е. вторичных устройств, значительно улучшается их электромагнитная совместимость [6, с. 118];

– благодаря тому, что используется унифицированный интерфейс устройств IED (Intelligent Electronic Device), возникает возможность быстрой и простой замены данных устройств, например, можно заменить устройство одного производителя на аналогичное, но уже другого.

Основные цели при создании цифровых подстанций следующие:

– протоколы для обмена и передачи данных унифицируют;

– для различных устройств обеспечивается операционная совместимость;

– кабельное хозяйство значительно уменьшается;

– для каналов управления, сбора и передачи информации необходимо обеспечить наблюдаемость параметров;

– для вторичных цепей обеспечивается уменьшение метрологических потерь;

– способы тиражирования для первичной информации значительно упрощаются;

– проверка устройств становится намного проще;

– для конфигурирования подстанции используются унифицированные механизмы;

– для устройств вторичной коммутации сформирована единая система диагностики;

– функциональная диагностика устройств и оборудования выполняется удаленно;

– энергетические объекты становятся более защищенными с точки зрения информационной безопасности;

– возможность использования необслуживаемых подстанций.

Вывод: цифровые подстанции имеют ряд плюсов среди которых повышение точности измерений, простота проектирования, эксплуатации и обслуживания, высокая помехозащищенность, высокая экологичность и пожаро-взрывозащищенность и значительное сокращение кабельных связей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вендин С. В., Килин С. В., Соловьев С. В. Оценка эффективности мероприятий по снижению несимметрии и несинусоидальности в распределительных сетях 0,4-10 кВ // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. № 2(18). С. 3–19.

2. Вендин С. В., Соловьев С. В., Килин С. В. Экспериментальные исследования несинусоидальности и несимметрии напряжений в электрических сетях 10 кВ // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 3(32). С. 18–25.

3. Килин С. В. Показателей качества электрической энергии и их влияние на распределительную сеть // Актуальные проблемы агроинженерии: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию кафедры технической механики конструирования машин. Майский : ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», 2018. С. 510–513.

4. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и подстанций 110-750 кВ. РД 153-34.0-35.617-2001. М. : ИАЦ Энергия, 2012. 264 С.

5. Руководство по составлению проекта производства работ для строительства подстанций. РД 34.04.122. М. : Энергия, 2014. 591 с.

6. Соловьев С. В., Буковцов Д. В. Проблемы электромагнитной совместимости на подстанции 110/6 кВ «Строитель» // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения материалы международной научно-практической конференции. Воронеж : ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2018. С. 118–121.

REFERENCES

1. Vendin S. V., Kilin S. V., Solov'yov S. V. Ocenka e'ffektivnosti meropriyatij po snizheniyu nesimmetrii i nesinusoidal'nosti v raspredelitel'ny'x setyax 0,4-10 kV // Innovacii v APK: problemy` i perspektivy`. 2018. № 2(18). pp. 3–19.

2. Vendin S. V., Solov'ev, S. V., Kilin S. V. E'ksperimental'ny'e isledovaniya nesinusoidal'nosti i nesimmetrii napryazhenij v e'lektricheskikh

setyax 10 kV // Vestnik VIE`SX. 2018. № 3(32). pp. 18–25.

3. **Kilin S. V.** Pokazatelej kachestva e`lektricheskoy e`nergii i ix vliyanie na raspredelitel`nuyu set` //Aktual`ny`e problemy` agroinzhenerii: materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashhennoj 30-letiyu kafedry` texnicheskoy mexaniki konstruirovaniya mashin. Majskij : FGBOU VO «Belgorodskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni V. Ya. Gorina», 2018. pp. 510–513.

4. Pravila texnicheskogo obsluzhivaniya ustrojstv relejnoj zashhity`, e`lektroavtomatiki, distancionnogo upravleniya i signalizacii e`lektrostancij i podstancij 110-750 kV. RD 153-34.0-35.617-2001. M. : IACz E`nergiya, 2012. 264 p.

5. Rukovodstvo po sostavleniyu proekta proizvodstva rabot dlya stroitel`stva podstancij. RD 34.04.122. M. : E`nergiya, 2014. 591 p.

6. **Solov`yov S. V., Bukovczov D. V.** Problemy` e`lektromagnitnoj sovmestimosti na podstancii 110/6 kV «Stroitel`» //Nauka i obrazovanie na sovremennom e`tape razvitiya: opy`t, problemy` i puti ix resheniya materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Voronezh : FGBOU VO «Voronezhskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni imperatora Petra I», 2018. pp. 118–121.

Яковлев Алексей Олегович, преподаватель

Тел. 8-904-084-53-35

E-mail: yakovlevao@gmail.com

УДК 542.47

С. П. РУДОБАШТА, доктор техн. наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», Российская Федерация, г. Москва

Г. А. ЗУЕВА, доктор физ.-мат. наук, профессор,
заведующая кафедрой

Н. А. ЗУЕВ, канд. техн. наук, инженер

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет», Российская Федерация, г. Иваново

S. P. RUDOBASHTA, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev», Russian Federation, Moscow

G. A. ZUEVA, *Advanced Doctor in of Physico-mathematical Sciences, Professor, Head of Department*

N. A. ZUEV, *Ph. D. of Engineering Sciences, Engineer*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ivanovo State University of Chemistry and Technology", Russian Federation, Ivanovo

СУШКА-СТИМУЛЯЦИЯ СЕМЯН МЕТОДОМ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕГО ИНФРАКРАСНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

DRYING-STIMULATION OF SEEDS BY THE OSCILLATING INFRARED IRRADIATION METHOD

***Аннотация.** Рассмотрен процесс осциллирующей инфракрасной сушки семян овощных культур, нетрадиционных и редких растений. Показано, что осциллирующая инфракрасная сушка семян параллельно с удалением из них влаги приводит к их существенной стимуляции, проявляющейся в увеличении энергии прорастания и*

всхожести семян. Указанный эффект сохраняется длительное время (8 месяцев и, возможно, более), что позволяет использовать этот метод стимуляции не только непосредственно перед высевом семян, но и осенью при их сушке перед закладкой на хранение. Для кинетического расчета процесса сушки семян с осциллирующим инфракрасным энергоподводом разработаны аналитические математические модели, учитывающие конвективный теплообмен семян с внешней газовой средой и их испарительное охлаждение. Аналитические решения получены для семян разной формы – пластинчатой, цилиндрической, сферической.

Ключевые слова: сушка, стимуляция, семена, инфракрасный нагрев.

Abstract. *The process of oscillating infrared drying of seeds of vegetable crops, non-traditional and rare plants is considered. It was shown that the oscillating infrared drying of seeds in parallel with the removal of moisture from them leads to their significant stimulation, which manifests itself in an increase in seed germination energy and germination. The indicated effect lasts for a long time (8 months and, possibly, longer), which makes it possible to use this method of stimulation not only immediately before sowing seeds, but also in autumn when they are dried before laying them for storage. For the kinetic calculation of the drying process of seeds with an oscillating infrared energy supply, analytical mathematical models have been developed that take into account the convective heat and mass transfer of seeds with an external gas medium and their evaporative cooling. Analytical solutions were obtained for seeds of various.*

Keywords: *drying, simulation, seeds, infrared heating.*

Процессу сушки различных материалов (преимущественно пищевых и сельскохозяйственных) уделяется в мире большое внимание, о чем свидетельствует тематика международного научно-технического журнала «Drying Technology», издаваемого в Канаде, и таких крупных международных научно-технических конференций, как «International Drying Symposium – IDS» и «EuroDrying», проводимых в разных странах с периодичностью один раз в два года. Обращает на себя внимание, что большое количество статей и докладов посвящено процессам сушки с применением электромагнитного энергоподвода (инфракрасная или СВЧ-сушка, их применение в

комбинации с конвективной сушкой).

Таким образом, можно констатировать, что исследование процессов сушки с инфракрасным энергоподводом в настоящее время весьма актуально и что нарабатываются технологии и режимы, которые в ближайшее время будут иметь широкое практическое применение.

В данной работе рассматривается процесс осциллирующей (прерывистой) инфракрасной сушки семян овощных культур, нетрадиционных и редких растений. Исследования, с семенами овощных культур, нетрадиционных и редких растений, показали, что осциллирующая сушка семян, собранных с поля, при колебании температуры семян в процессе в интервале от $t_{\min} = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{\max} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ позволяет не только сохранить посевные качества материала, но и существенно их улучшить – за счет повышения всхожести и энергии прорастания семян [1, с. 88]. На данный способ сушки-стимуляции получен патент на изобретение [2]. способ стимуляции Последующие исследования [3, с. 221:] показали, что стимулирующий эффект сохраняется длительное время – до 8 месяцев и, возможно, более. Это позволяет высушивать семена данным способом осенью, а весной при высеве иметь стимуляцию. Кроме того, было установлено [4, с. 510], что режим сушки, обеспечивающий $t_{\min} = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{\max} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, продолжительность цикла «нагрев-остывание» $\tau_{\text{ц}} = 23\text{ с}$ является наиболее эффективным.

Исследования показали, что степень стимуляции путем осциллирующего инфракрасного воздействия зависит от вида семян, а для одного и того же вида еще и от качества стимулируемых семян. Застарелые и заплесневелые семена хуже поддаются стимуляции, а семена, имеющие высокую всхожесть, не требуют стимуляции. Об этом красноречиво свидетельствуют данные по стимуляции семян огурца, приведенные в таблице 1. Семена стимулировали осциллирующим инфракрасным излучением, создаваемым лампами «OSRAM Sicatherm», при плотности теплового потока, падающего на семена $q_0 = 1890\text{ Вт/м}^2$, при следующем температурном режиме: $t_{\min} = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{\max} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$. После стимуляции семена анализировали на энергию прорастания и всхожесть в лаборатории агрофирмы «Гавриш». Всего было проведено три серии опытов. В каждой серии делали по три опыта с продолжительностью осциллирующей инфракрасной термообработки 10, 20 и 40 мин. с семенами, имеющими

разные первоначальные энергии прорастания и всхожести.

Результаты испытаний посевных качеств семян представлены в таблице 1, показывают, что наибольший эффект стимуляции проявился для сухих семян с низкой всхожестью ($B = 35\%$) – при длительности термообработки 40 мин (увеличение всхожести в 2,43 раза). При высокой начальной энергии прорастания и всхожести ($\text{Э/В} = 84/87$) эффект стимуляции не наблюдается. Это свидетельствует о том, что семена, имеющие высокие показатели энергии прорастания и всхожести, стимулировать не следует.

Таблица 1 – Результаты испытаний эффекта осциллирующей инфракрасной стимуляции

№	Культура	лот	Первичная		После обработки		Продолжительность обработки, мин
			Э/В	Плесень	Э/В	Плесень	
1	огурец	AUS 64	35/36	3 степень	0/65	1 степень	10
2	огурец	AUS 64			35/75		20
3	огурец	AUS 64			25/85		40
4	огурец	AUS 63	57/57	3 степень	60/90	1 степень	10
5	огурец	AUS 63			70/80		20
6	огурец	AUS 63			50/75		40
7	огурец	AUS 18			75/80	1 степень	10
8	огурец	AUS 18	84/84	3 степень	80/80		20
9	огурец	AUS 18			70/70		40

Поиск параметров, обеспечивающих стимуляцию семян при осциллирующем инфракрасном облучении, целесообразно осуществлять с помощью математической модели процесса методом компьютерного моделирования. Были развиты соответствующие модели для семян разной формы: пластинчатой [5, с. 830], цилиндрической [6, с. 241], сферической [7, с. 71]), которые предполагают осциллирующий инфракрасный энергоподвод, конвективный тепло-массообмен семян с внешней газовой средой, испарение влаги из семян. Полученные в этих работах уравнения были использованы здесь для расчета динамики осциллирующего инфракрасного нагрева семян разной формы и анализа на их основе технологического режима процесса.

Результаты расчета по математической модели для семян пластинчатой формы (семена огурца), полученной в [5, с. 830], приве-

дены на рисунке 1. Как видно из рисунка, найденный техно- логический режим проведения процесса (плотность лучистого по тока, падающего на семена, $q_0 = 1810 \text{ Вт/м}^2$, температура обдува- ющего их воздуха $t_c = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, скорость воздуха $v = 1,8 \text{ м/с}$) обеспе- чивает необ- ходимые технологические параметры ($t_{\min} = 34 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\max} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{ц}} = 23 \text{ с.}$), которые требуются для получения должного эффекта стиму- ляции.

На рисунке 2 показано экспериментальное изменение темпе- ратуры при осциллирующей инфракрасной сушке семян огурца в тех же условиях, что и на рисунке 1. Сопоставление рисунков 1 и 2 показывают, что результаты расчета согласуются с опытными дан- ными и, следовательно, развитая в [5, с 830] математическая модель может быть использована для расчета и численного ана- лиза дина- мики температурного поля в процессе осциллирующей инфракрас- ной сушки семян.

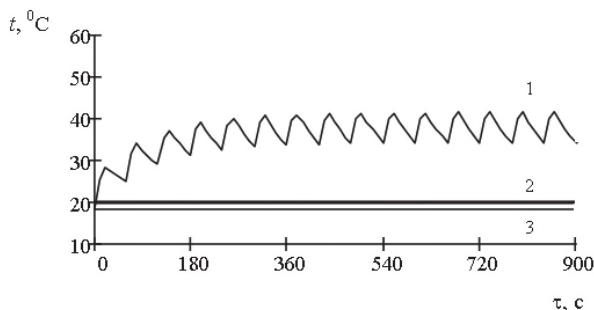


Рисунок 1 – Расчетное изменение температуры семени огурца (плоское тело) во времени при осциллирующей инфракрасной сушке ($t_{\min} = 34 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\max} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_c = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $\tau_{\text{ц}} = 23 \text{ с.}$): 1 – расчетная температура семени; 2 – температура воздуха, обдувающего семя; 3 – начальная температура семени

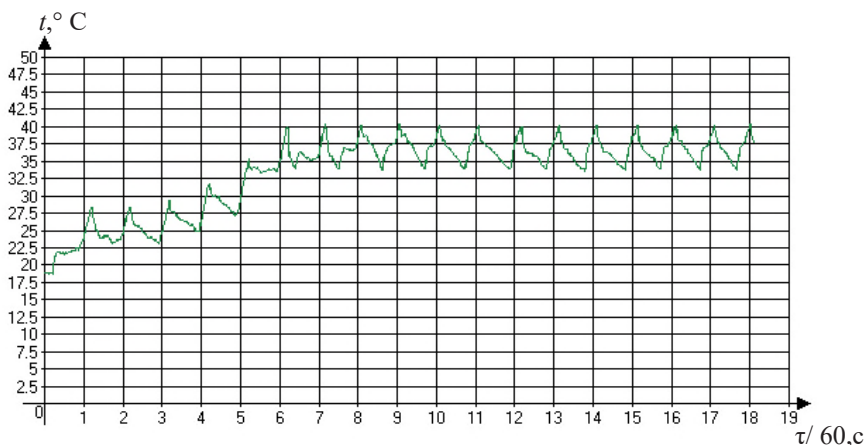


Рисунок 2 – Экспериментальное изменение температуры семян огурца сорта «Водолей» во времени при осциллирующей инфракрасной сушке ($q_0 = 1810 \text{ Вт/м}^2$; $\nu = 1,8 \text{ м/с}$; $t_{\min} = 34 \text{ °C}$; $t_{\max} = 40 \text{ °C}$;) [8, с. 74]

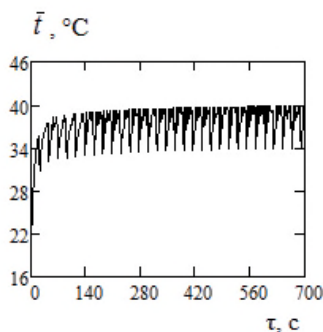


Рисунок 3 – Динамика нагрева цилиндрического семени в псевдоожиженном слое при реализации условий: $\bar{t}_{\min} = 34 \text{ °C}$; $\bar{t}_{\max} = 40 \text{ °C}$; $\tau_{\text{ц}} = 23 \text{ с}$ ($q_0 = 3150 \text{ Вт/м}^2$, $\tau_{\text{наг. ц}} = 20,5 \text{ с}$, $\nu = 0,72 \text{ м/с}$, $t_c = 20 \text{ °C}$)

На рис. 3 показаны результаты численного моделирования динамики нагрева семян цилиндрической формы, выполненные по математической модели [6, с. 241] (применительно к семенам лука репчатого, находящимся в псевдоожиженном слое). Как было установлено в результате вариантных расчетов, искомое условие ($\bar{t}_{\min} = 34 \text{ °C}$; $\bar{t}_{\max} = 40 \text{ °C}$; $\tau_{\text{ц}} = 23 \text{ с}$.) достигается при следующих парамет-

рах процесса: плотность потока излучения $q_0 = 3150 \text{ Вт/м}^2$, продолжительность нагрева в цикле $\tau_{\text{наг. ц}} = 20,5 \text{ с}$, скорость воздуха, огибающего слой, $v = 0,72 \text{ м/с}$, его температура $t_c = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

На рисунке 4 представлены результаты расчета динамики нагрева семян сферической формы (семена горчицы), выполненного по математической модели, приведенной в [7, с. 726]. Расчеты показали, что процесс нагрева семян горчицы при их сушке, показанный на рисунке 4, может быть осуществлен только при комбинированном инфракрасно-конвективном энергоподводе, при котором воздух, обдувающий семена, имеет температуру $t_c = 33 \text{ }^\circ\text{C}$.

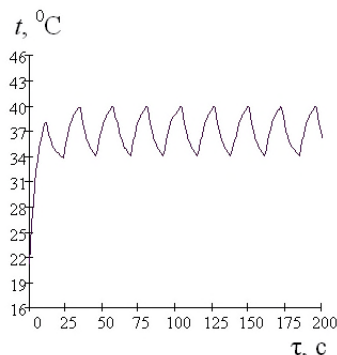


Рисунок 4 – Динамика нагрева семени лука репчатого при его осциллирующей инфракрасной сушке (расчет по математической модели [7, с. 726]): $t_{\min} = 34 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\max} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_c = 33 \text{ }^\circ\text{C}$; $\tau_{\text{ц}} = 23 \text{ с}$.)

В данном случае при температуре воздуха $20 \text{ }^\circ\text{C}$ температура семян на стадиях инфракрасного нагрева в циклах растет медленно и требуется большая плотность лучистого потока, создание которой технически нецелесообразно, а на стадиях охлаждения происходит их быстрое остывание, которое не дает возможности выдержать требуемую длительность цикла). Поэтому необходимо обдувать семена с температурой $33 \text{ }^\circ\text{C}$, чтобы получить желаемый цикл инфракрасного облучения.

Закключение

1. Осциллирующая инфракрасная сушка семян (или их термообра ботка их перед посевом) наиболее эффективна при применении режима: $t_{\min} = 34 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\max} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; $\tau_{\text{ц}} = 23 \text{ с}$.

2. Семена одного вида в зависимости от условий хранения мо-

гут иметь различную энергию прорастания и всхожесть. Наиболее эффективна стимуляция указанным методом семян с низкими посевными качествами.

3. Математические модели, развитые в [5, с. 830; 6, с. 241; 7, с. 726], адекватно описывают динамику нагрева семян.

4. Их применение позволяет численным методом подбирать необходимый технологический режим осциллирующей инфракрасной сушикстимуляции ($t_{\min} = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{\max} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\tau_{\text{ц}} = 23\text{ с}$), который вызывает наибольший эффект стимуляции семян.

5. Форма семян играет существенную роль при организации процесса в отношении создания указанного технологического режима.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Рудобашта С. П., Григорьев И. В.** Импульсная инфракрасная сушка семян // Промышленная теплотехника. 2011. Т. 33. № 8. С. 85.

2. Пат. 2393397 Российская Федерация, МПК F26B 3/06 (2006.01), F26B 3/30 (2006.01). Способ импульсной инфракрасной сушки термолабильных материалов / Григорьев И. В., Рудобашта С. П. ; заявитель и патентообладатель Григорьев И. В. № 2009119751/06 ; заявл. 26.05.2009 ; опубл. 27.06.10, Бюл. № 18

3. **Рудобашта С. П., Зуева Г. А., Зувев А. Н.** Стимуляция семян путем осциллирующей инфракрасной термообработки // Промышленная теплотехника. 2013. Т. 36. № 7. С. 213.

4. **Rudobashta S., Zueva G.** Drying of seeds through oscillating infra- red heating // Drying Technology. An International Journal 2016. V. 34. № 5, P. 505.

5. **Rudobashta S. P., Kartashov E. M., Zuev N. A.** Heat and Mass Transfer in Drying in Oscillating Electromagnetic Field // Theor. Found. Chem. Eng. 2011. V. 45. № 6. P. 830.

6. **Рудобашта С. П., Зуева Г. А., Карташов Э. М.** Тепломассо-перенос при сушке цилиндрического тела в осциллирующем электромагнитном поле // Инж.-физ. журнал. 2018. Т. 91. № 1. С. 241.

7. **Rudobashta S. P., Zueva G. A., Kartashov E. M.** Heat and Mass Transfer when Drying a Spherical Particle in an Oscillating Electromagnetic Field // Theor. Found. Chem. Eng. 2016. Vol. 50. No. 5. P. 71.

8. **Григорьев И. В.** Импульсная инфракрасная сушка семян

овощных культур, нетрадиционных и редких растений : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Григорьев Иван Владимирович М. : МГАУ, 2010. 161 с.

REFERENCES

1. **Rudobashta S. P., Grigor'ev I. V.** Impul'snaya infra-krasnaya sushka semyan // Promyshlennaya teplotekhnika. 2011. T. 33. № 8. S. 85.
2. Pat. 2393397 Rossijskaya Federaciya, MPK F26B 3/06 (2006.01), F26B 3/30 (2006.01). Sposob impul'snoj infrakrasnoj sushki termolabil'nyh materialov / Grigor'ev I. V., Rudobashta S. P. ; zayavitel' i patentoobladatel' Grigor'ev I. V. № 2009119751/06 ; zayavl. 26.05.2009 ; opubl. 27.06.10, Byul. № 18
3. **Rudobashta S. P., Zueva G. A., Zuev A. N.** Stimulyaciya se-myan putem oscilliruyushchej infrakrasnoj termoobrabotki // Pro-myshlennaya teplotekhnika. 2013. T. 36. № 7. p. 213.
4. **Rudobashta S., Zueva G.** Drying of seeds through oscillating infra- red heating // Drying Technology. An International Journal 2016. V. 34. № 5, p. 505.
5. **Rudobashta S. P., Kartashov E. M., Zuev N. A.** Heat and Mass Transfer in Drying in Oscillating Electromagnetic Field // Theor. Found. Chem. Eng. 2011. V. 45. № 6. p. 830.
6. **Rudobashta S. P., Zueva G. A., Kartashov E. M.** Teplomas-soperenos pri sushke cilindricheskogo tela v oscilliruyushchem elektro-magnitnom pole // Inzh.-fiz. zhurnal. 2018. T. 91. № 1. p. 241.
7. **Rudobashta S. P., Zueva G. A., Kartashov E. M.** Heat and Mass Transfer when Drying a Spherical Particle in an Oscillating Electro-magnetic Field // Theor. Found. Chem. Eng. 2016. Vol. 50. No. 5. p. 71.
8. **Grigor'ev I. V.** Impul'snaya infrakrasnaya sushka semyan ovoshchnyh kul'tur, netradicionnyh i redkih rastenij : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.20.02 / Grigor'ev Ivan Vladimirovich M. : MGAU, 2010. 161 p.

Рудобашта Станислав Павлович, доктор техн. наук, профессор
Тел. 8-905-590-23-38

E-mail: rudobashta@mail.ru

Зуева Галина Альбертовна, доктор физ.-мат. наук, профессор, за-ведующая кафедрой

Зуев Николай Александрович, канд. техн. наук, инженер

В. И. БАЕВ, доктор техн. наук, профессор

В. А. ПЕТРУХИН, канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», Российская Федерация, г. Волгоград

V. I. BAEV, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

V. A. PETRUKHIN, *Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Volgograd State Agrarian University", Russian Federation, Volgograd

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРИВИВОК ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ С ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СТИМУЛИРОВАНИЕМ

TECHNOLOGY OF GRAFTING OF WOODY PLANTS WITH THEIR ELECTRICAL STIMULATION

***Аннотация.** Приведена технология электрической стимуляции прививки древесных растений. Указана полярность наложения электродов к прививке, основные параметры электрической цепи и время воздействия для получения положительного результата.*

***Ключевые слова:** прививка, привой, подвой, стимулирование, электрический ток.*

***Abstract.** The technology of electrical stimulation of grafting of woody plants is given. The polarity of the electrodes applied to grafting, the main parameters of the electrical circuit and the exposure time to obtain a positive result are indicated.*

***Keywords:** grafting, scion, stock, stimulation, electric current.*

Для размножения древесных растений, особенно плодовых сортов, применяется такой способ как прививка, в связи с тем, что при этом сохраняются полезные свойства родительских растений, таких как, например, сортовые особенности. Кроме того, операция

прививки позволяет произвести лечение растения с поврежденной корой, ускорить начало плодоношения, позволяет сочетать на одном растении сразу несколько привоев, повысить зимостойкость и морозостойкость.

Прививка растения – трансплантация – это перенос части одного растения, называемого привоем, на другое, имеющее корневую систему – подвой. При этом отсечение части растения производится различными садоводческими инструментами, например, ножом, и срезы, как бы идеально они не были сделаны, всегда имеют разрушенные клетки. То есть при соединении привоя с подвоем невозможно получить их идеальное соприкосновение – этому препятствует изолирующая прослойка (рисунок 1), состоящая из разрушенных клеток, их внутреннего содержимого, оболочки и продуктов окисления [4].

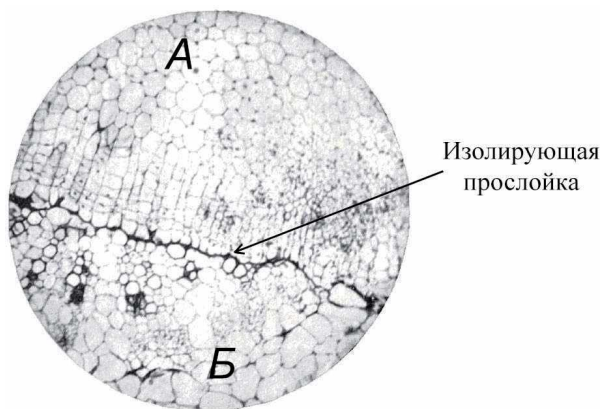


Рисунок 1 – Изолирующая прослойка между привоем (А) и подвоем (Б) (фотография получена Н. П. Кренке [4])

Данная прослойка препятствует поступлению питательных веществ из подвоя в привой. То есть перед непосредственным сращиванием подвоя с привоем, а также для образования каллусной ткани и дальнейшего установления непрерывной сосудистой связи растение должно затратить энергию (и время) на устранение этого препятствия между прививочными компонентами.

После устранения указанной прослойки, состоящей из разрушенных клеток в месте соприкосновения привоя с подвоем, так

называемом «спае» прививки, во время срастания образуется изолированная ткань, которая обычно представлена как правило каллусными тканями. Каллусная культура – это неорганизованная пролиферирующая растительная ткань, состоящая из дедифференцированных клеток – клеток, утративших специфические свойства и возвращенных к более примитивному строению. В дальнейшем они специализируются как каллусные, то есть становятся особым образом дифференцированными [4].

Известно, что в растениях определенная часть жизненных процессов происходит под воздействием электрических явлений [2, 3, 5], и на основании этого было выдвинуто предположение, а в дальнейшем исследовано и подтверждено [1, 6], о том, что проходящий через место контактирования прививочных компонентов постоянный ток малой величины оказывает положительное влияние на процессы приживания и роста привоя. Положительный эффект заключается в увеличении числа прижившихся привоев, а также в расширении сроков выполнения прививочных операций в течении всего весенне-летнего сезона, вплоть до середины осени.

Электрическое воздействие на приживаемость и рост прививок растений (выполненных черенком) постоянным током производится в следующей последовательности.

1) Выполняется прививочная операция. Данная операция выполняется любым прививочным инструментом, в частности, в настоящее время целесообразно использовать прививочный секатор, позволяющий сделать ровные и идентичные срезы как на подвой, так и на привой. После трансплантации привоя на подвой накладывается обвязочный материал из ленточной полимерной пленки для защиты «спая» от высыхания и воздействия от окружающей среды.

2) Рядом с обвязочным материалом накладываются электроды. При этом обязательно соблюдается полярность наложения: положительный полюс на подвой, отрицательный – на привой.

Непосредственно сами электроды представляют собой гибкую ленту из нержавеющей электропроводящего материала. Для удобства быстрого наложения и снятия электродов разработаны зажимы-электроды (рисунок 2).

Для снижения контактного сопротивления между электродом и корой растения на последний необходимо нанести электропроводящий гель. В более доступном варианте вместо геля следует при-

менить пористый материал (либо пушистый, например, вата) смоченный 5 %-ый раствором хлорида калия (либо хлорида натрия). Однако в этом случае необходимо следить за постоянным смачиванием материала под электродами, так как при его высыхании переходное сопротивление резко возрастает и процесс электростимуляции практически останавливается.



Рисунок 2 – Наложённые электроды-зажимы на прививку растения

3) После наложения электродов происходит подключение электростимулирующего устройства. Устройство должно обеспечивать постоянство плотности тока в пределах от 0,25 до 1,50 мкА/мм² в течение всего периода воздействия. Конкретное значение величины плотности тока зависит от вида и сорта растения. В связи с тем, что электростимулирующее устройство не может поддерживать непосредственно величину плотности тока, то регулирование осуществляется через контроль силы тока. Значение силы тока рассчитывается исходя из требуемой плотности тока и площади поперечного сечения прививаемого компонента с меньшим диаметром (как правило это привой).

4) Электрическая стимуляция продолжается минимум 7 суток (для семечковых культур), 14 суток (для косточковых) после чего устройство отключается. Верхний временной предел воздействия не столь важен в связи с тем, что при срастании привоя с подвоем и образовании между ними сосудистой связи пропускание тока через ветвь играет лишь роль «насоса» для ионов питательных веществ, которые и без внешнего воздействия в здоровом растении беспрепятственно доставляются к органам.

5) По окончании стимуляции устройство отключается и снимаются электроды. Обязочный материал можно снять при прорастании почки на привое.

Практическое исследование изложенной технологии электрической стимуляции приживаемости прививок древесных растений показало увеличение технологической и экономической эффективности, а именно:

- успешный результат прививочных операция (положительный выход прививок), возрастает не менее чем в 2 раза;
- полные трудозатраты на получение ожидаемого успешного выхода прививок снижаются на 47 %;
- временные возможности проведения прививочных операций расширяются до конца летнего сезона;
- расход прививочных материалов, использованных для привоя (особенно важно для ценных сортов), уменьшается в 2 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Баев В. И., Петрухин В. А.** Качественное описание процесса прирастания прививок растений при электрической стимуляции // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 4 (36). С. 241–245.

2. **Гордеев А. М., Шешнев В. Б.** Электричество в жизни растений. М. : Наука, 1991. 160 с.

3. **Коловский Р. А.** Биоэлектрические потенциалы древесных растений. Новосибирск : Наука, 1980. 176 с.

4. **Кренке Н. П.** Трансплантация растений. М. : Наука, 1966. 334 с.

5. **Оприлов В. А., Пятагин С. С., Ретивин В. Г.** Биоэлектrogenез у высших растений. М. : Наука, 1991. 216с.

6. Пат. 2561932 Российская Федерация, МПК МПК А01G 7/04, А01G 1/06 Способ электрического стимулирования приживаемости прививок растений / Баев В. И., Петрухин В. А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ. № 2014131635/13 ; заявл. 29.07.2014 ; опубли. 10.09.2015, Бюл. № 25.

REFERENCES

1. **Baev V. I., Petrukhin V. A.** Kachestvennoe opisanie processa prirastaniya privivok rastenij pri elektricheskoy stimulyacii // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka I vysshee professional'no eobrazovanie. 2014. № 4 (36). pp. 241–245.

2. **Gordeev A. M., SHeshnev V. B.** Elektrichestvo v zhizni rastenij. M. : Nauka, 1991. 160 p.

3. **Kolovskij R. A.** Bioelektricheskie potencialy drevesnyh rastenij. Novosibirsk : Nauka, 1980. 176 p.

4. **Krenke N. P.** Transplantaciya rastenij. M. : Nauka, 1966. 334 p.

5. **Opritov V. A., Pyatygin S. S., Retivin V. G.** Bioelektrogeneraz u vysshih rastenij. M. : Nauka, 1991. 216 p.

6. Pat. 2561932 Rossijskaya Federaciya, MPK MPK A01G 7/04, A01G 1/06 Sposob elektricheskogo stimulirovaniya prirastaniya privivok rastenij / Baev V. I., Petruhin V. A.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO Volgogradskij GAU. № 2014131635/13 ; zayavl. 29.07.2014 ; opubl. 10.09.2015, Byul. № 25.

Баев Виктор Иванович, доктор техн. наук профессор

Тел. 8-917-337-21-50

E-mail: vibaew@mail.ru

Петрухин Владимир Александрович, канд. техн. наук, доцент

Тел. 8-937-547-39-63

E-mail: flit-land@yandex.ru

Д. А. ТАРАКАНОВ, старший преподаватель
О. В. МИХАЙЛОВА, доктор техн. наук, доцент
Г. В. НОВИКОВА, доктор техн. наук, профессор,
главный научный сотрудник

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», Российская Федерация, г. Княгинино

D. A. TARAKANOV, Senior Lecturer
O. V. MIKHAILOVA, Advanced Doctor in Engineering Sciences,
Associate Professor
G. V. NOVIKOVA, Advanced Doctor in Engineering Sciences,
Professor, Senior Research Officer
Nizhny Novgorod Engineering-economic State University

СВЧ УСТАНОВКА С БИКОНИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ ДЛЯ РАЗМОРАЖИВАНИЯ КОРОВЬЕГО МОЛОЗИВА В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ

MICROWAVE INSTALLATION WITH A BICONICAL CAVITY TO DEFROST COW COLOSTRUM IN CONTINUOUS MODE

Аннотация. Целью работы является повышение эффективности размораживания коровьего молозива путем воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) на измельченное замороженное сырье в биконическом радиогерметичном резонаторе при непрерывном режиме работы. СВЧ установка содержит в вертикально расположенной цилиндрической емкости биконический резонатор, где по горизонтальной оси установлен диэлектрический перфорированный диск в зубчатом венце, входящим в сцепление с ведущей звездочкой. На образующей конуса расположены магнетроны, к верхней вершине пристыкована коническая емкость, внутри которой расположены оребренные вальцы. К нижней вершине резонатора пристыкован запердельный волновод с краном, над основанием емкости расположен ТЭН для нагрева воды, омывающей нижнюю вершину резонатора. Измельченное замо-

роженное сырье подвергается воздействию ЭМП СВЧ, нагревается, стекает через перфорации вращающегося диска, в нижней части резонатора дополнительно нагревается от его горячей поверхности. Анализированы графики изменения электрофизических параметров молозиво коровье в процессе размораживания.

Ключевые слова. Биконический резонатор, коровье молозиво, размораживание, трубчатый электронагреватель.

Abstract. The aim of this work is to increase the efficiency of thawing bovine colostrum by the action of electromagnetic fields of ultrahigh frequency (APPSVC) the chopped frozen raw material in a biconical radio veronica the resonator in continuous mode. Microwave installation contains vertically located cylindrical tank biconical resonator, where the horizontal axis set perforated dielectric disk in a gear crown that is included in the coupling with the drive sprocket. On the generatrix of the cone is located the magnetron to the top of the docked conical receptacle, in which is located a finned rollers. An exorbitant waveguide with a crane is docked to the lower top of the resonator; a ten for heating water washing the lower top of the resonator is located above the base of the tank. Chopped frozen raw material is exposed to APPSVC, is heated, flows through the perforations of the rotating disk at the bottom of the resonator is further heated from the hot surface. Graphs of change of electro-physical parameters of cow colostrum in the process of defrosting are analyzed.

Keyword. Biconical resonator, cow colostrum, defrost tubular electric heater.

Коровье молозиво собирают и хранят в замороженном виде при температуре минус 18–23 °С до 8 месяцев. Размораживают его партиями до температуры 35–38 °С [1]. Молозиво – это жидкость с вязкой консистенцией, процент жира и белка выше, нежели в молоке. Доля жира составляет 3,5–6,5 %.

Для выработки научной основы процесса с выявлением моделей взаимодействия ЭМП СВЧ с сырьем, для выбора частоты электромагнитных колебаний при разработке технологического процесса размораживания коровьего молозива и соответствующей установки необходимо знать электрофизические параметры замороженного сырья, а именно изменение диэлектрических свойств коровьего

молозива от температуры нагрева, а также плотность, жирность, теплоемкость. Плотность коровье молозиво колеблется в пределах 1,04–1,08 г/см³. Жирность молозиво зависит от времени после отела коров (рисунок 1). Она до 12 часов уменьшается с 6,5 до 2,5 %, далее до трех суток растет, после чего жирность молозиво стабилизируется на уровне 3,5 [2].

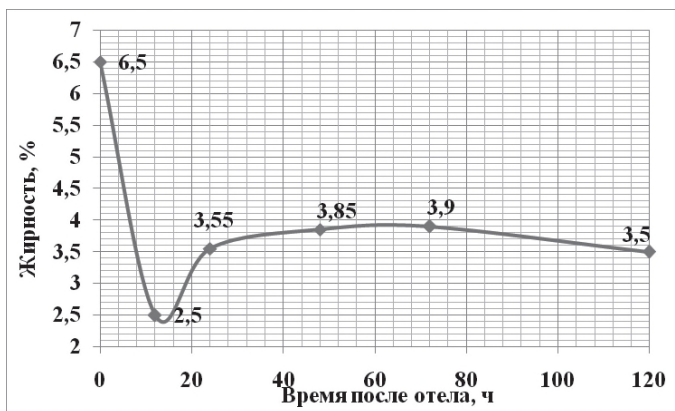


Рисунок 1 – Изменение жирности коровьего молозива от времени после отела

Графики изменения удельной теплоемкости молозиво коровье от температуры приведены на рисунке 2 [3]. Эмпирические выражения, описывающие зависимость удельной теплоемкости молозиво жирностью 2,9 % и 4,3 % от температуры соответственно следующие: $C = 4024 \times T^{-0,005}$, $C = 4053,5 \times T^{-0,012}$.

Нами проанализированы диэлектрические характеристики замороженного коровьего молозива жирностью 6,5 %, такие как диэлектрическая проницаемость и фактор потерь (рисунок 3) [6, с. 72, 87]. С повышением температуры глубина проникновения электромагнитной волны изменяется, так как изменяются диэлектрическая проницаемость, фактор потерь и проводимость. Фактор потерь замороженного сырья падает с 14 до 11,9 при изменении температуры нагрева от 0 до 40 °С, что следует учесть при определении мощности диэлектрических потерь.

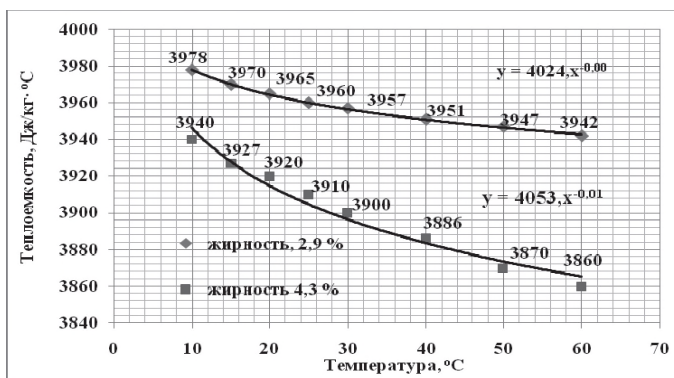


Рисунок 2 – Изменение удельной теплоемкости молозиво коровье от температуры нагрева



Рисунок 3 – Изменение диэлектрических характеристик коровьего молозива от температуры: 1 – диэлектрическая проницаемость; 2 – фактор диэлектрических потерь

Эмпирические выражения, описывающие зависимость диэлектрических параметров молозиво коровье:

$$\varepsilon = 62,15e^{-0,001 \times T}, k = 14,27e^{-0,004 \times T}$$

Все эти эмпирические формулы использованы при получении теоретической формулы, описывающей динамику нагрева сырья в ЭМПСВЧ с учетом изменения теплоемкости, диэлектрических параметров в процессе размораживания сырья.

Проведен обзор существующего оборудования, предназначен-

ного для размораживания коровье молозиво.

Известны размораживатели молозива РМ-3, Иглус-2, БМ-40, работающие по принципу водяной бани за счет нагрева воды с помощью трубчатого электронагревателя [4]. В емкости с водой имеется вращающееся устройство, внутрь которого устанавливают бутылки с сырьем. Все размораживатели работают в периодическом режиме с большим расходом горячей воды и высокими энергетическими затратами.

Имеется микроволновая установка с квазистационарным тороидальным резонатором для размораживания коровьего молозива [5]. Квазистационарный резонатор характеризуется тем, что размер промежутка конденсаторной части меньше, чем длина волны. Концентрация электрического поля в конденсаторной части резонатора обеспечивает критическую напряженность электрического поля, позволяющего остановить развитие бактериальной микрофлоры в размороженном сырье. Недостатком этого размораживателя является то, что сырье загружается порционно, а процесс загрузки новой порции сырья с соответствующим диском-основанием осуществляется вручную.

Целью настоящей работы является повышение эффективности размораживания коровьего молозива путем воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты на измельченное замороженное сырье в биконическом резонаторе, обеспечивающем электромагнитную безопасность при непрерывном режиме работы.

СВЧ установка состоит из цилиндрической емкости 9, внутри которой соосно вертикально установлен биконический резонатор 3, вершины которого усечены (рисунок 1). Вблизи вершин биконуса образуются поверхности, где наблюдается полное отражение волн, поэтому излучение из усеченных открытых концов значительно уменьшается. На уровне горизонтальной оси биконического резонатора 3 расположен диск диэлектрический перфорированный 5 в зубчатом венце 6, входящий в сцепление с ведущей звездочкой 7, расположенный на валу электропривода 8. Над диском 5 жестко установлен диэлектрический скребок 13.

Нижняя усеченная вершина биконического резонатора 3 состыкована с запредельным волноводом 11, содержащим кран для слива продукта 12. По периметру оснований конусов со сдвигом на 120 градусов установлены магнетроны 4 от СВЧ генераторов. Верх-

ная усеченная вершина биконического резонатора 3 состыкована с конической емкостью 1 для приема замороженного сырья. Внутри емкости расположены валцы оребренные 2 с возможностью регулирования зазора между ними. Над основанием цилиндрической емкости 9 установлен трубчатый электронагреватель 10.

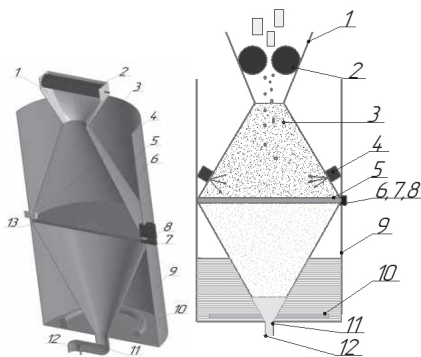


Рисунок 1 – СВЧ установка с биконическим резонатором для размораживания коровьего молозива в непрерывном режиме: 1 – коническую емкость; 2 – валцы оребренные;

3 – биконический резонатор; 4 – магнетроны от СВЧ генераторов; 5 – диск диэлектрический перфорированный; 6 – зубчатый венец; 7 – ведущая звездочка; 8 – электропривод; 9 – цилиндрическая емкость; 10 – ТЭН; 11 – запредельный волновод; 12 – кран для слива размороженного коровьего молозива; 13 – диэлектрический скребок

Технологический процесс размораживания коровьего молозива происходит следующим образом. Залить воду в цилиндрическую емкость 9 так, чтобы вершина нижнего конуса оказалась в воде. Включить трубчатый электронагреватель 10 для нагрева воды, от которой нагревается поверхность нижней части биконического резонатора 3. Включить электропривод 8 для вращения диска 5 диэлектрического перфорированного за счет сцепления ведущей звездочки 7 с зубчатым венцом 6. Включить электродвигатель валцов 2 оребренных. Загрузить замороженное сырье без тары в емкость 1. Сырье между валцами измельчается и падает на диск диэлектрический перфорированный 5. Далее включить СВЧ генераторы, после чего излучатели магнетронов 4, направленные внутрь биконическо-

го резонатора 3 возбуждают в нем ЭМПСВЧ. Измельченное замороженное сырье подвергается равномерному воздействию ЭМП-СВЧ, нагревается, стекает через перфорации вращающегося диска 5. Диэлектрический 13 скребок очищает отверстия перфораций диска. Размороженное сырье в нижней части биконического резонатора дополнительно нагревается от его горячей поверхности. Для слива воды и слива размороженного коровьего молозива имеются отдельные краны. Нагретое до 35–38 °С коровье молозиво сливается в непрерывном режиме через запредельный волновод 11, при этом кран 12 открыт на определенный расход. Из-за того, что вершины биконического резонатора отсечены так, что диаметр не превышает четверть длины волны, поэтому при непрерывном режиме работы СВЧ установки электромагнитная безопасность для обслуживающего персонала соблюдается.

Вывод. Такое конструкционное исполнение обеспечивает электромагнитную безопасность при непрерывном технологическом процессе размораживания коровье молозиво. Процесс размораживания ускоряется за счет подачи в резонатор измельченного сырья, размеры которого соизмеримы с глубиной проникновения волн. Регулируя частоту вращения диска и вальцов, площадь живого сечения перфорации, удельную мощность генератора можно размораживать сырье с – 20 °С, и поддерживать температуру +(35–38) °С за счет трубчатого электронагревателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. [Электронный ресурс]. URL: <https://bizart.com.ua>ru/zamorozka-i-razmoroзка-moloziva-2>.
2. Строительный портал [Электронный ресурс]. URL: <https://worldgonessour.ru>.
3. [Электронный ресурс]. URL: <https://thermalinfo.ru>svoystva...moloka...i-teploemkost>.
4. [Электронный ресурс]. URL: <https://eltemiks-vet.ru>product/razmorazhivatel-moloziva...2>
5. Пат. 2694944 Российская Федерация, МПК А47J 39/00. Микроволновая установка для размораживания коровьего молозива / Поручиков Д. В., Васильев А. Н., Ершова И. Г., Новикова Г. В., Белова М. В.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. №

2018143727 ; заявл. 11.12.2018 ; опубл. 18.07.2019, бюл. № 20.

6. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов / И. А. Рогов, В. Я. Адаменко и др. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. 288 с.

REFERENCES

1. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://bizart.com.ua>ru/zamorozka-i-razmoro-zka-moloziva-2>.

2. Stroitel'nyj portal [Elektronnyj resurs]. URL: <https://worldgonesour.ru>.

3. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://thermalinfo.ru>svojstva...moloka...i-teploemkost>.

4. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://eltemiks-vet.ru>product/razmorazhivatel-moloziva...2>

5. Pat. 2694944 Rossijskaya Federaciya, MPK A47J 39/00. Mikrovolnovaya ustanovka dlya razmorazhivaniya korov'ego moloziva / Poruchikov D V., Vasil'ev A. N., Ershova I. G., Novikova G. V., Belova M. V.; заявитель i патентообладатель FGBNU FNAC VIM. № 2018143727 ; заявл. 11.12.2018 ; опубл. 18.07.2019, бюл. № 20.

6. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов / И. А. Рогов, В. Я. Адаменко и др. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. 288 с.

Тараканов Дмитрий Александрович, старший преподаватель
кафедры «Охрана труда и БЖ»

Тел. 8-986-762-50-66

E-mail: dima.tarakanov.1987@mail.ru

Михайлова Ольга Валентиновна, доктор техн. наук, доцент,
профессор кафедры «Инфокоммуникационные технологии и систем
связи»

Тел. 8-919-672-53-70

E-mail: ds17823@yandex.ru

Новикова Галина Владимировна, доктор техн. наук, профессор,
главный научный сотрудник

Тел. 8-927-994-00-52

E-mail: NovikovaGalinaV@yandex.ru

УДК 621.3:631.517

В. И. БАЕВ, доктор техн. наук, профессор

П. В. ПРОКОФЬЕВ, старший преподаватель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», Российская Федерация, г. Волгоград

V. I. BAEV, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

P.V. PROKOFIEV, *Senior Lecturer*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Volgograd State Agrarian University", Russian Federation, Volgograd

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ И РАСТЕНИЙ

ELECTRICAL SAFETY OF INSTALLATIONS FOR ELECTRICAL PROCESSING OF MATERIALS AND PLANTS

Аннотация. Приведен анализ вопросов электробезопасности для электротехнологических устройств, используемых при уничтожении сорной растительности. Обозначен полный перечень электро опасных элементов электроприемников. Указаны мероприятия по электробезопасности низковольтной части установки. Предложены мероприятия по электробезопасности высоковольтной части электроустановки и защиты от электромагнитного и ионизирующего излучения.

Ключевые слова: электрическая прополка, электробезопасность при электропрополке, высокое напряжение, высоковольтная обработка.

Abstract. The analysis of electrical safety issues for electrotechnological devices used in the destruction of weeds. The full list of dangerous elements of electrical installations is marked. Measures for electrical safety of the low-voltage part of the installation are indicated. Measures for electrical safety of the high-voltage part of the electrical installation and

protection against electromagnetic and ionizing radiation are proposed.

Keywords: *Electrical weeding, electrical safety in electrical weeding, high voltage, high voltage processing.*

В настоящее время (и в нашей стране, и за рубежом) проведено достаточно большое количество исследований по летальному воздействию электроэнергии на растительные объекты. Большой практический интерес представляет электрическое уничтожение сорной растительности в растениеводстве.

Но электрическое уничтожении сорняков оказалось возможным при использовании электрической энергии высокого напряжения (десятки киловольт). Применение таких установок вызывает необходимость решения вопросов электробезопасности персонала их обслуживающего и попадающего в зону работы установки.

Авторы разных исследований по электрическому уничтожению сорняков, вопросы электрической безопасности или вообще пересматривали, или рассматривали частично, односторонне.

Приведенный ниже обзор и анализ исследований электрокультуривационных устройств подтверждает это.

Так Дипросе М. Ф. в 1984 году в работе [1, с. 197] при прополке сорняков по сахарной свекле утверждал, что необходим генератор мощностью 50 кВт и напряжением 6–25 кВ. В статье автор, рассматривает и вопросы электробезопасности, но они практически все затрагивают в основном механическую защиту от прикосновения персонала к частям установки, которые находятся под высоким напряжением (кожух из поликарбоната по всей длине электродной системы), есть также защита, размыкающая питание высоковольтной цепи при покидании водителем рабочего места (кнопка размыкания под креслом водителя). Анализируя работы автора можно сказать, что вопросы электробезопасности были рассмотрены, но не всесторонне.

В работах Рейни Е. Ч. [4, с. 6] для угнетения сорняков и яиц паразитов до схода культурного растения предложено использовать высокое напряжение 25 кВ (которое производит высоковольтный блок, установленный на тележке позади трактора), автор рассматривает в основном защиту от механического приближения персонала к рабочим высоковольтным электродам, которые выполняют также функцию бороны, а вопросы электробезопасности рассмотрены

только использованием механической защиты изоляции проводов от повреждения путем прокладки их в трубе. Поэтому можно сделать заключение о неполном рассмотрении автором вопросов электробезопасности при использовании передвижной электротехнологической установки (ПЭУ) для борьбы с сорной растительностью.

Опп Ф.В. в своем патенте на аппарат и метод уничтожения сорняков и разрушения бактерий, грибов и рогой формы животной и растительной жизни в почве [3, с. 2–4] предлагает использовать грузовик с установленным на нем высоковольтным блоком мощностью 25–50кВт, напряжением 6–15кВ и частотой тока 120–660Гц, а энергию к сорной растительности подводить при помощи цепей или токопроводящих башмаков, которые скользят вдоль земли по сорнякам.

Опп Ф. В. предлагает использовать для реализации электробезопасности усиленную изоляцию проводов и защиту цепей управления высоковольтного блока при помощи предохранителей и автоматического выключателя.

Такие средства защиты не обеспечивают электробезопасность обслуживающего персонала даже от прикосновения к токопроводящим частям ПЭУ.

Поэтому можно сделать вывод о не полном соответствии системы электробезопасности предложенной автором, требованиям эксплуатации ПЭУ

Так Келлер Ч. Р. [2, с. 4–6] в патенте от 1944 года предложил систему электрической обработки почвы от сорной растительности при помощи высоковольтного трансформатора напряжением 10–20кВ, установленного на тележке и заглубленных электродов. Келлер С. Р. не только предложил без обоснования электрическую схему ПЭУ но и не рассмотрел вопросы электробезопасности.

В диссертации 1993 года Боженкова А. В., который обрабатывал сорняки на посевах белокочанной капусты напряжением 0,4/10 кВ и мощностью 50 кВт, использованы варианты компоновки установки как непосредственно на трактор, так и использовалась система с прицепленной к нему тележкой [6, с. 88–112]. Автор посвятил один из пунктов раздела своей работы действию электрического разряда на микрофлору и дождевых червей, но не привел в своей работе ни одного абзаца текста по электробезопасности персонала при эксплуатации ПЭУ. Поэтому можно признать, что вопросы электро-

безопасности в работе Боженкова А. В. рассмотрены не были.

Грищенко А. К. в своей диссертации рассматривал вопросы борьбы с многолетними корневищными сорняками на виноградниках [10, с. 60–64, 87]. Для этого использовалась установка напряжением 5–17 кВ, которое получалась при помощи синхронного генератора и повышающего трансформатора, а затем подводилось к растениям через систему электродов-лемехов.

В работе автор, как и Боженков А. В., рассматривал влияние импульсов высокого напряжения на микрофлору и культурные растения, при этом были рассмотрены мероприятия по электробезопасности, соответствующие нормам действующего стандарта безопасности труда [8, с. 2–19]. В частности рассмотрено применение защитных устройств и ограждений в виде натянутой металлической сетки на каркасе вдоль токоведущих частей электрооборудования для обеспечения защиты от прикосновения к токоведущим частям, предложено использовать усиленную изоляцию и применено питание пониженным напряжением в 12 В цепей управления и защиты тракториста-оператора от попадания под напряжение при помощи системы блокировок (дверей, сидения и навесной гидравлической системы) [31], так же использовались предупредительные надписи и плакаты, применена световая сигнализация.

Действительно, можно сделать вывод из рассмотренной работы, что автор предусмотрел различные виды защиты ПЭУ при эксплуатации, но не все. Поэтому вопросы электробезопасности остались открыты.

Так же в нашей стране была создана установка электрокультиватора в Челябинской ГАА, где использовалось рабочее напряжение 1,5–6,0 кВ переменного тока 50 Гц с прицепленной тележкой к трактору, на которой располагался генератор и высоковольтный трансформатор [12, с. 1–2].

В работе [11, с. 320] автор предлагает использовать интегральные уровни при оценке электробезопасности, при использовании оценки негативных факторов элеткротехнологической обработки растений согласно ГОСТу [9] (рисунок 1).



Рисунок 1 – Характеристика негативных факторов, связанных с электротехнологической обработкой растений

Но автор рассматривает эти вопросы с точки зрения эксплуатации, при которой возникают такие факторы опасности как собственно электрический ток и создаваемые при выработке генератором, преобразовании источником вторичного питания и потреблении растительностью и почвой электроэнергии, электрическое, магнитное и тепловое поля, шум, ультразвук, вибрации и т. д. Кроме того, на человека при электротехнологической обработке растений могут воздействовать ультрафиолетовое и ионизирующее излучения, он может быть поражен опасными факторами при возгарании материалов и т.п. Такие факторы необходимо учитывать при разработке системы электробезопасности лабораторных комплексов и мобильных устройств [49, с. 322–324]. Но вопросы, связанные с непосредственным поражением человека электрическим током в зоне действия электропропольщика и его защита не определены. Поэтому вопросы электробезопасности не рассмотрены в полной мере.

Полевик Н. Д. боролся с сорной растительностью при помощи СВЧ устройства «Импульс-1», установленного позади трактора, производительностью 2,5 га/ч с энергозатратами по электрической энергии 1кВт ч/га, по СВЧ-энергии – 0,05 кВт ч/га [13, с. 7] В работе рассматривалось влияние СВЧ излучения на почву, а вопросы электробезопасности при эксплуатации ПЭУ затронуты не были.

Бренина Т. П. в своей работе расширение технологических возможностей и повышение эффективности электроимпульсного уничтожения корнеотпрысковых сорняков [7, с. 13–14], применяла

импульсное воздействие энергией в 0,79 Дж при напряжении 20 кВ, вопросы электробезопасности в работе не затронула.

В работе Ташпулатова Н. Т. [14, с. 8] при обработке корневищ многолетних сорняков напряжением 6–7 кВ и тока разряда 0,006–0,008 А рабочий орган располагался позади трактора. Вопросы электробезопасности в работе автором не решены.

Также размещение рабочего органа ПЭУ в передней части трактора рассматривали Баев В. И. в работе электроимпульсная предуборочная обработка растений подсолнечника и табака [5, с. 12] и Юдаев И. В. в работе обоснование технологических параметров электроимпульсного уничтожения сорной растительности [16, с. 326], но вопросы электробезопасности авторами затронуты не были.

Топорков В. Н. [15, с. 96] в диссертации электроимпульсная установка для борьбы с сорняками рассматривал различные способы подведения электроэнергии через электродную систему, установленную в передней части трактора, к сорным растениям от генератора, установленного на задней части трактора в виде навесного устройства. Рабочее напряжение варьировалось в пределах 10–30 кВ с частотой импульса 800–1200 Гц и энергией 0,4–10 Дж. Вопросам электробезопасности автор уделил отдельный пункт своей диссертации, где привел существующие ГОСТы, требования и правила, без раскрытия вопроса электробезопасности для ПЭУ в полной мере.

Таким образом, проведенный анализ перечисленных работ показывает, что практически все электропропольщики предложенные разными авторами, и у нас в стране, и за рубежом, решали вопросы технологии уничтожения сорняков на основе установок высокого напряжения без должного рассмотрения техники электробезопасности для обслуживающего персонала. Поэтому возникает необходимость более детального и широкого рассмотрения и проведения исследований вопросов защиты и охраны от поражения электрическим током элементов установок электропропольщиков разного напряжения.

Прежде всего, необходимо обозначить полный перечень возникающих электро опасных элементов таких установок. В этом перечне необходимо выделить три основных блока вопросов представляющих опасность для обслуживающих работников и попавших в зону работы установки. Это электробезопасность от низковольтных элементов установок, электробезопасность от высоковольтных

частей и устройств установок и защита от электромагнитных и ионизирующих излучений элемента установок электропропольщиков.

Сказанное следует представить блок-схемой (рисунок 2).



Рисунок 2 – Основные элементы электробезопасности при использовании электротехнологических установок для уничтожения сорняков

В низковольтной части установки должны быть предусмотрены две группы мер безопасности:

- предотвращающие прикосновение к элементам электрической схемы;
- устраняющие возможность возникновения поражения при повреждении изоляции токоведущих частей.

Обеспечение электробезопасности при работе от высоковольтной части электрической установки достигается:

- ограничением возможности приближения к высоковольтным элементам установки на опасное расстояние;
- постоянный контроль состояния изоляционных элементов высоковольтной части;
- постоянная работа устройств контролирующих состояние изоляции проводников.

Защитные блокировки и световые, звуковые сигнализации.

Кроме того, именно с работой высоковольтной части установ-

ки связана опасность поражения человека шаговым напряжением в зоне обрабатываемых растений и прикосновением людей к этим и близко расположенным растениям.

С высоким напряжением установки связан три блок вопросов электробезопасности:

– возникновение коронирующих разрядов и ионизирующих элементов.

Для предотвращения отрицательных действий этих факторов необходимо определить зону возможного приближения к элементам установки находящимся под высоким напряжением и применить защитный барьер из электроизоляционного материала.

Таким образом, блок-схема и перечень основных элементов электробезопасности электроустановки представляет собой систему мер электробезопасности применения электротехнологии для уничтожения сорной растительности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Diprose M. F., Bensor F. A.** Electrical methods of killing plants // Journal of Agricultural Engineering Research. 1984. № 3 pp. 197–209.

2. **Keller C. R.** System for electrically treating soil. // U. S. Patent №. 2,429,412. Santa Paula, Calif. Application February 28, 1944, Serial No. 524,257. Patented Oct. 21, 1947.

3. **OPP F.W.**, Apparatus for and method of electrically treating soil // U.S. Patent №. 2,007,383. Filed Sept. 8, 1934.

4. **Rainey E. C.** Method of electrically destroying undesired plant life among crop rows. // U.S. Patent №. 2,750,712. 1956. pp. 1–8.

5. **Баев В. И.** Электроимпульсная предуборочная обработка растений подсолнечника и табака: автореф. дис. ... доктор техн. наук : 05.20.02 / Баев Виктор Иванович. Волгоград : ВГСХА, 2001. 38 с.

6. **Боженков А. В.** Разработка технологии борьбы с сорной растительностью с помощью электроразрядного пропольщика на посевах белокочанной капусты в нечерноземной зоне : дис. ... канд. техн. наук: 06.01.06 / Боженков Александр Владимирович. М. , 1993.

7. **Бренина Т. П.** Расширение технологических возможностей

и повышение эффективности электроимпульсного уничтожения корнеотпрысковых сорняков : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Бренина Татьяна Павловна. Саратов , 2006. 24 с.

8. ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Изделия электротехнические. Общие требования безопасности (с Изменениями № 1, 2, 3, 4). Введ. 1978-01-01. М. : Стандартинформ.

9. ГОСТ РМЭК 61508-7-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Введ. 2013-08-01. М. : Стандартинформ.

10. **Грищенко А. К.** Межкустовая обработка почвы виноградников электрическим током для борьбы с многолетними корневищными сорняками // Диссертация. Киев. 1989. С. 60-64, 87.

11. Ляпин В.Г., Безопасность и обслуживание установок электротехнологической обработки растений // Канд. техн. наук (НГАУ, г. Новосибирск)

12. А. с. 974946: МКИ А 01В 47/00. Способ борьбы с сорняками и устройство для его осуществления / Мешков А. А., Ляпин В. Г.; заявитель и патентообладатель ЧИМЭСХ. № 2996564/30-15 ; заявл. 09.10.80 ; опубл. 23.11.82, Бюл. № 43.

13. **Полевик Н. Д.** Методы и средства борьбы с сорной растительностью с использованием импульсных СВЧ-излучений : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Полевик Николай Дмитриевич. Челябинск , 2007. 23 с.

14. **Ташпулатов Н. Т.** Электроимпульсная обработка корневищ многолетних сорняков: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02. / Ташпулатов Нусратилло Тельманович. Ташкент , 1993. 19 с.

15. **Топорков В. Н.** Электроимпульсная установка для борьбы с сорняками : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Топорков Виктор Николаевич. М. , 2015. 174 с.

16. **Юдаев И. В.** Электроимпульсная энергосберегающая технология борьбы с сорной растительностью : дис. ... доктора техн. наук: 05.20.02 / Юдаев Игорь Викторович. Волгоград , 2012. 450 с.

REFERENCES

1. **Diprose M. F., Bensor F. A.** Electrical methods of killing plants // Journal of Agricultural Engineering Research. 1984. № 3 pp. 197–209.
2. **Keller S. R.** System for electrically treating soil. // U. S. Patent №. 2,429,412. Santa Paula, Calif. Application February 28, 1944, Serial No. 524,257. Patented Oct. 21, 1947.
3. **OPP F.W.**, Apparatus for and method of electrically treating soil // U.S. Patent №. 2,007,383. Filed Sept. 8, 1934.
4. **Rainey E. C.** Method of electrically destroying undesired plant life among crop rows. // U.S. Patent №. 2,750,712. 1956. pp. 1–8.
5. **Baev V. I.** Elektroimpul'snaya preduborochnaya obrabotka rastenij podsolnechnika i tabaka: avtoref. dis. ... doktor tekhn. nauk : 05.20.02 / Baev Viktor Ivanovich. Volgograd : VGSKHA, 2001. 38 p.
6. **Bozhenkov A. V.** Razrabotka tekhnologii bor'by s sornoj ras-titel'nost'yu s pomoshch'yu elektrorazryadnogo propol'shchika na posevah belokochannoj kapusty v nechernozemnoj zone : dis. ... kand. tekhn. nauk: 06.01.06 / Bozhenkov Aleksandr Vladimirovich. M. , 1993.
7. **Brenina T. P.** Rasshirenie tekhnologicheskikh vozmozhnostej i povyshenie effektivnosti elektroimpul'snogo unichtozheniya korneot-pryskovyh sornyakov : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.20.02 / Brenina Tat'yana Pavlovna. Saratov , 2006. 24 p.
8. GOST 12.2.007.0-75 Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Izdeliya elektrotekhnicheskije. Obshchie trebovaniya bezopasnosti (s Izmeneniyami № 1, 2, 3, 4). Vved. 1978-01-01. M. : Standartinform.
9. GOST RMEK 61508-7-2012 Funkcional'naya bezopasnost' sistem elektricheskikh, elektronnyh, programmiruemyyh elektronnyh, svyazannyh s bezopasnost'yu. Vved. 2013-08-01. M. : Standartinform.
10. **Grishchenko A. K.** Mezhkustovaya obrabotka pochvy vinoxradnikov elektricheskim tokom dlya bor'by s mnogoletnimi kornevishchnymi sornyakami // Dissertaciya. Kiev. 1989. pp. 60-64, 87.
11. **Lyapin V. G.** Bezopasnost' i obsluzhivanie ustanovok elektrotekhnologicheskoy obrabotki rastenij // Kand. tekhn. nauk (NGAU, g. Novosibirsk)
12. A. s. 974946: MKI A 01V 47/00. Sposob bor'by s sornyakami i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya / Meshkov A. A., Lyapin V. G.;

zayavitel' i patentoobladatel' CHIMESKH. № 2996564/30-15 ; zayavl. 09.10.80 ; opubl. 23.11.82, Byul. № 43.

13. **Polevik N. D.** Metody i sredstva bor'by s sornoj rastitel'nost'yu s ispol'zovaniem impul'snyh SVCH-izluchenij : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.20.02 / Polevik Nikolaj Dmitrievich. Chelyabinsk , 2007. 23 p.

14. **Tashpulatov N. T.** Elektroimpul'snaya obrabotka kornevishch mnogoletnih sornyakov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.20.02. / Tashpulatov Nusratillo Tel'manovich. Tashkent , 1993. 19 c.

15. **Toporkov V. N.** Elektroimpul'snaya ustanovka dlya bor'by s sornyakami : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.20.02 / Toporkov Viktor Nikolaevich. M. , 2015. 174 p.

16. **Yudaev I. V.** Elektroimpul'snaya energosberegayushchaya tekhnologiya bor'by s sornoj rastitel'nost'yu : dis. ... doktora tekhn. nauk: 05.20.02 / Yudaev Igor' Viktorovich. Volgograd , 2012. 450 p.

Баев Виктор Иванович, профессор, доктор техн. наук

Тел. 8-917-337-21-50

E-mail: vibaew@mail.ru

Прокофьев Петр Викторович, старший преподаватель

Тел. 8-927-514-84-38

E-mail: camen79@mail.ru

УДК 621.316

М. А. ЮНДИН, канд. техн. наук, профессор

Е. В. РУДЬ, аспирант

Д. Н. ГОЛОВАХА, магистрант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный аграрный университет», Азово-Черноморский инженерный институт, Российская Федерация, г. Зерноград

M. A. UNDIN, *Ph.D. of Engineering Sciences, Professor*

E. V. RUD, *Postgraduate*

D. N. GOLOVAKHA, *Undergraduate*

Don State Agrarian University, Azov-Black Sea Engineering Institute, Russian Federation, Zernograd

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕСИММЕТРИИ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ В СЕТИ 0,38 КВ

THE RESULTS OF STATISTICAL EVALUATION OF THE ASYMMETRY AND NONSINUSOIDALITY OF VOLTAGES IN THE 0.38 KV NETWORK

***Аннотация.** В работе приводятся результаты статистического анализа показателей, характеризующих несимметрию и несинусоидальность напряжения в сети 0,38 кВ. Исследования выполнялись в сетях 0,38 кВ с преимущественно бытовыми нагрузками на Юге страны. Обработка результатов исследований проводилась принятыми в математической статистике методами. Полученные выборки о перечисленных показателях группировались по сезонам года. Для полученных статистических оценок выполнен анализ распределений и интервальное оценивание. Найденные статистические оценки позволяют точнее рассчитывать параметры технических средств для уменьшения потерь электроэнергии, как в сети 0,38 кВ, так и силовом трансформаторе, от которой она отходит.*

Ключевые слова: коэффициенты несимметрии напряжений основной частоты по нулевой и обратной последовательности; суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжений фаз и наиболее значимые коэффициенты n -ных гармонических составляющих напряжений фаз.

Abstraction. The paper presents the results of the statistical analysis of the indicators characterizing the unbalance and non-sinusoidal voltage in the network 0,38 kV. The study was performed in the networks of 0.38 kV with predominantly domestic load at the South of the country. Processing of research results was carried out by methods accepted in mathematical statistics. The obtained samples of the listed indicators were grouped by seasons of the year. For the obtained statistical estimates the analysis of distributions and interval estimation is carried out. The found statistical estimations allow to calculate more precisely parameters of technical means for reduction of a loss of the electric power, both in a network of 0,38 kV, and the power TRANS-formator from which it departs.

Keywords: coefficients of asymmetry of the fundamental frequency stresses in the zero and reverse sequence; the total coefficient of the harmonic components of the phase stresses and the most significant coefficients of the n -th harmonic components of the phase stresses.

Основными причинами дополнительных потерь электроэнергии в системах электроснабжения напряжением 0,4 кВ являются токи нулевой и обратной последовательности основной частоты [1, 23], а также токи высших гармоник. Протекание несимметричных токов основной частоты обусловлено неравенством нагрузки в линейных проводах сети, что вызывает несимметрию напряжений в нормальном режиме работы 0,38 кВ. Циркуляция высших гармоник тока в сети вызвана насыщением узлов нагрузки нелинейными электроприемниками. Описанная проблема особенно характерна для сельских электрических сетей России с преобладающей коммунально-бытовой нагрузкой.

Измерения степени искажения симметрии и гармонических искажений напряжения на вводе 0,4 кВ в течение года выполнялись сертифицированными приборами «Прорыв-КЭ». Абсолютная погрешность измерения у «Прорывов-КЭ» составляла $\pm 0,15$ %. При-

боры подключались по четырехпроводной схеме: к трем линейным проводам и нулевому рабочему проводу на вводе 0,4 кВ силового трансформатора 10/0,4 кВ. Силовые трансформаторы имели в основном схему соединения обмоток «звезда/звезда с нулем» и принадлежали разным подстанциям одного предприятия электрических сетей. Время измерений составляло от нескольких суток до недели, а интервал между отдельными измерениями варьировался – в 1, 10 и 30 минут. Полученные среднесуточные базы данных затем обрабатывались в программе «Описательная статистика» MSExcel.

Вид обработанной среднесуточной базы данных о коэффициенте несимметрии напряжений основной частоты по нулевой последовательности K_{0U} показан на рисунке 1.

Среднее	5,350
Стандартная ошибка	0,043
Медиана	5,400
Мода	4,650
Стандартное отклонение	1,644
Дисперсия выборки	2,701
Экссесс	–0,211
Асимметричность	–0,083
Интервал	9,070
Минимум	0,970
Максимум	10,040
Сумма	7704,690
Счет	1440
Уровень надежности (95,0 %)	0,085

Рисунок 1 – Результаты статистической обработки измерений коэффициента несимметрии напряжений основной частоты по нулевой последовательности K_{0U} на вводе 0,4кВ весной за одни сутки

Аналогичным образом обрабатывались измерения для каждого сезона, затем полученные первичные данные о выборочных средних группировались в соответствующие выборки, для которых далее рассчитывались выборочные характеристики статистического распределения и вариации данных.

Выборочные средние рассчитывались для среднесуточных коэффициентов несимметрии напряжений основной частоты по нуле-

вой и обратной последовательности, коэффициентов гармонической составляющей напряжения, коэффициентов третьей и пятой гармонических составляющих напряжения в фазах сети.

Соотношение отдельных гармоник напряжения в суммарном коэффициенте гармонических составляющих фазного напряжения, проиллюстрированное рисунком 2, показывает, что среди значимых гармоник напряжения преобладают третья и пятая.

Анализ рисунка 1 показывает, что вклад наиболее значимых гармоник напряжения в суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения составляет: третьей – 32 %; пятой – 23 %; седьмой – 13 %; девятой – 10%; одиннадцатой – 7 %; тринадцатой – 5 %; пятнадцатой, семнадцатой и девятнадцатой по 3 % и двадцать первой – 2 %.

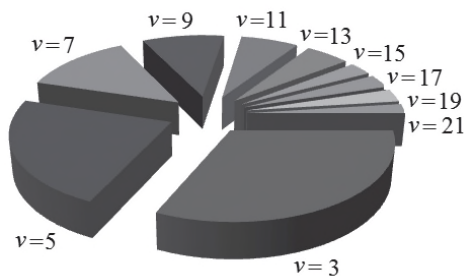


Рисунок 2 – Соотношение отдельных гармоник напряжения в суммарном коэффициенте гармонических составляющих фазного напряжения

Для каждого из вышеуказанных коэффициентов определен закон распределения случайной непрерывно распределенной величины. При помощи критериев согласия степени совпадения эмпирического с теоретическим распределением было установлено, что закон распределения случайных непрерывно распределенных величин среднесуточных коэффициентов несимметрии напряжений основной частоты по нулевой (K_{0U} , %) и обратной (K_{2U} , %) последовательности, коэффициентов гармонической составляющей напряжения (K_U , %), коэффициентов третьей (K_{U3} , %) и пятой (K_{U5} , %) гармонических составляющих напряжения в фазах сети нормальный. Также были построены гистограммы и полигоны распределения указанных коэффициентов.

Для средних значений коэффициентов несимметрии напряжений основной частоты по нулевой обратной последовательности, коэффициентов гармонической составляющей напряжения, коэффициентов третьей и пятой гармонических составляющих напряжения в фазах сети с надежностью 0,95 рассчитаны доверительные интервалы, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Итоговые показатели статистического исследования

Показатель	Время года			
	Весна	Лето	Осень	Зима
Объем выборки на вводах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ	21	21	19	29
Среднемесячные значения величин:				
-среднее значение K_{0U} , %	2,04	1,95	2,48	1,44
-стандартное отклонение K_{0U} , %	1,86	1,71	2,18	1,83
-доверительный интервал с доверительной вероятностью 95 %, %	$\pm 0,80$	$\pm 0,73$	$\pm 0,98$	$\pm 0,93$
-среднее значение K_{2U} , %	0,67	0,66	0,67	0,89
-стандартное отклонение K_{2U} , %	0,63	0,47	0,19	0,58
-доверительный интервал с доверительной вероятностью 95 %, %	$\pm 0,27$	$\pm 0,20$	$\pm 0,09$	$\pm 0,29$
Объем выборки на линейном проводе в начале сети 0,38 кВ	63	63	57	87
-среднее значение K_U , %	1,75	1,99	2,48	1,37
-стандартное отклонение K_U , %	1,23	1,11	1,19	0,53
-доверительный интервал с доверительной вероятностью 95 %, %	$\pm 0,30$	$\pm 0,28$	$\pm 0,31$	$\pm 0,16$
-среднее значение K_{U3} , %	1,12	1,30	2,00	0,85
-стандартное отклонение K_{U3} , %	1,15	1,03	1,28	0,60
-доверительный интервал с доверительной вероятностью 95 %, %	$\pm 0,28$	$\pm 0,26$	$\pm 0,33$	$\pm 0,18$
-среднее значение K_{U5} , %	0,81	0,97	0,95	0,75
-стандартное отклонение K_{U5} , %	0,68	0,61	0,44	0,35
-доверительный интервал с доверительной вероятностью 95 %, %	$\pm 0,17$	$\pm 0,15$	$\pm 0,12$	$\pm 0,10$

Как видно из таблицы 1 среднесуточные значения коэффициентов несимметрии напряжений основной частоты по нулевой последовательности в различные периоды года всегда превышают коэффициенты несимметрии напряжений основной частоты по обратной последовательности. Наибольшее значение среднего коэффици-

ентанесимметрии напряжений основной частоты по нулевой последовательности приходится на осень ($2,48 \pm 0,98$) %. Коэффициент несимметрии напряжений основной частоты по обратной последовательности более стабилен в течение года.

В осеннее время года наиболее несинусоидальна и форма кривой напряжения вначале сети 0,38 кВ, так наибольшее значение среднего коэффициента гармонической составляющей напряжения в этот период года равно ($2,48 \pm 1,19$) % (таблица 1). В ухудшение формы кривой напряжения вносит значительный вклад третья гармоника напряжения, которая, как и общий коэффициент гармонической составляющей напряжения, наибольшее значение имеет осенью. Как следует из таблицы 1, наибольшее среднее значение коэффициента третьей гармонической составляющей напряжения осенью составило ($2,00 \pm 0,33$) %. Коэффициент пятой гармонической составляющей напряжения вначале линии более стабилен в течение года по значению (таблица 1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бородин И. Ф., Сердешнов А. П.** Потери электроэнергии в сельских сетях и пути их снижения // Техника в сельском хозяйстве. 2002. № 1. С. 23–26.

REFERENCES

1. **Borodin I. F., Serdeshnov A. P.** Poterielektroenergii v sel'skihsetyah i putihsnizheniya / Tekhnika v sel'skomhozyajstve. 2002. № 1. pp. 23–26.

Юндин Михаил Анатольевич, канд. техн. наук, профессор

Тел. 8-928-774-73-53

E-mail: m.a.ju@yandex.ru

Рудь Евгений Викторович, аспирант

Тел. 8-988-247-83-58

Головаха Дмитрий Николаевич, магистрант

E-mail: novuzs@novuzs.ru

С. В. СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», Российская Федерация, Белгородский регион, п. Майский

S. V. SOLOVEV, Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin”, Russian Federation, Maysky settlement, Belgorod region

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

DIAGNOSTIC MONITORING OF ELECTRIC TRANSMISSION AIR LINES

***Аннотация.** В статье рассмотрены проблемы мониторинга и диагностики воздушных линий электропередач, технические возможности и решения. Повсеместное внедрение современных микропроцессорных систем и каналов связи предоставляют новые возможности для создания систем диагностического мониторинга воздушных линий электропередач. Так же появляются новые решения и для организации мониторинга данных линий электропередачи. Наиболее перспективными являются направления разработки и внедрения систем мониторинга и оперативной диагностики линий позволяющие увеличить их пропускную способность, а так же осуществлять полный контроль за их состоянием. Применяемые системы мониторинга должны иметь функцию дистанционного выявления неисправностей линий.*

***Ключевые слова:** осмотр ВЛ, мониторинг, системы мониторинга, датчик.*

***Abstract.** The article deals with the problems of monitoring and diagnostics of overhead power lines, technical capabilities and solutions. The widespread introduction of modern microprocessor systems and*

communication channels provide new opportunities for creating diagnostic monitoring systems for overhead power lines. New solutions are also appearing to organize the monitoring of these power lines. The most promising areas are the development and implementation of monitoring systems and operational diagnostics of lines that allow increasing their throughput, as well as full control over their condition. The monitoring systems used should have the function of remote line fault detection.

Keywords: *overhead line inspection, monitoring, monitoring systems, sensor.*

Мониторинг – это процесс непрерывного наблюдения за ВЛ с целью получения своевременной информации о повреждениях и прочих процессах, происходящих в линии. Задача мониторинга – повышение наблюдаемости сети. Комплексный мониторинг подразумевает получение информации с различных точек распределительной сети [1, с. 56, 2, с. 17].

Проблемы мониторинга и диагностики воздушных ЛЭП, технические возможности и решения PowerLine – Monitoring and Diagnostics. Широкое внедрение современных микропроцессорных систем и каналов связи создают новые возможности для создания систем диагностического мониторинга ЛЭП. Появляются новые решения и для организации мониторинга воздушных линий электропередачи. Наиболее интересными являются следующие направления разработки и внедрения систем мониторинга и оперативной диагностики ЛЭП [3, с. 65]:

1. Увеличение пропускной способности воздушных линий при помощи использования систем «прямого» температурного мониторинга проводов линий.

2. Контроль за техническим состоянием подвесной изоляции ЛЭП, контроль поверхностного загрязнения изоляции, поиск дефектных изоляторов в линии.

3. Дистанционная локация мест возникновения дефектов, контроль импульсных и коммутационных процессов в линии.

4. Внедрение дистанционных систем мониторинга обледенения проводов под напряжением.

5. Оперативный контроль за техническим состоянием и условиями прокладки проводов ЛЭП, проводимое различными методами в режиме мониторинга.

6. Выявление линий, имеющих однофазное замыкание на землю,

локация мест возникновения замыкания под рабочим напряжением.

Система «WDM-T» предназначена для дистанционного контроля температуры высоковольтного оборудования, находящегося под напряжением:

- провода высоковольтных ЛЭП;
- концевые и соединительные кабельные муфты;
- измерительные трансформаторы ТТ и ТН;
- ограничители перенапряжений.

Система марки «WDM-T» (Wireless Diagnostic Monitor – Temperature) предназначена для дистанционного измерения температуры оборудования, для которого невозможно использовать проводные датчики измерения температуры с соединительными кабелями.

Система «WDM-T» состоит из трех (и более) автономных датчиков контроля температуры марки «WTS» рисунок 1, смонтированных на проводах ЛЭП, и одного блока приемника – концентратора информации марки «WDM», установленного на земле.



Рисунок 1 – Беспроводной датчик марки «WTS»

Беспроводные датчики марки «WTS» предназначены для контактного измерения температуры проводов ЛЭП. Датчики этого типа монтируются непосредственно на проводах линии в районе подстанции в зоне прямой радиосвязи с приемником марки «WDM».

Результаты измерений передаются датчиком по радиоканалу с использованием протокола Bluetooth. Для повышения надежности передачи данных датчик «WTS» необходимо монтировать торцевой наружной поверхностью в сторону приемника, не допуская паразитного экранирования внутренней антенны проводом ЛЭП.

Беспроводный датчик включает в себя датчик температуры и универсальную электронную плату в защитном корпусе. Все элементы конструкции датчика изготовлены из нержавеющей стали, а антенна передатчика защищена силиконовым колпаком.

Для питания электроники датчика используется встроенная батарея, рассчитанная на длительный срок службы, поэтому датчик может эксплуатироваться без обслуживания весь срок эксплуатации.

При интервале времени между замерах температуры проводов в 5 минут срок службы батареи составляет не менее 20 лет [4, с. 10].

Для удобства эксплуатации датчика текущее значение напряжения внутренней батареи постоянно контролируется и передается в систему мониторинга вместе со значением температуры проводов.

Таблица 1 – Основные параметры датчика «WTS»

Измеряемая температура, град	$-50 \div +150$
Точность измерения, град	± 1
Время между замерах, мин	5
Диапазон рабочих температур, град	$-40 \div +85$
Время работы от батареи, лет	20
Размеры датчика, ($L \times D$) мм	70×60
Масса датчика, грамм	500

Базовый модуль-приемник системы мониторинга «WDM» монтируется на подстанции в зоне отходящих линий. Если несколько ЛЭП расположены близко друг к другу, то для контроля температуры ЛЭП необходимо установить несколько датчиков и только один приемник «WDM».

Для повышения диагностической информативности работы всей системы мониторинга «WDM-T» к модулю «WDM» подключается дополнительный датчик температуры и влажности окружающей среды.

Подключение приемника «WDM» осуществляется кабелем питания и «витой парой», предназначенной для передачи информации в систему АСУ-ТП по протоколу ModBus.

В модуле приемника «WDM» реализованы не только функции приема (сбора сигналов от датчиков и передачи их в систему АСУ-ТП), но и возможность архивирования информации. Это позволяет использовать его в качестве главного элемента автономной системы мониторинга, предназначенной для контроля параметров электро-технических объектов [5, с. 327].

Модуль «WDM» предназначен для приема информации не только от датчиков температуры, но и от всех беспроводных интеллектуальных датчиков, разработанных и производимых фирмой «DIMRUS». Это датчики контроля ОПН («ОПН Датчик»), контроля частичных разрядов в баке силовых трансформаторов («TDM-Oil-

4»), контроля состояния высоковольтных вводов трансформаторов («В-500»).

При внедрении систем мониторинга необходима on-line передача информации в центр принятия решений. В центре сбора информации должна быть организована эвристическая обработка информации с учетом современных алгоритмических и вероятностных методов. При интеллектуальном анализе необходимо использовать информацию со всех устройств мониторинга, в том числе установленных на ПС терминалов. Система мониторинга должна иметь прогностические функции и возможности самообучения. Дальнейшее совершенствование программы планируется осуществлять по мере проведения глубокого технико-экономического анализа сочетания указанных выше факторов на выбор способа мониторинга ЛЭП [5, с. 328].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Виноградов А. А.** Микропроцессоры и микропроцессорные устройства: Учебное пособие для студентов энергетических специальностей А. А. Виноградов, М. Н. Нестеров, А. О. Яковлев и др. Белгород : Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова ЭБС АСВ, 2012. 167 с.

2. **Готвянский В. В.** Типовые технологические карты на установку свободностоящих порталных промежуточных опор типа ПБ 330-7Н, ПБ 500-5Н и ПБ 500-7Н и модификации базовой конструкции // Воздушные линии. 2011. № 3 (4). С. 16–18.

3. **Килин С. В.** Направление развития средств и методов диагностики электрооборудования // Актуальные проблемы энергетики АПК Материалы IX международной научно-практической конференции. Под общ. ред. Трушкина В. А. Саратов : ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2018. С. 65–66.

4. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений / РД 153-34.3-35.125-99. СПб. : Изд. ПЭИПК, 1999. 52 с.

5. **Яковлев А. О.** Оценка технического состояния металлических опор воздушных линий // Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса горных и предгорных территорий. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Горского ГАУ. Владикавказ :

REFERENCES

1. **Vinogradov A. A.** Mikroprotsessory i mikroprotsessornyye ustroystva: Uchebnoye posobiye dlya studentov energeticheskikh spetsial'nostey / A. A. Vinogradov, M. N. Nesterov, A. O. Yakovlev i dr. – Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V. G. Shukhova EBS ASV, 2012. 167 p.

2. **Gotvyanskiy V. V.** Tipovyye tekhnologicheskiye karty na ustanovku svobodnostoyashchikh portal'nykh promezhutochnykh opor tipa PB 330-7N, PB 500-5N i PB 500-7N i modifikatsii bazovoy konstruktsii // *Vozdushnyye linii*. 2011. № 3 (4). С. 16–18.

3. **Kilin S. V.** Napravleniye razvitiya sredstv i metodov diagnostiki elektrooborudovaniya // *Aktual'nyye problemy energetiki APK Materialy IKH mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Pod obshch. red. Trushkina V. A. Saratov : OOO «Tsentr sotsial'nykh agroinnovatsiy SGAU», 2018. p. 65–66.

4. *Rukovodstvo po zashchite elektricheskikh setey 6-1150 kV ot grozovykh i vnutrennikh perenapryazheniy / RD 153-34.3-35.125-99.* SPb. : Izd. PEIPK, 1999. – 52 p.

5. **Yakovlev A. O.** Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya metallicheskih opor vozdushnykh liniy // *Nauchnoye obespecheniye ustoychivogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa gornykh i predgornykh territoriy. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchonnoy 100-letiyu Gorskogo GAU.* Vladikavkaz : FGBOU VO «Gorskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet», 2018. pp. 326–328.

Соловьев Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент

Тел. 8-904-531-18-47

E-mail: ser-solovyev@mail.ru

Я. О. ТЕПЛОВА, канд. техн. наук, доцент, ведущий специалист
Общество с ограниченной ответственностью «СовЭлМаш», Россий-
ская Федерация, г. Москва

Y. O. TERLOVA, Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor,
Leading Specialist
“SovElMash” Limited Liability Company, Russian Federation, Moscow

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РАЗРАБОТКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

PROVIDING EFFICIENCY OF EVALUATING INDUCTION MOTORS CHARACTERISTICS BASED ON TESTING PROCESS AUTOMATION FOR THE DEVELOPMENT OF ENERGY-EFFICIENT ELECTRIC MACHINES

***Аннотация.** Рассматривается актуальность обеспечения эффективного контроля характеристик электрических машин в процессе испытаний применительно к задачам разработки энергоэффективных асинхронных двигателей. Исследованы используемые подходы к испытаниям электрических машин. Описаны опыт внедрения и перспективы развития методов и средств контроля характеристик асинхронных двигателей на основе использования автоматизированного стенда испытаний. В частности, исследованы задачи определения влияния замены обмоток статора на совмещенные обмотки на изменение характеристик асинхронных двигателей общего назначения и оценка потенциала энергоэффективности.*

***Ключевые слова:** асинхронный двигатель, электропривод, лаборатория, автоматизация испытаний.*

***Abstract.** Importance of providing effective electric machines characteristics effective control in relation to the tasks of developing energy-efficient induction motors is considered. The wide-used approaches to rotating electrical rotating machines testing were studied. The article de-*

scribes experience of methods and tools for induction motors characteristics control based on use of an automated test stand. In particular, the problems of evaluating effect of induction motors modernization by replacing stator windings with combined ones on changing the characteristics of general-purpose induction motors and evaluating their energy efficiency potential.

Keywords: *induction motor, electric drive, laboratory, testing, automation.*

Одно из ключевых мест в экономике современных государств занимают задачи снижения энергоемкости ВВП, а также связанные задачи, такие как снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду при обеспечении устойчивого развития и качества жизни общества.

В промышленности, ЖКХ и других областях значительное энергопотребление приходится на технологические процессы, связанные с движением и выполняемые с использованием электропривода. Известно, что годовой уровень продаж электродвигателей в 2018 г. превысил 8,3 млрд. шт. [1, с. 2]. Значительная часть электродвигателей представлена асинхронными двигателями (АД). Для улучшения энергетических и эксплуатационных характеристик приводов на базе АД применяются различные решения и технологии, от использования более высококачественных электротехнических сталей до изменения схем обмоток [2, 3].

Обеспечение снижения энергопотребления и внедрение энергоэффективных технологий невозможны без эффективных методов и средств контроля характеристик разрабатываемых научно-технических и конструкторских решений, проверки и подтверждения их характеристик. Важную роль в этих задачах играют процессы сбора, обработки, анализа и представления информации об объектах контроля по результатам испытаний. Развитие контрольно-измерительного оборудования, а также использование автоматизированных и информационно-измерительных систем на сегодняшний день предоставляют широкие возможности для усовершенствования этих процессов.

В рамках реализации проекта по созданию инжинирингового центра, занимающегося разработкой и постановкой производства энергоэффективных электрических машин с т.н. совмещенными об-

мотками [4, 5 и др.], на предприятии технико-внедренческого типа была создана испытательная лаборатория, оснащенная на данный момент одним внедренным и аттестованным автоматизированным стендом на базе цифрового оборудования и специализированного программного обеспечения, объединенных в единый программно-аппаратный комплекс. Стенд используется для испытаний АД общего назначения габаритов от 56 до 100, а также представляет возможности испытаний мотор-колес для транспортных средств совместно с контроллерами частотного управления. Стенд для испытаний АД больших габаритов и мощности находится на этапе разработки и монтажа и также планируется к прохождению аттестации.

В число основных задач лаборатории входят проверка решений с совмещенными обмотками для энергоэффективных АД, корректность их реализации в испытуемых образцах машин и разработка рекомендаций по внесению изменений. Отдельной важной задачей является исследование рабочих характеристик АД в условиях динамически изменяющейся нагрузки для обоснованной оценки потенциала их энергоэффективности. Основной сложностью представляется получение результатов испытаний с высокой достоверностью и обеспечение высокой воспроизводимости опытов, что решается, в частности, средствами автоматизации.

Использование автоматизированного стенда призвано обеспечивать снижение общих затрат времени, своевременность проведения прямых и косвенных измерений в процессе опытов, что затруднительно в ручном режиме, получение значений измеряемых и вычисляемых характеристик высокой точности, а также возможность предварительной обработки данных и снижение вероятности ошибок и аварийных ситуаций в процессе испытаний.

В состав стенда включены следующие основные компоненты (рисунки 1, 2):

- цифровой измеритель (анализатор) мощности Yokogawa серии WT-1800;

- нагрузочные (тормозные) машины с датчиками вращающего момента, контроллерами управления и поставляющимся в комплекте программным обеспечением в составе системы Magtrol;

- источники питания;

- датчики тока;

- ПЭВМ с периферийными устройствами, соединенная с анали-

затором мощности и контроллером управления системы Magtrol;
трехкоординатные столы;
оснастка стенда, соединительные кабели;
программа автоматизации испытаний машин электрических вращающихся T-Stend, разработанная предприятием для автоматизации совместной работы оборудования, входящего в состав стенда, и др.



Рисунок 1 – Рабочее место стенда испытаний электрических машин

Стенд используется совместно с комплектом контрольно-измерительного оборудования и лабораторным автотрансформатором.

В процессе выполнения опытов программа получает наборы данных от анализатора мощности о параметрах объекта контроля, в частности, значения тока статора, напряжения, потребляемой и выходной мощности, КПД, частоты вращения вала, скольжения и др. в процессе опытов холостого хода, нагрузки, короткого замыкания. Далее выполняется обработка и сохранение результатов пользователем в файлах, доступных для преобразования в электронные таблицы, формирование отчетов об испытаниях и сохранение в формате электронных таблиц для последующего включения в протоколы испытаний. Управление функциями программы осуществляется при помощи графического интерфейса пользователя, примеры которого – основное окно, вкладки инструмента «Опыт холостого хода» представлены на рисунке 3.



Рисунок 2 – Стенд испытаний электрических машин с объектами контроля

В качестве основы для разработки программ и методик испытаний электрических машин, прежде всего АД общего назначения были использованы требования действующих ГОСТ 7217-87, ГОСТ IEC 60034-1-2014, ГОСТ IEC 60034-2-1-2017 и др. В части оценки потенциала энергоэффективности за основу приняты требования ГОСТ IEC 60034-30-1-2016, определяющего классы энергоэффективности, или классы КПД, двигателей переменного тока, работающих от сети (код IE). На данный момент полностью отработаны программа и методики сравнительных испытаний АД для оценки влияния на рабочие характеристики двигателя замены штатных статорных обмоток на совмещенные обмотки разных схем.

Перед началом испытаний по выбранной программой и методикам производится настройка стенда в соответствии с начальными данными – параметрами испытуемого АД. После запуска АД и подготовки к опытам выполняется последовательность опытов с контролем корректности их выполнения. На каждом этапе используется программное управление устройствами стенда. Общая последовательность испытаний представлена следующими этапами:

- 1) подготовка к испытаниям, включая контроль климатических условий, внешний осмотр и проверка электрической прочности изоляции объекта контроля, установка на стенде с использованием трехкоординатного стола, соединение с нагрузочной машиной с выставлением соосности валов, контроль температуры корпуса и обмоток;

2) подача питания, включение и настройка цифрового оборудования, запуск программы T-Stend, установка соединения с оборудованием и создание сеанса;

3) запуск объекта контроля;

4) последовательное выполнение опытов, предусмотренных программой, с обеспечением требуемых условий выполнения с автоматизированной обработкой данных и сохранением результатов в виде наборов данных и графиков системы Magtrol, а также файлов сеанса и отдельных опытов программы T-Stend;

5) предварительная проверка результатов, сохранение отчета в виде электронной таблицы;

6) проверка результатов и формирование протоколов испытаний.

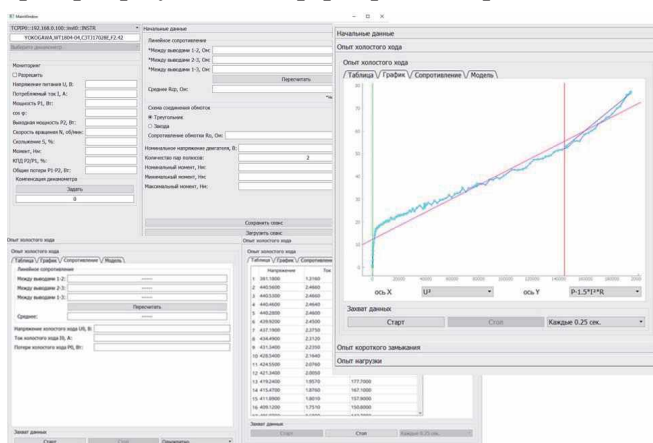


Рисунок 3 – Примеры графического интерфейса программы T-Stend

Результаты опытов сохраняются в форматах электронных таблиц и текстовых файлов, что позволяет использовать их для дальнейшей обработки.

Для получения результатов измерений с заданными интервалами времени и в достаточном количестве в течение одного опыта в программе T-Stend предусмотрен инструмент получения данных от анализатора мощности. При необходимости для каждого опыта формируются несколько наборов данных до 300 записей, соответствующих строкам таблицы, по аналогии с записями в базах данных. Для каждой из них доступна детализация. Применение такого

инструмента для измерений позволяет существенно повышать точность и релевантность данных о поведении объекта – испытуемого АД за счет возможности увеличения числа отсчетов, а также фиксирования изменений контролируемых параметров на коротких временных интервалах.

В частности, при помощи программы T-Stend выполняется определение значений КПД η испытуемых АД в типовом режиме S1, т. е., в практически установившемся тепловом состоянии при номинальных значениях частоты f_N и напряжения U_N питающей сети, а также выходной мощности P_N , т. е., при продолжительной работе при номинальной нагрузке. Также T-Stend используется для определения или контроля значений номинальных напряжения и вращающего момента АД с совмещенными обмотками, например, для корректировки обмоточных данных по результатам испытаний.

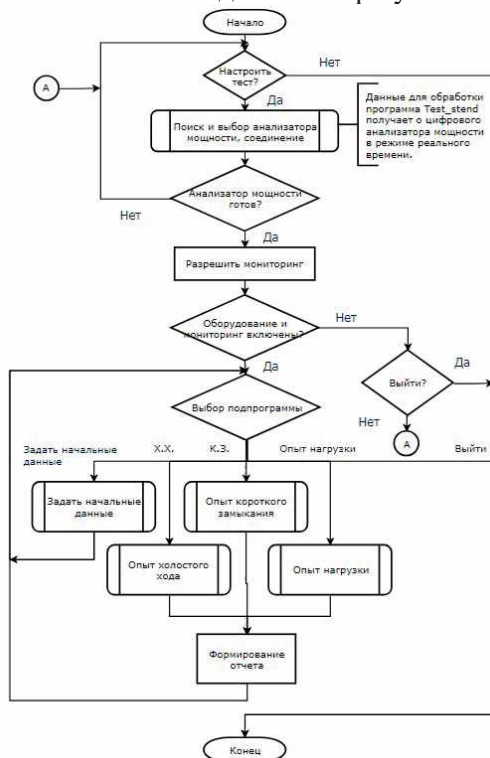


Рисунок 4 –Общий алгоритм работы с программой автоматизации испытаний

Ввиду необходимости контроля характеристик испытуемых АД при динамически изменяющейся нагрузке для оценки потенциала их энергоэффективности в рамках разработанных программ и методик испытаний с использованием автоматизированного стенда определение значений КПД под нагрузкой производится двумя опытами:

1) опыт нагрузки с использованием анализатора мощности и программы T-Stend;

2) опыт нагрузки с использованием программного обеспечения системы Magtrol.

Необходимость проведения двух опытов обусловлена тем, что в целях повышения эффективности контроля характеристик испытуемых машин целесообразно не только определять КПД при некоторых фиксированных значениях нагрузки, например, в соответствии с ГОСТ 7217-87 и ГОСТ IEC60034-2-1-2017, но и оценивать изменение КПД при изменении нагрузки в широких диапазонах (в режимах динамической нагрузки), определяя вид зависимости КПД от выходной мощности на основе данных значительно большего количества измерений – до нескольких сотен в течение короткого промежутка времени – в процессе выполнения опыта (2). Например, в процессе выполнения опыта для сравнения рабочих характеристик двигателей АДМ90L6У2 заводского исполнения и модернизированных путем замены штатных обмоток на совмещенные, было получено более 500 значений КПД для каждого объекта контроля в течение не более 10 секунд.

Ввиду существенного влияния температуры обмоток статора на КПД, наличия погрешностей измерений и физической невозможности достижения полной воспроизводимости эксперимента, допускается незначительное отклонение определенных при одинаковых нагрузках значений η . При этом за более точные значения η для нагрузки, соответствующей P_N , принимаются результаты опыта (1). Это обусловлено тем, что задачей проведения данного опыта является получение отдельных значений при статичной нагрузке, а не тренда изменения показателя, а также тем, что опыт проводится непосредственно после достижения объектом контроля практически установившегося теплового состояния и при ручной регулировке нагрузки, т. е., без предварительной настройки PID-регуляторов в программном обеспечении Magtrol, что исключает перегрев обмо-

ток. Помимо этого, результаты опыта (1) используются для проверки корректности выполнения опыта (2), например, для выявления перегрева или остывания обмоток. По результатам опыта (2) строятся тренды изменения КПД в зависимости от выходной мощности.

На рисунке 5 приведен пример визуализации результатов исследования КПД трех АД общего назначения мощностью 1,5 кВт с использованием автоматизированного стенда. В данном случае опыт использован для оценки соответствия этих машин классам КПД в соответствии с классификацией IЕ, а также характера изменения КПД при изменяющейся нагрузке. Голубой вертикальной линией отмечена выходная мощность, соответствующая P_N .

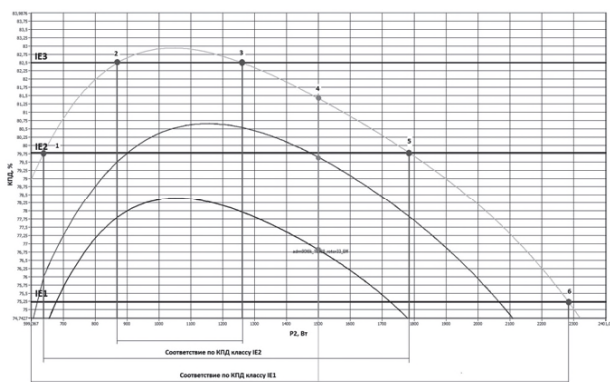


Рисунок 5 – Фрагменты графиков КПД асинхронных двигателей мощностью 1,5 кВт в режиме сравнения

Возможности системы Magtrol также применяются для контроля механической характеристики испытуемых АД и оценки решений совмещенных обмоток.

Для примера на рис. 6 представлены графики механической характеристики АД габарита 90 одинакового типа, где черная кривая соответствует результатам испытания двигателя заводского исполнения, а красная и зеленая — аналогичных двигателей с совмещенными обмотками, реализованными по разным схемам. Результаты этих опытов, включая визуализацию, также включаются в протоколы испытаний.

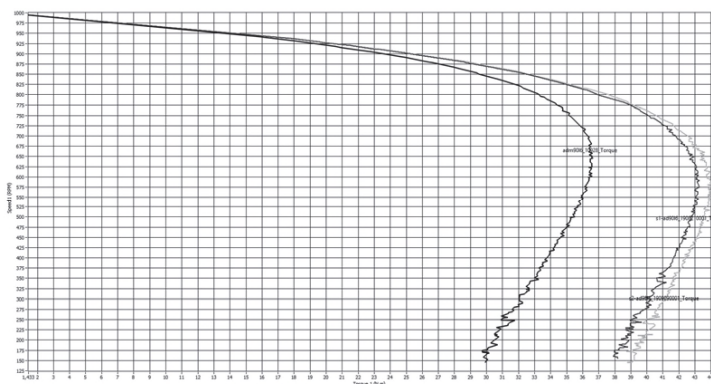


Рисунок 6 – Графики механической характеристики АД в режиме сравнения

Серии испытаний АД общего назначения мощностью от 0,18 кВт до 2,2 кВт, в частности, выполненные в процессе внедрения и отладки стенда, показали, что контроль характеристик электрических машинс комплексным применением средств автоматизации в объеме разработанных программы сравнительных испытаний, не превышает двух часов для каждого объекта контроля с учетом времени, необходимого для достижения машиной практически установившегося теплового состояния.Время непосредственного получения данных измерений составляет порядка единиц и десятков секунд в зависимости от опыта.

Кроме того, использование данных средств испытаний и методик позволяет обеспечивать достаточную воспроизводимость условий проведения опытов без значительной трудоемкости и временных затрат, что обеспечивает высокую достоверность и корректность результатов. Последнее имеет большое значение для задач оценки эффективности разработанных научно-технических и конструкторских решений и проверки их характеристик. Помимо этого, обеспечивается существенное удобство сравнения результатов испытания различных двигателей для последующей обработки и формирования рекомендаций.

В дальнейшем планируется внедрение стенда для испытания АД больших габаритов и мощностей, а также дальнейшее расширениефункционала существующих средствавтоматизации. Внедрение

автоматизированных средств испытаний электрических машин, а также их использование в рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ совместно со средствами компьютерного моделирования [6] позволяет своевременно получать более полные и корректные данные об эффективности разрабатываемых решений, способствовать выявлению ошибок при проектировании или выполнении образцов, и в целом реализовать удобную обратную связь для разработчиков. Кроме того, решается задача экономии времени, затрачиваемого на испытания, и снижения вероятности возникновения случайных ошибок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ мирового рынка электродвигателей в 2014–2018 годы, прогноз на 2019–2023 годы. BusinesStat. 2019. 123 с.

2. **Kasten H., Hofmann W.** Electric machines with higher efficiency by combining the "star-delta" functions of windings // Electric machines and drive. IEEE: int. conf. IEMDC, 2011.

3. Пат. 111723 Российская Федерация, МПК⁷ Н 02 К 3/28, Н 02 К 17/14. Обмотка асинхронного двигателя / Дуюнов Д. А., Дуюнов Е. Д., Агриков Ю. М. ; заявитель и патентообладатель ООО «АС и ПП». № 2011125501/07 ; заявл. 21.06.2011 ; опубл. 20.12.2011. Бюл. № 35.

4. Пат. 109934 Российская Федерация, МПК⁷ Н 02 К 17/12, Н 02 К 3/12. Машина асинхронная вращающаяся / Агриков Ю. М., Дуюнов Д. А., Блинов В. Л. и др. ; заявитель и патентообладатель ООО «АС и ПП». № 2011120305/07 ; заявл. 23.05.2011 ; опубл. 27.10.2011. Бюл. № 30.

5. Пат. 2507664 Российская Федерация, МПК⁷ Н 02 К 3/28, Н 02 К 17/12. Малощумный асинхронный двигатель / Агриков Ю. М., Дуюнов Д. А., Блинов В. Л., Яковлев И. Н. ; заявитель и патентообладатель ООО «АС и ПП». № 2011151274/07 ; заявл. 14.12.2011 ; опубл. 20.02.2014. Бюл. № 5.

6. **Иванов С. А., Теплова Я. О., Дуюнов Е. Д., Корхов И. Ю.** Повышение эффективности определения характеристик энергоэффективных электрических машин на основе комплексного подхода к автоматизации процессов испытаний // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2019. № 2. С. 23–30.

REFERENCES

1. Analiz mirovogo rynka elektrodvigatelej v 2014–2018 gody, prognoz na 2019–2023 gody. BusinesStat. 2019. 123 p.

2. **Kasten H., Hofmann W.** Electric machines with higher efficiency by combining the "star-delta" functions of windings // Electric machines and drive. IEEE: int. conf. IEMDC, 2011.

3. Pat. 111723 Rossijskaya Federaciya, MPK7 N 02 K 3/28, N 02 K 17/14. Obmotka asinhronnogo dvigatelya / Duyunov D. A., Duyunov E. D., Agrikov YU. M. ; zayavitel' i patentoobladatel' OOO «AS i PP». № 2011125501/07 ; zayavl. 21.06.2011 ; opubl. 20.12.2011. Byul. № 35.

4. Pat. 109934 Rossijskaya Federaciya, MPK7 N 02 K 17/12, N 02 K 3/12. Mashina asinhronnaya vrashchayushchayasya / Agrikov YU. M., Duyunov D. A., Blinov V. L. i dr. ; zayavitel' i patentoobladatel' OOO «AS i PP». № 2011120305/07 ; zayavl. 23.05.2011 ; opubl. 27.10.2011. Byul. № 30.

5. Pat. 2507664 Rossijskaya Federaciya, MPK7 N 02 K 3/28, N 02 K 17/12. Maloshumnyj asinhronnyj dvigatel' / Agrikov YU. M., Duyunov D. A., Blinov V. L., YAKovlev I. N. ; zayavitel' i patentoobladatel' OOO «AS i PP». № 2011151274/07 ; zayavl. 14.12.2011 ; opubl. 20.02.2014. Byul. № 5.

6. **Ivanov S. A., Teplova Ya. O., Duyunov E. D., Korhov I. Yu.** Povyshenie effektivnosti opredeleniya harakteristik energoeffektivnyh elektricheskikh mashin na osnove kompleksnogo podhoda k avtomatizacii processov ispytaniy // Oboronnyj kompleks – nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii. 2019. № 2. pp. 23–30.

***Теплова Яна Олеговна**, канд. техн. наук, доцент,
ведущий специалист
Тел. 8-917-518-53-77
E-mail: yana.teplova@gmail.com*

Л. Ю. КОНОВАЛЕНКО, старший научный сотрудник

Л. А. НЕМЕНУЩАЯ, старший научный сотрудник

Т. А. ЩЕГОЛИХИНА, научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГБНУ «Росинформагротех»), Российская Федерация, Московская область, р.п. Правдинский

L. Yu. KONOVALENKO, Senior Research Officer

L. A. NEMENUSHCHAYA, Senior Research Officer

T. A. SCHEGOLIKHINA, Research Officer

Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex» (FGBNU «Rosinformagrotech»), Russian Federation, Moscow region, Pravdinsky v.

РОБОТИЗИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В ПИЩЕВОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ROBOTIZATION OF PROCESSES IN THE FOOD AND PROCESSING INDUSTRY

***Аннотация.** Показаны тенденции использования робототехники в промышленности разных стран. Рассматриваются процессы при производстве пищевой продукции, в которых возможно использование роботов. Представлена робототехника для пищевой промышленности ведущих мировых производителей.*

***Ключевые слова:** пищевая промышленность, робототехника, фасовка, упаковка, паллетирование.*

***Abstract.** The trends in the use of robotics in the industry of different countries are shown. The processes in the production of food products in which the use of robots are possible are considered. Robotics for the food industry of leading world manufacturers is presented.*

***Keywords:** food industry, robotics, packaging, palletizing.*

В последние 10 лет активно развивается тренд на автоматизацию промышленного производства и использование роботов на предприятиях. Начиная с 2010 года, спрос на промышленных роботов ежегодно растет, а пищевая промышленность входит в число отраслей с наибольшим спросом [3, с. 15].

По данным Международной федерации робототехники (IFR) наибольшее количество промышленных роботов используется в Японии и Корее: на 10 000 сотрудников приходится 300 роботов. Далее следует Германия – более чем 250 роботов на 10 000 сотрудников, из которых практически половина занята именно в пищевом производстве [1, с. 4].

Скорость роботизации в России крайне низкая – не более 1000 моделей в год. Общая плотность – примерно 2 робота на 10 000 сотрудников.

Роботы в пищевой промышленности способны выполнять следующие функции:

- нарезку продуктов;
- сортировку и укладку (например, при производстве сыров оборудование автоматически сортирует и укладывает продукты в соответствии с рисунком);
- укладку продуктов в короба и трей;
- укладку коробов или треев на паллеты;
- укладку бургеров, котлет, мясной нарезки, тушки птицы и т.п. на подложку или по коробкам;
- нанесение рисунков, надписей и другой декор тортов или кондитерских изделий;
- укладку конфет, чипсов с конвейера (с сортировкой по размеру, цвету, весу и т. п.);
- разделку рыбы [2].

В основном, роботы, используемые на предприятиях пищевой промышленности, задействованы в процессах фасовки, упаковки и паллетирования.

Исходя из конструктивных особенностей в пищевой промышленности широко используются scara-роботы (небольшие четырехосевые роботы), антропоморфные (шестиосевые промышленные роботы, напоминающие по строению человеческую руку) и так называемые дельта-роботы. Благодаря появлению дельта-роботов уни-

кальной конструкции с тремя поступательными и одной вращательной степенями свободы, производственный сектор получил первые скоростные системы с видеуправлением для сортировки легких продуктов, ускорил работу упаковочных линий и повысил их общую эффективность (рисунок 1) [1, с. 7].

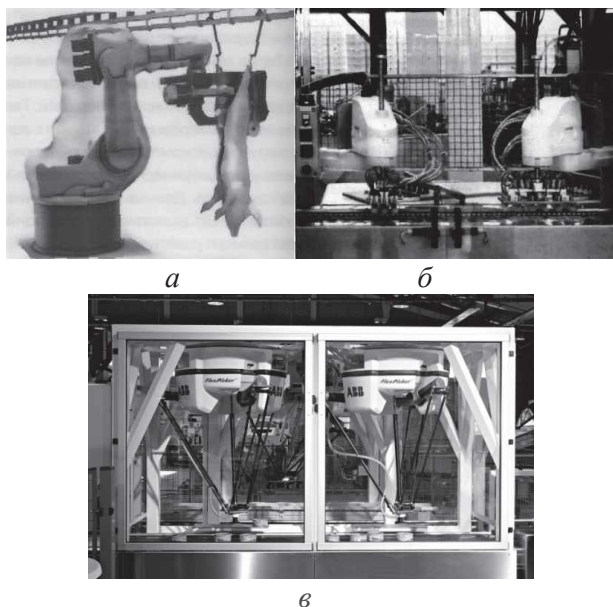


Рисунок 1 – Современные виды промышленных роботов:
а – шестиосевой робот для распиловки туш фирмы Kuka (Германия); *б* – scara-роботы для манипуляции кондитерскими изделиями фирмы MitsubishiElektric (Япония); *в* – дельта-роботы для упаковки пищевой продукции фирмы ABB (Швеция)

В таблице 1 представлены некоторые марки роботов для работы на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности и их спецификация [1, с. 8].

Таблица 1 – Робототехника для пищевой и перерабатывающей промышленности

Марка	Назначение	Изготовитель
KR 30 KR 60 KR 360 KR 180-2 PA Arctic	Для работы на мясоперерабатывающих предприятиях, для разделки туш Паллетоукладчик Паллетоукладчик для работы при низких температурах (до минус 30 °С)	Kuka (Германия)
KeMotion	В упаковочной индустрии для погрузочных работ и пакетирования	Keba (Австрия)
Scara LS-Roboter	Для работы в агрессивных средах	Epson (Германия)
TP 80	Для упаковочной индустрии. Сверх-быстрый, свыше 200 захватов в минуту	Stäubli (Швейцария)
IRB 260	Для упаковочной индустрии	ABB (Швеция)
M-710 iC	Для паллетирования	Fanuc (Япония)
RH-12SDH RH-20SDH	Для упаковочной индустрии, для точной и быстрой сортировки, укладки	MitsubishiElectric (Япония)
A 1800 A1600V	Для паллетирования, грузоподъемность 140 кг	Okura (Япония)
MR 10	Для упаковки мелкоштучных упаковок и ячеек с яйцами в коробки и ящики	Moba (Нидерланды); Motoman (США) —дочерняя компания компании Yaskawa (Япония)

На предприятии «AriaFoods AB» (Швеция) робот KR 360 паллетировует соки. Продукты поступают на транспортер прямо после розлива. Потом на специальной станции они объединяются в слой для погрузки на паллету, состоящий из 48 2-литровых или 80 1-литровых пакетов с соком. По штрихкоду проверяется содержимое и расположение каждого отдельного пакета. Робот забирает слой пакетов с соком с помощью зажимного захвата и опускает их на паллету. Затем тот же робот с помощью вакуума цепляет лоток из пенополистирола и укладывает его поверх слоя в качестве прослойки, а затем помещает весь слой с пенополистиролом на паллету. За неделю он может укомплектовать от 600 до 700 паллет. Раньше предприятию удавалось укомплектовать всего 50-100 паллет в неделю. Производительность увеличилась в 6–7 раз [1, с. 60].

Таким образом, промышленные роботы способны успешно заменить человека там, где требуется тяжелый физический труд, в

условиях с повышенной температурой и влажностью, вибрацией, шумом, загрязненным воздухом. Представляют собой высокоэффективное решение с санитарно-гигиенической точки зрения. Повышают эффективность энергопотребления, производительность и качество выпускаемой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Коноваленко Л. Ю.** Опыт использования роботов при переработке сельскохозяйственного сырья: науч. аналит. обзор. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 76 с.

2. Роботизация Adept и Omron в пищевой промышленности [Электронный ресурс]. URL: <http://pnevmosalon.ru/news/robotizaciya-adept-i-omron-v-pishhevoj-promyshlennosti/> (дата обращения: 09.09.2019).

3. **Шаффрат Т., Шальк Г.** Цифровизация в пищевой промышленности сегодня и в будущем // Мясные технологии. 2019. № 4. С. 13–15.

REFERENCES

1. **Konovalenko L. Yu.** Opyi tispolzovaniya robotov pri pererabotke selskohozyaystvennogo syirya: nauch. analit. obzor. M. : FGBNU «Rosinformagroteh», 2014. 76 p.

2. Robotizatsiya Adept i Omron v pischevoy promyishlennosti [Elektronnyy resurs]. URL: <http://pnevmosalon.ru/news/robotizaciya-adept-i-omron-v-pishhevoj-promyshlennosti/> (data obrascheniya: 09.09.2019).

3. **Shaffrat T., Shalk G.** Tsifrovizatsiya v pischevoy promyishlennosti segodnyai v buduschem // Myasnyietehnologii. 2019. № 4. pp. 13–15.

Коноваленко Людмила Юрьевна, старший научный сотрудник

Тел. 8-916-364-55-28

E-mail: lkon_73@mail.ru

Неменуцкая Людмила Алексеевна, старший научный сотрудник

Тел. 8-985-166-94-87

E-mail: nela-21@mail.ru

Щеголихина Татьяна Алексеевна, научный сотрудник

Тел. 8-903-787-19-00

E-mail: motya190@mail.ru

В. И. БАЕВ, доктор техн. наук, профессор

А. С. ФЕКЛИСТОВ, ассистент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», Российская Федерация, г. Волгоград

V. I. BAEV, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

A. S. FEKLISTOV, *Assistant*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Volgograd State Agrarian University", Russian Federation, Volgograd

К РАЗРАБОТКЕ ОПЕРАТИВНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

TO THE DEVELOPMENT OF AN OPERATIONAL METHOD OF CONTROL CONDITIONS OF WINTER WHEAT CROPS

Аннотация. Обоснована необходимость контроля состояния растений озимой пшеницы в осенне-зимне-весенний период. Показана линейность ВАХ в диапазоне напряжения: 0,5...5 В. Приведены зависимости электрического сопротивления растительной ткани озимой пшеницы от температуры при замораживании и оттаивании, что позволяет определить критерий оценки состояния растений.

Ключевые слова: морозостойкость, озимая пшеница, перезимовка, сопротивление растительной ткани, вольт-амперная характеристика растительной ткани.

Abstract. The necessity of monitoring the state of winter wheat plants in the autumn-winter-spring period is substantiated. It shows the linearity of the current-voltage characteristic of the voltage range: 0.5 ... 5 V. The dependences of the electrical resistance of winter wheat plant tissue temperature during freezing and thawing, which allows to determine the criterion of plant health evaluation.

Keywords: frost resistance, winter wheat, overwintering, resistance of plant tissue, volt-ampere characteristic of plant tissue.

В структуре посевов зерновых культур предпочтение отдается озимым видам зерновых культур, т. к. они имеют ряд преимуществ по сравнению с яровыми формами. При наличии осеннего периода развития, когда растения формируют надземную массу и корневую систему, они легче переносят весенние засухи. Наличие развитой вегетативной массы препятствуют интенсивному росту сорной растительности, что в свою очередь, снижает засоренность полей. Озимые зерновые культуры в процессе развития формируют большее количество продуктивных стеблей, что приводит к получению более высокой урожайности посевов.

Вместе с этим, сложные осенне-зимние условия – главный фактор снижения урожайности озимой пшеницы. Поврежденные растения замедляют свой рост, опаздывают с созреванием, из-за чего снижается стойкость против болезней и, как следствие, урожайность.

Знание состояния озимых посевов в течение зимовки для агрономов и хозяйственников крайне необходимо с целью подготовки и возможного последующего проведения весенних пересевов участков полей с погибшими растениями, поскольку для этого необходимо время на подготовку семенных и горюче-смазочных материалов.

Исходя из этого крайне важно в течении зимовки постоянно оперативно контролировать состояние растений озимых посевов. Для этого в настоящее время применяются следующие методы: монолитов, Юрьева, электролитов по методике С. М. Иванова и по методике ВИР, отращивания растений на воде, послесвечения, электрометрический метод Низенькова [4–6].

Большинство рассмотренных методов трудоемки и требуют много времени для выполнения. Для облегчения зимнего контроля, в работе рассматривается способ оперативного контроля состояния озимых культур посредством измерения электрического сопротивления ткани в процессе заморозки и оттаивания.

Для проведения опытов в лабораторных условиях был изготовлен блок управления морозильной камерой (Рисунок 1) с возможностью охлаждения по заданному графику (регулировкой температуры заморозки и скоростью охлаждения).



Рисунок 1 – Дисплей блока управления морозильной камерой

Измерения сопротивления ткани в процессе замораживания и оттаивания производились измерителем RLC «GW Instek LCR-821» [2, с. 167], а температура воздуха и почвы – цифровым датчиком DS1820.

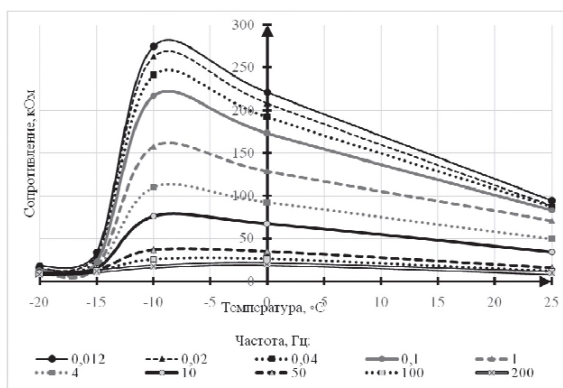


Рисунок 2 – Зависимость сопротивления растительной от температуры на различных частотах

И при замораживании, и при оттаивании измерялись сопротивления растительной ткани переменному синусоидальному току на разных частотах в диапазоне 0,012...200 кГц (Рисунок 2) [7, с. 377], но в процессе обработки результатов и возможных технических трудностей при создании в будущем портативного устройства для оперативного контроля состояния озимых, был принят диапазон частот 0,5...4 кГц.

На рисунке 2 приведены типичные зависимости сопротивления растительной ткани от температуры при замораживании и оттаивании, присущие живому и погибшему при замораживании растениям [3].

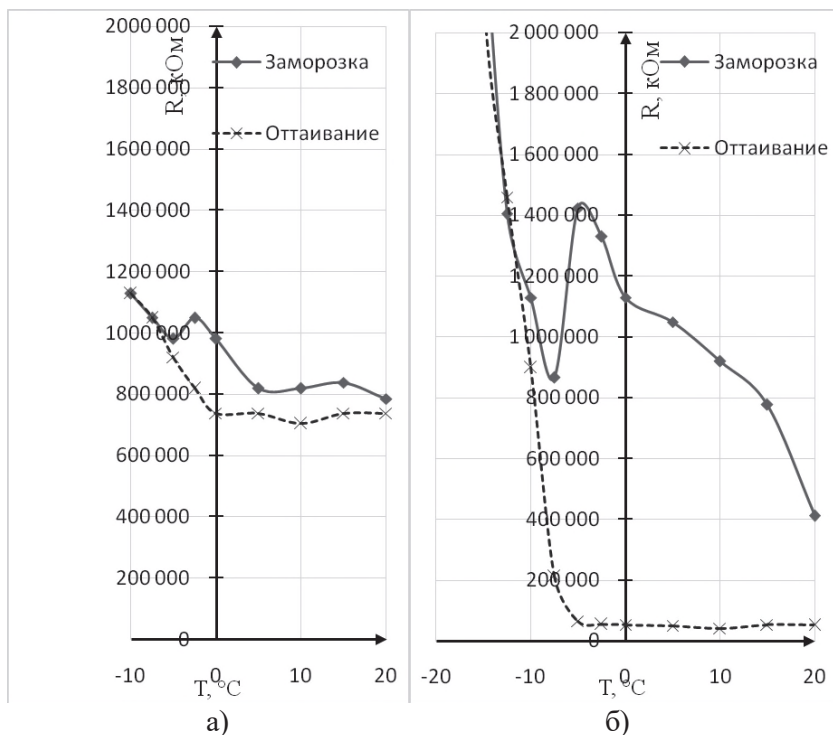


Рисунок 3 – Зависимость сопротивления растительной ткани от температуры при замораживании и оттаивании на частоте 1 кГц: а) до -10°C – растение осталось жизнеспособным; б) до -20°C – растение погибло

Считаем, что полученные нелинейности и следует использовать для поиска объективного способа оценки состояния растительной ткани озимых.

Параллельно с этим идет разработка аппаратной части устройства оперативного контроля состояния посевов озимых.

Изготовлен и испытан генератор сигналов переменного тока синусоидальной формы с возможностью регулирования частоты [1, с. 370], блок-схема измерительной установки с использованием генератора приведена ниже:



Рисунок 4 – Блок-схема измерительной установки
(МК – микроконтроллер, $R_{ш}$ – токовый шунт)

Измерение тока производилось косвенным методом, как падение напряжения на токовом шунте, которое усиливалось четырьмя каскадами операционных усилителей с регулируемым коэффициентом усиления 10...500. Усиленный сигнал измерялся с помощью цифрового осциллографа.

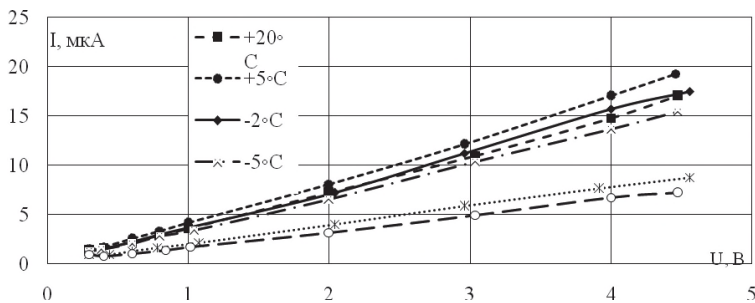


Рисунок 5 – Семейство ВАХ в процессе заморозки до -20°C

На рисунке 5 показаны снятые вольт-амперные характеристики растительной ткани пшеницы при разных температурах [1, с. 372]. Видно, что характеристики линейны на выбранном оптимальном напряжении питания (3В).

Таким образом, приведенный материал является основанием для продолжения работ по определению точного критерия гибели растения, а также для ведения разработки измерительной части портативного устройства для оперативного контроля состояния посевов озимой пшеницы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баев В. И., Петрухин В. А., Феклистов А. С. Вольтамперные характеристики растительной ткани озимой пшеницы при различных температурах // Развитие АПК на основе принципов рационального природопользования и применения конвергентных технологий / Материалы Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию образования Волгоградского государственного университета, 30 января – 01 февраля 2019 г. / ВолГАУ. Волгоград, 2019. Волгоград : ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2019. Т. 2. С. 370–374.

2. Баев В. И., Феклистов А. С. Изменение сопротивления ткани озимой пшеницы при оттаивании // Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования: материалы международной научно-практической конференции. Волгоград – 2017. С. 167–171.

3. Баев В. И., Феклистов А. С. Оценка состояния озимых в процессе перезимовки // Сельский механизатор. 2019. № 8.

4. Иванов С. М. О причинах морозоустойчивости растений. – Сов. субтропики. 1939. № 1. С. 435.

5. Оценка состояния посевов озимой пшеницы по фазам вегетации в условиях Центрального района Нечерноземной зоны (методика) / П. В. Дацюк, О. А. Антошина, В. И. Петракова, В. З. Веневцев. Рязань, Рязанский НИПТИ АПК, 2007. 38 с.

6. Пат. 69841 СССР, МПК А01Н 1/04. Способ определения морозоустойчивости, жаровыносливости и засухоустойчивости растений и их семян / Низеньков Н. П. (СССР); № 344167/1456 ; заявл. 29.03.46 ; опубл. 31.12.47, Бюл. 11. 2 с.

7. Феклистов А. С. Обоснование необходимости разработки оперативного метода контроля зимостойкости озимых культур // Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях: материалы международной научно-практической конференции: Т. 2. Волгоград. 2016. С. 377–382.

REFERENCES

1. Baev V. I., Petruhin V. A., Feklistov A. S. Vol't-ampernye

harakteristiki rastitel'noj tkani ozimoj pshenicy pri razlichnyh temperaturah // Razvitie APK na osnove princi-pov racional'nogo prirodopol'zovaniya i primeneniya konver-gentnyh tekhnologij / Materialy Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma, posvyashchennomu 75-letiyu obrazovaniya Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta, 30 yanvarya – 01 fevralya 2019 g. / VolGAU. Volgograd, 2019. Volgograd : FGBOU VO Volgogradskij GAU, 2019. T. 2. pp. 370–374.

2. **Baev V. I., Feklistov A. S.** Izmenenie soprotivleniya tkani ozimoj pshenicy pri ottaivanii // Ekologo-meliorativnye aspekty racional'nogo prirodopol'zovaniya: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Volgograd. 2017. pp. 167–171.

3. **Baev V. I., Feklistov A. S.** Ocenka sostoyaniya ozimyh v processe perezimovki // Sel'skij mekhanizator. 2019. № 8.

4. **Ivanov S. M.** O prichinah morozoustojchivosti rastenij. – Sov. subtropiki. 1939. № 1, p. 435.

5. Ocenka sostoyaniya posevov ozimoj pshenicy po fazam vegetacii v usloviyah Central'nogo rajona Nechernozemnoj zony (metodika) / P. V. Dacyuk, O. A. Antoshina, V. I. Petrakova, V. Z. Ve-nevcev. Ryazan', Ryazanskij NIPTI APK, 2007. 38 p.

6. Pat. 69841 SSSR, MPK A01N 1/04. Sposob opredeleniya morozoustojchivosti, zharovynoslivosti i zasuhoustojchivosti rastenij i ih semyan / Nizen'kov N. P. (SSSR); № 344167/1456 ; zayavl. 29.03.46 ; opubl. 31.12.47, Byul. 11. 2 p.

7. **Feklistov A. S.** Obosnovanie neobhodimosti razrabotki operativnogo metoda kontrolya zimostojkosti ozimyh kul'tur // Strategicheskoe razvitie APK i sel'skih territorij RF v sovremennyh mezhdunarodnyh usloviyah: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: T. 2. Volgograd. 2016. pp. 377–382.

Баев Виктор Иванович, доктор техн. наук, профессор

Тел. 8-917-337-21-50

E-mail: vibaew@mail.ru

Феклистов Андрей Сергеевич, ассистент

Тел. 8-927-532-72-02

E-mail: Feklistov_as@mail.ru

УДК621.385.6

А. А. ТИХОНОВ, канд. техн. наук, доцент

А. В. КАЗАКОВ, доктор биол. наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», Российская Федерация, г. Нижний Новгород

О. В. МИХАЙЛОВА, доктор техн. наук, доцент

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», Российская Федерация, г. Княгинино

A. A. TIKHONOV, *Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department*

A. V. KAZAKOV, *Advanced Doctor in of Biological Sciences*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Nizhny Novgorod State Agricultural Academy", Russian Federation, Nizhny Novgorod

O. V. MIKHAILOVA, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Associate Professor*

State educational institution of higher education "Nizhny Novgorod state University of engineering and Economics", Russian Federation, Knyaginino

РАЗРАБОТКА СВЧ-УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЖИРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ С УЧЕТОМ ЕГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

DEVELOPMENT OF MICROWAVE INSTALLATION FOR HEAT TREATMENT AND DISINFECTION OF FAT-CONTAINING RAW MATERIALS TAKING INTO ACCOUNT ITS DIELECTRIC PARAMETERS

Аннотация. На основе анализа диэлектрических параметров жиросодержащего сырья и существующих технических средств для его термообработки и обеззараживания разработана радио-

герметичная СВЧ-установка с коаксиально расположенными призматическими резонаторами и запердельными волноводами, обеспечивающими непрерывный режим и высокую напряженность электрического поля. Внутренний четырехугольный призматический резонатор без верхнего основания соосно установлен в наружную четырехугольную неферромагнитную призму. Нижние основания призм, выполненные из неферромагнитных решеток, вибрируются с помощью электровибратора. В конденсаторную часть направлены излучатели от основных магнетронов, расположенных на боковых гранях наружной призмы.

Ключевые слова: жиросодержащее сырье, коаксиально расположенные призматические резонаторы, диэлектрические параметры, запердельные волноводы.

Abstract. Based on the analysis of dielectric parameters of fat-containing raw material and available technical means for its heat treatment and disinfection developed radio veronica microwave unit with coaxially arranged prismatic resonators and waveguides prohibitive for continuous mode and high electric field strength. Inner quadrangular prismatic resonator with no upper base coaxially installed in the outer non-ferromagnetic quadrangular prism. The lower bases of the prisms, made of non-ferromagnetic gratings, vibrate with an electric vibrator. Emitters from the main magnetrons located on the lateral faces of the outer prism are directed to the condenser part.

Keywords: fat-containing raw material, a prismatic coaxial resonators, dielectric parameters, the beyond the waveguides.

Известно, что жиросодержащее мясное сырье лабильно ко многим внешним факторам: температуре среды, воздействию кислорода воздуха, а самое главное микробиальному загрязнению. С токи зрения поведения его в электромагнитном поле представляет собой гетерогенная смесь, содержащая воду. Диэлектрические свойства сырья характеризуются диэлектрической проницаемостью, тангенсом угла диэлектрических потерь, фактором потерь.

Разработка процессов и технических средств возможна лишь на базе исследований свойств сырья и их трансформации в процессе обработки, допустимых режимов энергетических воздействий (механических, тепловых, электрофизических и др.). При разработке

технологических процессов и создании установок с источниками электромагнитных излучений необходимо знать электрофизические характеристики сырья. Они на различных стадиях технологического процесса меняются сильно, так как оказывают влияние коагуляционно-денатурационные процессы, энергия связи влаги, частота ЭМП. Ниже проанализированы изменения диэлектрических характеристик жиросодержащего сырья в зависимости от частоты ЭМП и приведены эмпирические уравнения, описывающие зависимость диэлектрической проницаемости и глубины проникновения ЭМП в жировую ткань от частоты. В связи с тем, что эффект объемного нагрева сырья в ЭМП достигается благодаря проникновению волн в сырье на значительную глубину, проведен анализ глубины проникновения ЭМП в жировую ткань в диапазоне частот $0,2\text{--}10^4$ МГц по данным Рогова И. А. [5, с. 105–106]. При известной глубине проникновения можно рассчитать размеры обрабатываемого сырья в зависимости от требований технологического процесса и параметров ЭМП. При постоянной частоте ЭМП глубина его проникновения зависит от диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь. Анализируем глубину проникновения ЭМП в среду с низким содержанием воды (жировая ткань) [5, с. 105–106].

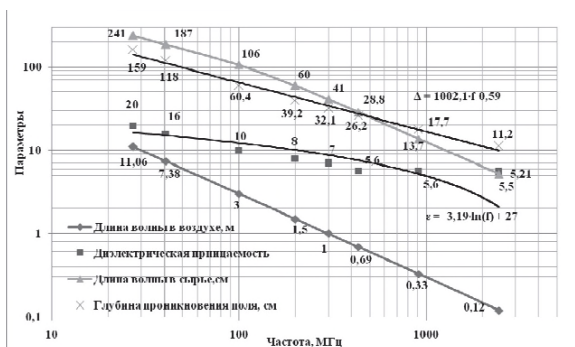


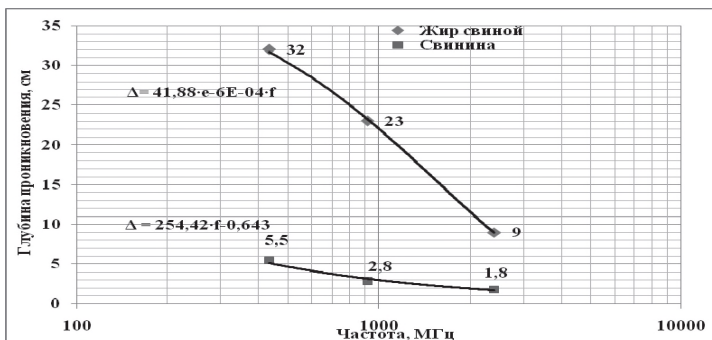
Рисунок 1 – Графики, описывающие зависимость диэлектрической проницаемости, глубины проникновения поля для жировых тканей от частоты

Графики, описывающие зависимость диэлектрической проницаемости, глубины проникновения поля для жировых тканей от частоты приведены на рис. 1. Эмпирические выражения, описывающие зависимости глубины проникновения волн (Δ) и диэлектриче-

ской проницаемости (ϵ) от частоты (f):

$$\Delta = 1002,1 \times f^{0,59}, \epsilon = -3,19 \times \ln(f) + 27. \quad (1)$$

Зависимости глубины проникновения ЭМП в жир свиной и в свинину от частоты приведены на рисунок 2. Эмпирические выражения, описывающие зависимости глубины проникновения волн в жир свиной $\Delta = 41,88 \times e^{-6E-04f}$, свинину $\Delta = 254,42 \cdot f^{0,643}$. (2)



На частоте 2450 МГц глубина проникновения в жир свиной составляет 9 см, а в свинину – 1,8 см.

Анализ современного оборудования для термообработки и обеззараживания жиросодержащего мясного сырья показывает, что для термообработки и обеззараживания жиросодержащего сырья на предприятиях мясной промышленности используют технологическое оборудование, обеспечивающее реализацию электрофизических, тепловых, микробных процессов, вызываемых бактериями, которые благоприятно развиваются на поверхности и внутри продуктов и приспособляются к неблагоприятной внешней среде [1, с. 322]. В основном это емкостные устройства, в которых создаются условия, необходимые для обеспечения технологического процесса, т.е. для поддержания температуры, давления и влажности, для перемещения сырья. Предусматривают две технологические линии переработки жиросодержащего мясного сырья: для качественного сырья и выбракованного для производства белкового корма животным. У них режимы тепловой обработки разные. Технология переработки жиросодержащего сырья включает сбор, мойку, измельчение, тепловую обработку (варка, стерилизация и вытопка), отделение

жидкой фазы от общей массы. Указанные процессы переработки такого сырья энергоемки, связаны с потреблением большого количества электроэнергии, пара и воды. Пищевое жировое сырье перерабатывают с целью вытопки жира при атмосферном давлении и температуре 90 °С, либо при повышенном давлении до 0,2 МПа при температуре 120–125 °С. При переработке непищевого жиросодержащего сырья проводят разварку и стерилизацию при температуре 125 °С в течение 1 ч. Качество готовой продукции (жира и шквары) зависит от максимальной температуры и продолжительности ее воздействия. Наименьшая продолжительность обработки определяется временем плавления жира и временем выдержки сырья для уничтожения патогенной микрофлоры при данной температуре процесса.

В котлах, шнековых, барабанных и роторных аппаратах сырье обрабатывают в больших объемах. Поэтому продолжительность процессов тепловой обработки достигает 4–4,5 часа, что ухудшает качество жира и кормовой продукции. Имеются волчки-варильники, предназначенные для измельчения жиросодержащего сырья и плавления его глухим или острым паром.

Высокая интенсивность теплообмена достигается путем совмещения процессов измельчения сырья в центробежном поле и нагрева острым паром в плавителе АВЖ и в щеточном измельчителе-плавителе фирмы «Альфа-Лаваль». [1, с. 338]. Тонкоизмельченное жиро-сырье за 3–5 с нагревается до 85–95 °С и плавится. Кратковременность обработки обеспечивает высокое качество жира.

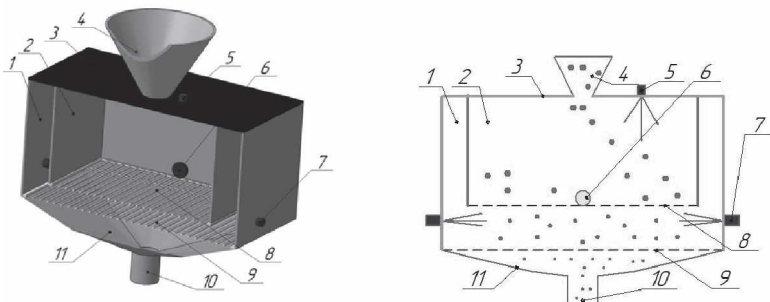
Известна СВЧ установка со стационарными сферическими резонаторами в кольцевом экранирующем корпусе прямоугольного сечения для вытопки жира из жиросодержащего сырья [3]. Известна установка с передвижными перфорированными сферическими резонаторами в кольцевом экранирующем корпусе прямоугольного сечения [4]. В обеих установках использован экранирующий корпус, что удорожает их.

Проектируемое нами оборудование будет обеспечивать интенсивность технологических процессов при экономической целесообразности с учетом обеспечения электромагнитной безопасности [2, с. 89–93].

Научной задачей является разработка СВЧ установки с резонаторами, обеспечивающими высокую напряженность электрического поля для термообработки и стерилизации измельченного мясного

сырья в непрерывном режиме с соблюдением электромагнитной безопасности без экранирующего корпуса.

Установка выполнена следующим образом (рисунок 3). Внутренний четырехугольный призматический резонатор 2 без верхнего основания установлен соосно в наружную четырехугольную неферромагнитную призму 1 так, что сверху обе призмы закрыты одним верхним основанием наружной призмы (неферромагнитной крышкой 3). Вместо нижних оснований призм 1 и 2 установлены соответствующие неферромагнитные решетки 9 и 8, вибрирующие с помощью электровибратора 6, установленного с тыльной стороны установки. Промежутки между боковыми сторонами призм и между решетками 8 и 9 равны кратной половине длины волны. Средний периметр промежутка между прямоугольными стенками четырехугольных призм также кратен половине длины волны. Расстояние между решетками можно ступенчато регулировать, переставляя решетку 9 в соответствующие пазы на боковых стенках наружной призмы. Параллельно расположенные решетки образует конденсаторную часть резонатора (наружной призмы). Причем верхняя неферромагнитная решетка 8 выполнена с крупными ячейками, а нижняя неферромагнитная решетка 9 – с мелкими ячейками. Магнетроны основные 7 расположены с боковой стороны наружного четырехугольного призматического резонатора на уровне конденсаторной части. При таком расположении магнетронов основная наружная призма выполняет функцию резонатора (наружный резонатор 1) по подобию квазистационарного тороидального резонатора. На неферромагнитной крышке 3 вертикально расположена емкость для приема сырья 4, и установлен магнетрон дополнительный 5, излучатель которого направлен внутрь четырехугольного призматического резонатора 2.



Емкость для приема сырья 4 имеет форму усеченного конуса и установлена на крышку 3 вертикально, малым основанием вниз, имеющим диаметр, равный четверти длины волны. Емкость для сбора продукта 11 с запердельным волноводом 10 прикреплена к нижнему основанию наружного резонатора 1 (наружной четырехугольной призмы 1). Чтобы в четырехугольном призматическом резонаторе 2 установилась стоячая волна (наблюдался резонанс) длина его прямоугольного основания, куда установлен дополнительный магнетрон 5, должна быть кратной половине длины волны. Размеры ячеек на решетках 7 и 8 согласованы с размерами частиц фарша, подвергаемого термообработке и стерилизации. Форма конструкционного исполнения резонатора определяет структуру возбуждаемых электромагнитных полей. При таком конструкционном исполнении наружного резонатора, полученного за счет соосно расположенных двух четырехугольных призм разного размера под общим верхним основанием, внутри электрическое поле, в основном, концентрируется между решетками 8 и 9. Одновременно работают два резонатора, внутренний четырехугольный призматический резонатор 2 и наружный резонатор нетрадиционной конфигурации, где в конденсаторной части можно обеспечить высокую напряженность электрического поля.

Технологический процесс происходит следующим образом. Включить электровибратор 6 для обеспечения вибрации решеток 8, 9. Непрерывно подавать измельченное мясное сырье в емкость для приема сырья 4, откуда сырье попадает в четырехугольный призматический резонатор 2, после чего можно включить магнетрон дополнительный 5. Происходит воздействие ЭМП СВЧ на измельченное мясное сырье в призматическом резонаторе 2. Излучение через малое основание приемной емкости (усеченного конуса 4) в окружающее пространство не происходит, так как диаметр основания меньше, чем четверть длины волны. Сырье в ЭМП СВЧ нагревается, размеры частиц фарша уменьшаются, и в процессе вибрации решеток частицы проходят решетку 8 с крупными ячейками, попадают в конденсаторную часть наружного резонатора 1 нетрадиционной конфигурации. Далее включить магнетроны основные 7, и в электрическом поле СВЧ сырье подвергается термообработке и обеззараживанию за счет высокой напряженности (1–4 кВ /см). Когда размеры вареных частиц становятся меньше, чем размеры ячеек ниж-

ней решетки 9, они за счет вибрации попадают в емкость для сбора продукта 11 и через запредельный волновод 10 выводятся за пределы СВЧ установки.

Выводы. Преимущества данного конструкционного исполнения рабочей камеры в том, что: без общего экранирующего корпуса электромагнитная безопасность сохраняется при непрерывном режиме работы; имеется возможность регулирования величины напряженности электрического поля в конденсаторной части нетрадиционного резонатора до достаточной для снижения бактериальной обсемененности продукта до допустимого значения; исключается взаимное нарушение работы магнетронов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ивашов В. И.** Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности М. : Колос, 2001. 552 с.

2. **Новикова Г. В., Жданкин Г. В., Михайлова О. В., Белов А. А.** Анализ разработанных сверхвысокочастотных установок для термообработки сырья // Вестник Казанского ГАУ. Казань : ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ». 2016. № 4 (42). С. 89–93.

3. Пат. 2600697 Российская Федерация, МПК С11В13/00. Сверхвысокочастотная установка для плавления жира / Селиванов И. М., Белова М. В., Белов А. А., Ершова И. Г., Новикова Г. В., Михайлова О. В.; заявитель и патентообладатель АНОВО «АТУ» № 2015117451 ; заявл. 28.04.2015, опубл. 03.10.2016. Бюл. № 30.

4. Пат. 2581224 Российской Федерации, МПК С11В1/12. Центробежная установка для термообработки жиросодержащего сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / Михайлова О. В., Белова М. В., Белов А. А., Новикова Г. В., Ершова И. Г.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)». № 2014150840/13 ; заявл. 17.12.2014; опубл. 20.04.2016. Бюл. № 11. 11 с.

5. **Рогов И. А.** Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов / под ред. И. А. Рогова. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. 288 с.

REFERENCES

1. **Ivashov V. I.** Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriya-tij myasnoj promyshlennosti M. : Kolos, 2001. 552 p.
2. **Novikova G. V., Zhdankin G. V., Mihajlova O. V., Belov A. A.** Analiz razrabotannyh sverhvysochastotnyh ustanovok dlya termoobrabotki syr'ya // Vestnik Kazanskogo GAU. Kazan' : FGBOU VO «Kazanskij GAU». 2016. № 4 (42). pp. 89–93.
3. Pat. 2600697 Rossijskaya Federaciya, MPK S11V13/00. Sverhvysochastotnaya ustanovka dlya plavleniya zhira / Selivanov I. M., Belova M. V., Belov A. A., Ershova I. G., Novikova G. V., Mihajlova O. V.; заявитель i patentobladatel' ANOVO «ATU» № 2015117451 ; заявл. 28.04.2015, opubl. 03.10.2016. Byul. № 30.
4. Pat. 2581224 Rossijskoj Federacii, MPK S11V1/12. Centrobezhnaya ustanovka dlya termoobrabotki zhirosoderzhashchego syr'ya v elektromagnitnom pole sverhvysokoj chastoty / Mihajlova O. V., Belova M. V., Belov A. A., Novikova G. V., Ershova I. G.; заявитель i patentobladatel' FGBOU VO «Moskovskij avtomobil'no-dorozhnyj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet (MADI)». № 2014150840/13 ; заявл. 17.12.2014; opubl. 20.04.2016. Byul. № 11. 11 p.
5. **Rogov I. A.** Elektrofizicheskie, opticheskie i akusticheskie karakteristiki pishchevyh produktov / pod red. I. A. Rogova. M. : Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1981. 288 p.

Тихонов Александр Анатольевич, канд. техн. наук,
доцент кафедры «Технология металлов и ремонт машин»
Тел. 8-910-122-84-36
E-mail: tichonov57@mail.ru

Казаков Александр Валентинович, доктор биол. наук, доцент
профессор кафедры «Технология металлов и ремонт машин»
Тел. 8-905-012-72-91
E-mail: tmpk.kafedra@yandex.ru

Михайлова Ольга Валентиновна, доктор техн. наук, доцент,
профессор кафедры «Инфокоммуникационные технологии
и системы связи»
Тел. 8-919-672-53-70
E-mail: ds17823@yandex.ru

С. И. БОГДАНОВ, канд. техн. наук, доцент

Н. С. ЖИЛЬЦОВА, аспирант

В. Г. РЯБЦЕВ, доктор техн. наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», Российская Федерация, г. Волгоград

S. I. BOGDANOV, Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor

N. S. ZHILTSOVA, Postgraduate

V. G. RYABTSEV, Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Volgograd State Agrarian University", Russian Federation, Volgograd

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМ ВЕНТИЛИРОВАНИЕМ ЗЕРНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF ACTIVE GRAIN VENTILATION USING PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

***Аннотация.** Для хранения зерна в зернохранилищах предлагается применять автоматизированные системы управления активным вентилированием зерна с использованием программируемых логических контроллеров, датчиков температуры и влажности, что обеспечивает предотвращение негативных изменений свойств зерна и сохранение его качества. Система управления процессом активного вентилирования зерна построена на основе ПЛК100 «ОВЕН». Система управления обеспечивает контроль и поддержание нормированных параметров технологического процесса вентилирования зерна. Система автоматизации позволит сохранить не только массу, но и качество зерна, а также избежать больших затрат энергии на хранение. Программа управления процессом активного вентилирования зерна разработана в среде CoDeSys.*

***Ключевые слова:** вентилирование зерна, теплый агент, технологический процесс.*

Abstract. *To store grain in granaries, it is proposed to use automatic control systems for active grain ventilation using programmable logic controllers, temperature and humidity sensors, which ensures the prevention of negative changes in grain properties and the preservation of its quality. The control system for the process of active ventilation of grain is based on the PLC100 "Aries". The control system provides control and maintenance of normalized parameters of the grain ventilation process. The automation system will save not only the mass, but also the quality of the grain, as well as avoid the high energy costs of storage. The program for controlling the process of active grain ventilation was developed in the CoDeSys environment.*

Keywords: *grain ventilation, warm agent, technological process.*

Введение. Сохранение запасов продуктов с минимальными потерями и затратами энергии – важная задача, так как при хранении некоторых продуктов издержки часто превышают себестоимость их производства. Уменьшение этих затрат значительно снижает себестоимость семян, кормов и других продуктов, дает возможность получать большую прибыль при их реализации. Рациональное хранение продуктов возможно только при наличии и правильной эксплуатации технической базы: хранилищ, машин и оборудования, используемых для послеуборочной обработки зерна [1–3].

В России хлебоприемные предприятия, элеваторы, находятся в собственности акционерных обществ или частных владельцев. По этой причине и по многим другим обстоятельствам в России только 10...20 % зерна обрабатывается и хранится на элеваторах. Следовательно, 80...90 % зерна хранится у производителей, где нет никаких условий для его сушки. Поэтому хозяйства и государство теряют до 30 % выращенного урожая.

Сегодня в нашей стране сформирована отдельная отрасль сельскохозяйственной науки, занимающаяся вопросами хранения зерна, в основу которой вошли труды А. Н. Баха, И. И. Опарина, В. Л. Кретовича, Л. А. Трисвятского и многих других ученых. Большая роль в разработке научных основ хранения зерна принадлежит коллективам Всесоюзного научно-исследовательского института зерна в Москве, сельскохозяйственной Академии имени Тимирязева, Московского технологического института пищевой промышленности, Одесского института инженеров мукомольной про-

мышленности и элеваторного хозяйства и, кроме того, научно-исследовательским и производственным лабораториям многих организаций.

Для решения проблемы послеуборочной обработки зерна необходимо создать материально-техническую базу у частного производителя.

Цель исследования. Разработка ресурсосберегающей технологии хранения зерна с использованием с автоматизированной системы управления технологическим процессом активного вентилирования на основе ПЛК «ОВЕН».

Объекты, условия и методы. Техническим базисом для повышения эффективности хранения и переработки зерна является автоматизированная система управления технологическими процессами хранения, которая отслеживает соответствие работы предприятия технологическому регламенту, контролирует действия обслуживающего персонала, повышает его персональную ответственность за решения, которые повлекут убытки.

В мировой практике используют следующие режимы хранения зерна:

- 1) хранения зерна в сухом состоянии (частичное обезвоживание);
- 2) хранение влажного зерна в охлажденном состоянии;
- 3) хранения зерна без доступа воздуха, т. е. в герметичных условиях.

Режим хранения зерновых масс в сухом состоянии, основанный на пониженной физиологической активности многих компонентов зерновой массы при недостатке в них влаги, можно обосновать нехваткой свободной влаги в зерне, которая могла бы принимать непосредственное участие в процессах обмена веществ. Нехватка свободной влаги в зерне не способствует развитию микрофлоры. В зерновой массе из-за недостатка влаги прекращается развитие клещей и в определенной степени снижается жизнедеятельность некоторых насекомых.

Простым и дешевым способом поддержания оптимальных условий хранения зерна является активное вентилирование, которое является наиболее эффективным и доступным средством удаления из зерновой массы образующегося тепла, предотвращения самосогревания, а также консервации зерна путем охлаждения и подсушивания.

Активное вентилирование исключает травмирование зерна, что всегда в той или иной степени происходит во время пропуска зерновых масс через зерносушилки, зерноочистительные машины и при перемещении транспортными механизмами. Это особенно важно для семенного материала.

Наряду со значительной технологической эффективностью активное вентилирование выгодно и в экономическом отношении. Оно исключает затраты на перемещение зерновой массы и значительно сокращает потребность в рабочей силе. Вентилирование зерна получило широкое распространение как технологический процесс, обеспечивающий более устойчивое хранение зерна.

Расширенное толкование понятия вентилирование зерна не ограничивается рамками только традиционных приемов обработки зерна в насыпи в складах, на площадках и в силосах элеваторов. В последние годы широкое применение нашли также вентилируемые бункера и камерные сушилки, отличающиеся высокой степенью механизации погрузочно-разгрузочных работ. Эти устройства используются для сушки зерна, охлаждения его атмосферным или искусственно охлажденным воздухом и для других целей. Установки для вентилирования зерна в складах нередко применяются для проведения газации и дегазации зерна и так далее.

Таким образом, назначение вентилирования зерна может быть самым разнообразным: профилактическое вентилирование; охлаждение зерна; подмораживание; ликвидация самосогревания; охлаждение зерна после зерносушилок; сушка зерна; прогрев зерна перед посевом; газация и дегазация зерна и так далее [4].

Результаты и обсуждение. График зависимости температуры теплового агента от температуры наружного воздуха показан на рисунке 1.

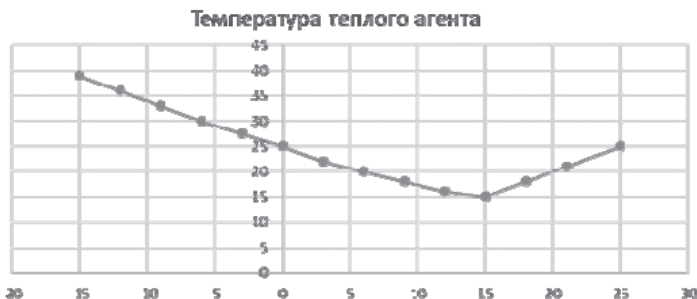


Рисунок 1 – График зависимости температуры теплового агента от температуры наружного воздуха

Данный график можно представить в виде тренда, отображающего зависимость температуры теплового агента от температуры наружного воздуха:

$$y = -0,8197x + 25,591.$$

С учетом допустимого отклонения от значений тренда температуры теплового агента $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ область допустимых его значений приведена на рисунке 2. Выбор заданной области регулирования температуры теплового агента обеспечит устойчивость системы управления.

Для поддержания оптимальных условий хранения зерновых культур на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) разработана структура автоматизированной системы управления вентилированием зерна, которая позволит сохранить полезный вес и высокое качество продукции при длительном хранении.

С помощью автоматизированной системы реализован простейший технологический процесс, который включает:

- измерение температуры наружного воздуха;
- измерение влажности зерна;
- измерение температуры теплового агента.

Датчики измеряют указанные параметры, значения которых поступают в ПЛК.

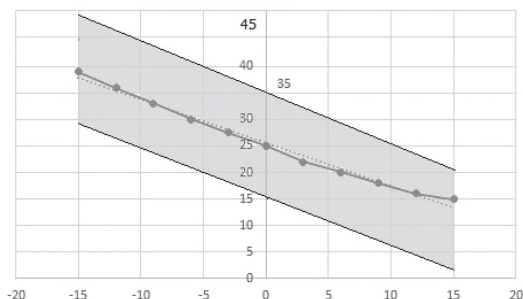


Рисунок 2 – Область допустимых значений температуры теплового агента

В свою очередь микроконтроллер формирует сигналы, которые регулируют работу генератора теплового агента, предназначенного для обеспечения оптимальных параметров хранения зерна.

Система автоматизации состоит из следующих компонентов:

- блока питания 24 В;
- аналогово-цифрового преобразователя (АЦП);
- ПЛК100 «ОВЕН»;
- модема для передачи данных;
- датчиков температуры;
- датчика влажности зерна.

Аппаратные средства АСУ ТП для активного вентилирования зерна вентилирования зерна приведены на рисунке 3.

Исполнительные органы, датчики и сигнализация подключены к модулям ввода/вывода, которые собирают с них информацию, преобразуют ее, формируют сигналы и посылают на контроллер. ПЛК обрабатывает полученные данные, выводит их на панель оператора и по заданной программе формирует команды для корректировки технологического процесса и выдает оператору рекомендации по управлению параметрами. Таким образом, осуществляется контроль и поддержание нормированных параметров технологического процесса вентилирования зерна.

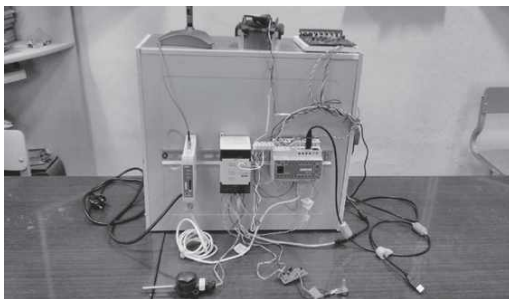


Рисунок 3 – Аппаратные средства АСУ ТП вентилирования зерна

В среде CoDeSys разработана программа управления процессом активного вентилирования зерна на основе ПЛК100 «ОВЕН», которая обеспечивает контроль температуры теплового агента и выдает указания оператору о том, какие действия он должен совершить для поддержания нормированных параметров. Пример визуализации работы программы представлен на рисунке 4.

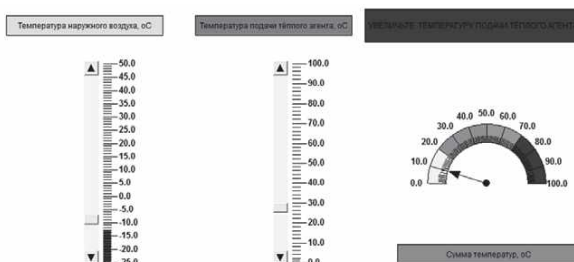


Рисунок 4 – Визуализация программы в режиме увеличения температуры теплового агента

Выводы. Автоматизированная система предназначена для управления вентилированием зерновых культур в небольших фермерских хозяйствах. Для ее внедрения требуется наличие зернохранилища, оборудованного средствами вентилирования зерна. Система автоматизации технологического процесса вентилирования зерна позволит не только сохранить массу, но и качество зерна, избежать больших затрат энергии на хранение, а также исключаются затраты на перемещение зерновой массы и значительно сокращается потребность в рабочей силе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Активное вентилирование зерна [Электронный ресурс]. – URL: <http://hitagro.ru/aktivnoe-ventilirovanie-zerna/>.

2. **Вобликов Е. М., Буханцов, В. А., Маратов Б. К., Прокопец А. С.** Технология хранения зерна. М. : Издательство «Лань», 2003. 448 с.

3. **Горюшинский И. В., Мазько Н. Н.** Повышение эффективности процесса хранения зерновой продукции в бункерах // Хранение и переработка сельхозсырья. 2009. № 3. С. 14–16.

4. **Курдюмов В. И., Павлушкин А. А., Карпенко Г. В., Сутягин С. А.** Тепловая обработка зерна в установках контактного типа: монография Ульяновск : УГСХА имени П. А. Столыпина, 2013. 290 с.

REFERENCES

1. Aktivnoe ventilirovanie zerna [Elektronnyj resurs]. URL: <http://hitagro.ru/aktivnoe-ventilirovanie-zerna/>.

2. **Voblikov E. M., Buhancov V. A., Maratov B. K., Prokopec A. S.** Tekhnologiya hraneniya zerna. M.: Izdatel'stvo «Lan'», 2003. 448 p.

3. **Goryushinskij I. V., Maz'ko N. N.** Povyshenie effektivnosti processa hraneniya zernovoj produkcii v bunkerah // Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya. 2009. № 3. pp. 14–16.

4. **Kurdyumov V. I., Pavlushkin A. A., Karpenko G. V., Sutyagin S. A.** Teplovaya obrabotka zerna v ustanovkah kontaktnogo tipa: monografiya Ul'yanovsk : UGSKHA imeni P. A. Stolypina, 2013. 290 p.

Богданов Сергей Иванович, канд. техн. наук, доцент

Тел. 8-905-433-59-15

E-mail: bsi@mail.ru

Жильцова Наталья Сергеевна, аспирант

Тел. 8-960-877-00-74

E-mail: margo.zhilcova@mail.ru

Рябцев Владимир Григорьевич, доктор техн. наук, профессор

Тел. 8-937-734-53-77

E-mail: akim.onoke@mail.ru

Л. А. НЕМЕНУЩАЯ, *старший научный сотрудник*
Л. Ю. КОНОВАЛЕНКО, *старший научный сотрудник*
Т. А. ЩЕГОЛИХИНА, *научный сотрудник*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГБНУ «Росинформагротех»), Российская Федерация, Московская область, р. п. Правдинский

L. A. NEMENUSHCHAYA, *Senior Research Officer*
L. Yu. KONOVALENKO, *Senior Research Officer*
T. A. SCHEGOLIKHINA, *Research Officer*

Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex» (FGBNU «Rosinformagrotech»), Russian Federation, Moscow region, Pravdinsky v.

РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В АПК

RADIATION TECHNOLOGIES FOR RESOURCE SAVING IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

***Аннотация.** Рассмотрены современное состояние рынка по облучению агропромышленной продукции в мире. Показаны основные направления использования радиационных технологий в переработке сельскохозяйственных культур. Приведена характеристика научных разработок в сфере переработки зерна и продукции из него с помощью радиационных методов. Обозначен ресурсосберегающий эффект от их использования. Отмечена возможность улучшения качества муки и хлеба воздействием ионизирующего излучения.*

***Ключевые слова:** ресурсосбережение, зерно, мука, хлеб, радиационные технологии.*

Abstract. *The current state of the market for the irradiation of agricultural products in the world is considered. The main directions of the use of radiation technologies in the processing of crops are shown. The characteristic of scientific developments in the field of processing of grain and products from it using radiation methods is given. Resource-saving effect from their use is indicated. The possibility of improving the quality of flour and bread by exposure to ionizing radiation is noted.*

Keywords: *resource saving, grain, flour, bread, radiation technology.*

По данным экспертов мировой рынок по облучению в пищевой промышленности и сельском хозяйстве составляет более 2 млрд долл. США, по прогнозам к 2020 году он достигнет 4,8 млрд, а к 2030 году – 10,9 млрд долл. США [2, с. 211–212; 4, с. 673–679; 5]. Российская Федерация находится на начальном этапе формирования рынка.

К основным сферам применения радиационных технологий в переработке сельскохозяйственных культур относятся: дезинфекция (специй, сушеных, свежих, замороженных овощей и фруктов, кормов для животных, растительного сырья и консервов из него, очистных стоков); облучение корнеплодов для задержки прорастания и борьбы с болезнями; интенсификация сокоотделения и экстракции компонентов из растительного сырья [6, с. 553–556; 9, с. 30–34].

В настоящее время актуальной является проблема борьбы с вредителями и возбудителями болезней зернового сырья и продукции из него, повышение их качественных характеристик. В таблице 1 приведены возможные направления ресурсосберегающего использования радиационного воздействия на зерновые сырье и продукцию [1, с. 54–58; 3, с. 69–72; 7, с. 189–191; 8, с. 110; 10, с. 199–202; 12, с. 30–35; 13, с. 98–100; 14, с. 194–196; 15, с. 123–125; 16, с. 32–36; 17, с. 234–237].

Кроме разработок, представленных в таблице 1, анализ научных исследований показал, что воздействием ионизирующего излучения можно существенно улучшать технологические свойства низкосортной муки. Облучение такой муки дозами 10–20 кГр приводит к «сшиванию» белковых молекул, что придает ей свойства муки из сильной пшеницы. С их помощью увеличена продолжительность хранения хлебобулочных изделий в упаковке до 1 месяца, что не удастся добиться никакими иными способами, даже при использовании химических консервантов [11, с. 46–49].

Таблица 1 – Примеры возможного использования радиационных технологий для обработки зерна, муки и хлеба

Направление исследований	Характеристика	Положительный эффект
	Разработки ФГБНУ ВНИИРАЭ	
Уничтожение продуцентов микотоксинов и разрушение токсичных метаболитов в различных видах продукции	Разработана специальная камера с 2-мя источниками электронного излучения, которая при облучении не затрагивает внутреннюю структуру эндосперма, разработаны оптимальные режимы обработки	Позволяет получать «чистый» от микробиологического загрязнения посевной материал с наименьшими затратами. Облучение образцов кукурузы в дозах 5 и 10 кГр снижает концентрации продуцентов микотоксинов на 21 % и 62,5 % соответственно, даже при высокой влажности зерна. Облучение дозой 10 кГр обеспечивает снижение концентрации элимоклавина на 69 %.
Уничтожение продуцентов микотоксинов и разрушение токсичных метаболитов в кукурузе, пшенице, ячмене	При облучении зерна дозой 20-25 кГр с влажностью 20...26 %.	Полное разложение микотоксинов. Снижает концентрацию микотоксинов только на 65...75 %
Дезинфекция и задержка прорастания зерна	Облучение дозой 10 кГр	Ингибирование прорастания зерна и микроорганизмов, вызывающих плесень зерна и хлебных продуктов, ресурсосберегающий эффект
Улучшение качества хлеба и хлебных изделий	Облучение дозой 10 кГр	Предотвращение картофельной болезни хлеба и снижение потерь продукции
	Разработка института радиационных проблем НАН Азербайджана	
Уничтожение микотоксинов в ячмене, пшенице	Гамма-облучение зерен ячменя и пшеницы	Существенное снижение концентрации микотоксинов и повышение объемов качественного зернового сырья

Продолжение таблицы 1

Разработка Санкт-Петербургского ГУ низкотемпературных и пищевых технологий		
Технология консервирования хлеба с использованием ионизирующего излучения	Облучение в дозах от 3 до 6 кГр. Облучения в дозе 10 кГр. Доза облучения 3-6-10 кГр	Не дает эффекта полной стерилизации хлеба, позволяет увеличить сроки хранения до 3-5 месяцев. Получение хлеба с удлинненным сроком годности (до 6-ти месяцев) Позволяет увеличить срок годности на 3-5-8 месяцев хлеба дарнишского
Разработка института ядерной физики СО РАН		
Технологии противотоксинной обработки муки и зерна	Мука пшеничная хлебопекарная 2 сорта «Алейка» и зерно, обработки от 0,27-10 к Гр ускоритель ИЛУ-10 с энергией электронов 5 МэВ; максимальная мощность пучка 50 кВт	Содержание токсичных элементов в обработанных пробах не увеличилось и не превышает предельно допустимые концентрации в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011. Доза облучения 0,81 кГр позволяет получить изделия с хорошими органолептическими и физико-химическими показателями качества и с повышенной устойчивостью к поражению «картофельной» болезнью в процессе хранения, обеспечивает сохранение объемов качественного зерна

Приведенные примеры и характеристики разработанных радиационных технологий для переработки сельскохозяйственных культур свидетельствуют о перспективности их применения в АПК. Ионизирующее облучение в рекомендуемых дозах безопасно и не меняет биохимического состава сельскохозяйственной и пищевой продукции, не приводит к разрушению тканей, менее энергозатратно по сравнению с методами тепловой стерилизации, сушки, консервирования, значительно продлевает сроки хранения сырья и готовой продукции без использования химических консервантов, может использоваться при обработке продукции в упаковке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бондаренко В. С., Татарова М. Ю.** Полиморфизм IRAP-маркеров в зародышах семян ячменя при радиационном воздействии // Международная научно-практическая конференция Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Обнинск : ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 54–58.

2. **Быстров П. А., Гордеев А. В., Колоколова А. Ю., Завьялов М. А., Илюхина Н. В., Молин А. А., Павлов Ю. С., Полякова С. П., Прокопенко А. В., Филиппович В. П.** Перспективы применения облучения электронным пучком для обеспечения микробиологической безопасности пищевой продукции // Ядерная физика и инжиниринг. 2018. т. 9. № 2. С. 211-216.

3. **Гераськин С. А., Волкова П. Ю., Чурюкин Р. С., Битаршвили С. В., Бондаренко В. С., Казакова Е. А.** Механизмы формирования адаптивных реакций при облучении семян сельскохозяйственных культур низкими дозами ионизирующего излучения // Международная научно-практическая конференция Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Обнинск : ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 69–72.

4. **Грачева А. Ю., Завьялова М. А., Илюхина Н. В., Кухто В. А., Тарасюк В. Т., Филиппович В. П., Егоркин А. В., Часовских А. В., Павлов Ю. С., Прокопенко А. В., Строкова Н. Е., Артемьев С. А., Полякова С. П.** Повышение эффективности хранения и переработки продовольственного сырья с использованием радиа-

ционных технологий // Ядерная физика и инжиниринг. 2015. Т. 6. № 11–12. С. 673–679.

5. **Емельяненко А.** Пять дорог – и все из «Сколково» // Российская газета: сайт. [Электронный ресурс]. URL: http://s%3A%2F%2Frg.ru%2F2012%2F03%2F12%2Fenergetika.html&c_key= (дата обращения: 18.04.2017).

6. **Иванова Д. М., Кондакова Е. И., Ультан С. И.** Форсайт мирового рынка радиационных технологий // Молодежь третьего тысячелетия. Сборник научных статей. 2017. С. 553–558.

7. **Кобялко В. О., Саруханов В. Я., Полякова И. В.** Перспективы использования радиационной обработки для решения проблемы микотоксинов в сельскохозяйственном сырье и пищевой продукции // Международная научно-практическая конференция Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Обнинск : ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 187–191.

8. **Кобялко В. О., Полякова И. В., Саруханов В. Я., Фролова Н. А., Дыдыкин А. С., Лауринавичюс К. С., Дороничев Ф. В.** Радиационная обработка пищевых продуктов животного происхождения в целях обеспечения продовольственной безопасности военнослужащих // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. 2018. № 1. С. 106–110.

9. **Козьмин Г. В., Санжарова Н. И., Кибина И. И., Павлов А. Н.** Перспективы развития рынка радиационных технологий в сельском хозяйстве перерабатывающей промышленности // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2015. № 8. С. 30–34.

10. **Конюхов Г. В., Низамов Р. Н., Тарасова Н. Б., Вагин К. Н., Шашкаров В. П.** Биологическая полноценность и безвредность зерна, полученного с использованием радиационных технологий // Международная научно-практическая конференция Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Обнинск : ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 199–202.

11. **Мусина О. Н., Коновалов К. Л.** Радиационная обработка ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов // Пищевая промышленность. 2016. № 8. С. 46–49.

12. **Неменущая Л. А.** Методы лазерной, радиационной и других видов обработки сельскохозяйственного сырья и готовой продукции // Научный аналитический обзор. ФГБНУ «Росинформагротех» 2015. 56 с.

13. **Перькова А. В., Волкова П. Ю.** Анализ изменений пролиферативной активности клеток корневой меристемы проростков ячменя, выросших из гамма-облученных семян // Международная научно-практическая конференция Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Обнинск : ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 98–100.

14. **Петров А. Н., Гельфанд С. Ю., Завьялов М. А., Филиппович В. П., Прокопенко А. В.** Перспективы радиационной обработки сельскохозяйственной и пищевой продукции // Научно-инновационные аспекты при создании продуктов здорового питания. Перспективы радиационной обработки сельскохозяйственной и пищевой продукции. РАСХН, 2012. С. 194–196.

15. **Санжарова Н. И., Гераськин С. А., Исамов Н. Н., Козьмин Г. В., Лой Н. Н., Павлов А. Н., Пименов Е. П., Цыгвинцев П. Н.** Научные основы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве // Обнинск : ВНИИСХРАЭ, 2013. 133 с.

16. **Санжарова Н. И.** Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: история, современное состояние и перспективы. // Международная научно-практическая конференция Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Обнинск : ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 32–36.

17. **Усенко Н. И., Отмахова Ю. С., Брызгин А. А.** Возможности и условия применения технологии ионизирующего облучения зерна пшеницы и муки // Международная научно-практическая конференция Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 234–237.

REFERENCES

1. **Bondarenko V. S., Tatarova M. Yu.** Polimorfizm IRAP-markerov v zarodyshah semyan yachmenya pri radiacionnom vozdejstvii // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya Radiacionnye

tehnologii v sel'skom hozyajstve i pishchevoj promyshlennosti: sostoyanie i perspektivy. Obninsk : FGBNU VNIIRAE, 2018. pp. 54–58.

2. **Bystrov P. A., Gordeev A. V., Kolokolova A. Yu., Zav'yalov M. A., Ilyuhina N. V., Molin A. A., Pavlov Yu. S., Polyakova S. P., Prokopenko A. V., Filippovich V. P.** Perspektivy primeneniya oblucheniya elektronnyim puchkom dlya obespecheniya mikrobiologicheskoy bezopasnosti pishchevoj produkcii // YAdernaya fizika i inzhiniring. 2018. t. 9. № 2. pp. 211–216.

3. **Geras'kin S. A., Volkova P. Yu., Churyukin R. S., Bitarishvili S. V., Bondarenko V. S., Kazakova E. A.** Mekhanizmy formirovaniya adaptivnykh reakcij pri obluchenii semyan sel'skohozyajstvennykh kul'tur nizkimi dozami ioniziruyushchego izlucheniya // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya Radiacionnye tekhnologii v sel'skom hozyajstve i pishchevoj promyshlennosti: sostoyanie i perspektivy. Obninsk : FGBNU VNIIRAE, 2018. C. 69–72.

4. **Gracheva A. Yu., Zav'yalova M. A., Ilyuhina N. V., Kuhto V. A., Tarasyuk V. T., Filippovich V. P., Egorkin A. V., CHasovskih A. V., Pavlov YU. S., Prokopenko A. V., Strokovaya N. E., Artem'ev S. A., Polyakova S. P.** Povyshenie effektivnosti hraneniya i pererabotki prodovol'stvennogo syr'ya s ispol'zovaniem radiacionnykh tekhnologij // YAdernaya fizika i inzhiniring. 2015. t. 6. № 11–12. pp. 673–679.

5. **Emel'yanenkov A.** Pyat' dorog – ivseiz «Skolkovo» // Ros-sijskayagazeta: sajt. [Elektronnyj resurs]. URL: [http://s%3A%2F%2Frg.ru%2F2012%2F03%2F12%2Fenergetika.html&c_key=\(data obrashcheniya: 18.04.2017\)](http://s%3A%2F%2Frg.ru%2F2012%2F03%2F12%2Fenergetika.html&c_key=(data+obrashcheniya:18.04.2017)).

6. **Ivanova D. M., Kondakova E. I., Ul'tan S. I.** Forsajt mirovogo rynka radiacionnykh tekhnologij // Molodyozh' tret'ego tysyacheletiya. Sborniknauchnyhstatej. 2017. pp. 553–558.

7. **Kobyalko V. O., Saruhanov V. YA., Polyakova I. V.** Perspektivy ispol'zovaniya radiacionnoj obrabotki dlya resheniya problemy mikotoksinov v sel'skohozyajstvennom syr'e i pishchevoj produkcii // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya Radiacionnye tekhnologii v sel'skom hozyajstve i pishchevoj promyshlennosti: sostoyanie i perspektivy. Obninsk : FGBNU VNIIRAE, 2018. pp. 187–191.

8. **Kobyalko V. O., Polyakova I. V., Saruhanov V. YA., Frolova N. A., Dydykin A. S., Laurinavichyus K. S., Doronichev F. V.** Radiacionnaya obrabotka pishchevykh produktov zhivotnogo proiskhozhdeniya v celyah obespecheniya prodovol'stvennoj bezopasnosti voennosluzhash-

chih // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya pamyati Vasiliya Matveevicha Gorbatoва. 2018. № 1. pp. 106–110.

9. **Koz'min G. V., Sanzharova N. I., Kibina I. I., Pavlov A. N.** Perspektivy razvitiya rynka radiacionnyh tekhnologij v sel'skom hozyajstve pererabatyvayushchej promyshlennosti // *Ekonomika sel'skohozyajstvennyh i pererabatyvayushchih predpriyatij*. 2015. № 8. pp. 30–34.

10. **Konyuhov G. V., Nizamov R. N., Tarasova N. B., Vagin K. N., SHashkarov V. P.** Biologicheskaya polnocennost' i bezvrednost' zerna, poluchennogo s ispol'zovaniem radiacionnyh tekhnologij // *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya Radiacionnye tekhnologii v sel'skom hozyajstve i pishchevoj promyshlennosti: sostoyanie i perspektivy*. Obninsk: FGBNU VNIIRAE, 2018. pp. 199–202.

11. **Musina O. N., Konovalov K. L.** Radiacionnaya obrabotka ioniziruyushchim izlucheniem prodovol'stvennogo syr'ya i pishchevyh produktov // *Pishchevaya promyshlennost'*. 2016. №8. pp. 46–49.

12. Nemenushchaya L.A. Metody lazernoj, radiacionnoj i drugih vidov obrabotki sel'skohozyajstvennogo syr'ya i gotovoj produkcii // *Nauchnyj analiticheskij obzor*. FGBNU «Rosinformagrotekh» 2015. 56 s.

13. **Per'kova A. V., Volkova P. YU.** Analiz izmenenij proliferativnoj aktivnosti kletok kornevoj meristemy prorostkov yachmenya, vyrosshih iz gamma-obluchennyh semyan // *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya Radiacionnye tekhnologii v sel'skom hozyajstve i pishchevoj promyshlennosti: sostoyanie i perspektivy*. Obninsk : FGBNU VNIIRAE, 2018. C. 98–100.

14. **Petrov A. N., Gel'fand S. Yu., Zav'yalov M. A., Filippovich V. P., Prokopenko A. V.** Perspektivy radiacionnoj obrabotki sel'skohozyajstvennoj i pishchevoj produkcii // *Nauchno-innovacionnye aspekty pri sozdanii produktov zdorovogo pitaniya. Perspektivy radiacionnoj obrabotki sel'skohozyajstvennoj i pishchevoj produkcii*. RASKHN, 2012. pp. 194–196.

15. **Sanzharova N. I., Geras'kin S. A., Isamov N. N., Koz'min G. V., Loj N. N., Pavlov A. N., Pimenov E. P., Cygvincev P. N.** Nauchnye osnovy primeneniya radiacionnyh tekhnologij v sel'skom hozyajstve // Obninsk: VNIISKHRAE, 2013. 133 p.

16. **Sanzharova N. I.** Radiacionnye tekhnologii v sel'skom hozyajstve i pishchevoj promyshlennosti: istoriya, sovremennoe sostoyanie i perspektivy. // *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya*

konferenciya Radiacionnye tekhnologii v sel'skom hozyajstve i pishchevoj promyshlennosti: sostoyanie i perspektivy. Obninsk : FGBNU VNIIRAE, 2018. С. 32–36.

17. **Usenko N. I., Otmahova Yu. S., Bryazgin A. A.** Vozmozhnosti i usloviya primeneniya tekhnologii ioniziruyushchego oblucheniya zerna pshenicy i muki // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya Radiacionnye tekhnologii v sel'skom hozyajstve i pishchevoj promyshlennosti: sostoyanie i perspektivy. Obninsk : FGBNU VNIIRAE, 2018. pp. 234–237.

Щеголихина Татьяна Алексеевна, научный сотрудник

Тел. 8-903-787-19-00

E-mail: totya190@mail.ru

Неменуцкая Людмила Алексеевна, старший научный сотрудник

Тел. 8-985-166-94-87

E-mail: nela-21@mail.ru

Коноваленко Людмила Юрьевна, старший научный сотрудник

Тел. 8-916-364-55-28

E-mail: lkon_73@mail.ru

В. П. МЕЩЕРЯКОВ, канд. биол. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», Калужский филиал, Российская Федерация, г. Калуга

V. P. MESHCHERYAKOV, Ph. D. of Biological Sciences,

Associate Professor

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev», Kaluga branch, Russian Federation, Kaluga

ПАРАМЕТРЫ ДОЕНИЯ КОРОВ-ПЕРВОТЕЛОК НА УСТАНОВКЕ «ЕЛОЧКА» ПРИ ПОВЫШЕНИИ РАЗОВОГО УДОЯ

THE PARAMETERS FOR THE MILKING OF COWS, HEIFERS ON THE INSTALLATION OF "HERRINGBONE" WHEN INCREASING ONE-TIME YIELD

***Аннотация.** Установлено, что повышение разового удоя у первотелок сопровождается увеличением продолжительности доения и средней интенсивности молоковыведения. Скорость прироста продолжительности доения и средней интенсивности молоковыведения была значительно меньше по сравнению с темпами увеличения удоя. Анализ взаимосвязи между параметрами молоковыведения показал, что на продолжительность доения, кроме удоя, влияют и индивидуальные особенности молокоотдачи коров. Рекомендуется при формировании технологических групп коров, выдаваемых на установку «Елочка», наряду с величиной удоя, учитывать также их индивидуальные особенности молокоотдачи.*

***Ключевые слова:** коровы-первотелки, параметры доения, доильная установка «Елочка».*

Abstract. *It was found that the increase in single milk yield in heifers is accompanied by an increase in the duration of milking and the average intensity of lactation. The rate of increase in the duration of milking and the average intensity of lactation was significantly lower compared to the increase in milk yield. Analysis of the relationship between the parameters of lactation showed that the duration of milking, in addition to milk yield, and affect the individual characteristics of the milk-Chi cows. It is recommended in the formation of technological groups of cows, milked on the installation "Herringbone", along with the value of milk yield, also take into account their individual characteristics of milk.*

Keywords: *cows-heifers, milking parameters, milking unit "Herringbone".*

Эффективность машинного доения коров зависит от таких функциональных свойств вымени как величина удоя, средняя интенсивность молоковыведения, продолжительность доения. Значимость контроля указанных показателей и особенно продолжительности доения возрастает при доении коров на установках группового выдаивания, к которым относится «Елочка». Молочная продуктивность коров считается одним из основных критериев при формировании технологических групп для доения в доильных залах [5, с. 25].

У коров установлена взаимосвязь величины удоя с параметрами доения [2, с. 179; 3, с. 54; 6, с. 3285] и выявлено влияние повышения разового удоя на параметры молоковыведения [4, с. 83]. Изучены параметры доения коров на установке «Елочка» при разных технологиях доения [1, с. 215]. Однако очень мало исследований проведено по изучению параметров доения коров с различной продуктивностью на установке «Елочка». Целью исследования явилось изучение влияния величины разового удоя на параметры доения коров-первотелок на установке «Елочка».

Исследования проведены на молочном комплексе ООО «Молочные активы» Перемышльского района Калужской области. В хозяйстве разводят скот голштинской породы. Молочная продуктивность в 2018 году на среднегодовую корову составила 9983 кг. Доеание проводилось дважды в сутки на установке «Елочка» 2×6 с быстрым выходом. Регистрация параметров доения осуществлялась с помощью измерительной системы «Afifarm». Исследования прове-

дены на 15 коровах-первотелках методом периодов (I–III). Период I являлся контролем, периоды II, III – опытные. Величина разового удоя по периодам составила: I – 7,1 – 9 кг; II – 9,1 – 11 кг; III – 11,1 – 13 кг. На каждой корове проведено по 5 наблюдений. Математическую обработку данных, корреляционный и регрессионный анализы проводили с использованием программы Microsoft Excel. Достоверность различий оценивали, используя t-критерий Стьюдента.

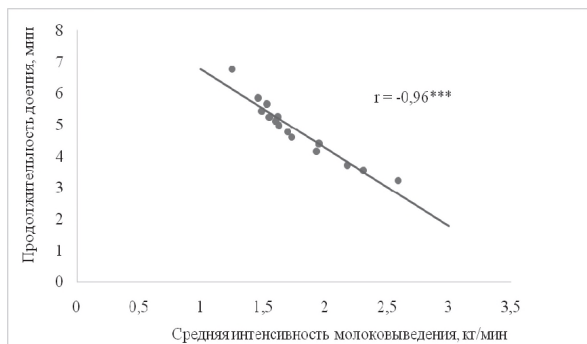
Параметры доения первотелок изменялись в зависимости от величины удоя (таблица)

Влияние разового удоя на параметры доения коров-первотелок ($M \pm m$)

Показатель	Единица измерения	Периоды		
		I (а)	II (б)	III (в)
Разовый удой	кг	8,21±0,10 _{б,в}	10,02±0,06 _{а,в}	11,87±0,07 _{а,б}
	%	100	122,0	144,6
Продолжительность доения	мин	4,86±0,11 _{б,в}	5,37±0,12 _{а,в}	5,86±0,14 _{а,б}
	%	100	110,5	120,6
Средняя интенсивность молоковыведения	кг/мин	1,77±0,04 _{б,в}	1,95±0,05 _{а,в}	2,13±0,06 _{а,б}
	%	100	110,2	120,3

Примечание. Различия между периодами достоверны при $P < 0,05$. На рис. *** – достоверно при $P < 0,001$.

В опытных периодах II и III увеличение разового удоя на 22 и 44,6 % привело к удлинению процесса доения и повышению средней интенсивности молоковыведения. Однако, скорость прироста указанных показателей была значительно меньше по сравнению с темпами увеличения удоя. Так, в периоды II и III продолжительность доения увеличилась только на 10,5 и 20,6 %. Увеличение средней интенсивности молоковыведения происходило аналогичными темпами. В каждом периоде не установлено взаимосвязи между величиной разового удоя и продолжительностью доения ($r = -0,17 - +0,29$), а также между величинами разового удоя и средней интенсивности молоковыведения ($r = -0,08 - +0,29$). Между средней интенсивностью молоковыведения и продолжительностью доения выявлена очень тесная связь ($r = -0,96 - -0,97$; $P < 0,001$). На рисунке представлена регрессия между указанными показателями в контроле.



Взаимосвязь между средней интенсивностью молоковыделения и продолжительностью доения ($y = -2,94x + 9,25$)

Ранее показано, что коэффициент корреляции между средней интенсивностью молоковыделения и продолжительностью доения составил $-0,43$ [6, с. 3285] и $-0,62$ [2, с. 179]. Установленное в нашей работе отсутствие взаимосвязи величины разового удоя с показателями доения вызвано узким пределом колебаний удоя в каждом периоде. На фоне снижения уровня влияния удоя на параметры доения резко усиливается по сравнению с литературными данными корреляция между средней интенсивностью молоковыделения и продолжительностью доения. Это может свидетельствовать об усилении влияния индивидуальных особенностей молокоотдачи на характер взаимосвязи между указанными параметрами.

Таким образом, результаты эксперимента свидетельствуют о том, что повышение разового удоя у первотелок сопровождается увеличением продолжительности доения и средней интенсивности молоковыделения. Показано, что на продолжительность доения, кроме удоя, влияют и индивидуальные особенности молокоотдачи коров. В связи с чем при формировании технологических групп коров, выдаиваемых на установке «Елочка», наряду с величиной удоя, следует учитывать также их индивидуальные особенности молокоотдачи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барановский М. В., Курак А. С., Кажеко О. А. Реализация рефлекса молокоотдачи и физиологическое состояние молочной же-

лезы коров при применении усовершенствованной технологии машинного доения // Зоотехническая наука Беларуси. 2011. Т. 46. № 2. С. 211–218.

2. **Кокорина Э. П.** Условные рефлексы и продуктивность животных. М. : Агропромиздат. 1986. 335 с.

3. **Мещеряков В. П., Негреева А. Н., Королева С. С., Дудин П. В.** Параметры молоковыведения и их взаимосвязь у коров чернопестрой породы // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2017. № 2. С. 52–58.

4. **Мещеряков В. П., Негреева А. Н., Мещеряков Д. В., Королева С. С.** Параметры молоковыведения у быстро- и медленно выдаиваемых коров при повышении удоя // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2018. № 1. С. 82–86.

5. **Танифа В. В., Алексеев А. А.** Комплектование, размещение и движение технологических групп коров на молочном комплексе // Вестник ВНИИМЖ. 2015. № 3 (19). С. 25–29.

6. **Weiss D., Weinfurtnner M., Bruckmaier R. M.** Teat Anatomy and its relationship with Quarter and Udder Milk Flow Characteristics in Dairy Cows // Journal of Dairy Science. 2004. Vol. 87. № 10. pp. 3280–3289.

REFERENCES

1. **Baranovskij M. V., Kurak A. S., Kazheko O. A.** Realizaciya refleksa molokootdachi i fiziologicheskoe sostoyanie molochnoj zhelezy korov pri primeneniі usovershenstvovannoj tekhnologii mashinnogo doeniya // Zootekhnicheskaya nauka Belarusi. 2011. T. 46. № 2. pp. 211–218.

2. **Kokorina E. P.** Uslovnnye refleksy i produktivnost' zhivotnyh. M. : Agropromizdat. 1986. 335 p.

3. **Meshcheryakov V. P., Negreeva A. N., Koroleva S. S., Dudin P. V.** Parametry molokovyvedeniya i ih vzaimosvyaz' u korov chernopestroy porody // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 2. pp. 52–58.

4. **Meshcheryakov V. P., Negreeva A. N., Meshcheryakov D. V., Koroleva S. S.** Parametry molokovyvedeniya u bystro- i medlenno vydaivayemyh korov pri povyshenii udoya // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 1. pp. 82–86.

5. **Tanifa V. V., Alekseev A. A.** Komplektovanie, razmeshchenie i dvizhenie tekhnologicheskikh grupp korov na molochnom komplekse // Vestnik VNIIMZH. 2015. № 3 (19). pp. 25–29.

6. **Weiss D., Weinfurtner M., Bruckmaier R. M.** Teat Anatomy and its relationship with Quarter and Udder Milk Flow Characteristics in Dairy Cows // Journal of Dairy Science. 2004. Vol. 87. № 10. pp. 3280–3289.

Мещеряков Виктор Петрович, канд. биолог. наук, доцент

Тел. 8-919-036-07-59

E-mail: vpmeshcheryakov@mail.ru

Е. И. ЗАБУДСКИЙ, доктор техн. наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», Российская Федерация, г. Москва

E. I. ZABUDSKIY, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev», Russian Federation, Moscow

ТРЕХФАЗНЫЙ НАСЫЩАЮЩИЙСЯ РЕАКТОР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

THREE-PHASE SATURATED REACTOR FOR POWER SYSTEMS MODES CONTROL

***Аннотация.** Рассмотрены устройство и основы теории насыщающегося реактора, предназначенного для использования с целью ограничения колебаний напряжения. Реактор также может быть применен для компенсации избыточной реактивной мощности энергосистемы. Разработана математическая модель электромагнитных режимов работы реактора. На основе ее программной реализации исследованы установившиеся и переходные режимы, несимметричные режимы, обусловленные как питающей сетью, так и нагрузкой, а также самим устройством.*

***Ключевые слова:** насыщающийся реактор, энергосистема, колебания напряжения, реактивная мощность математическая модель.*

***Abstract.** The design and the theory basis of saturated reactor are described. Reactor is used to limit fluctuations of voltage. It is also possible to compensate an excess reactive power of the power system with the reactor. Mathematical model of electromagnetic modes of the reactor is*

developed. Steady-state, transient conditions and non-symmetrical modes stipulated by power supply system, load and a facility itself are investigated based on the program realization of the model.

Keywords: saturable reactor, power system, voltage fluctuations, reactive power, mathematical model.

Введение

Являясь средством автоматического регулирования реактивной мощности, насыщающиеся и управляемые реакторы (НР и УР) необходимы для управления режимами электроэнергетических систем с целью решения следующих задач: компенсация избыточной зарядной мощности ЛЭП и повышение их пропускной способности, ограничение коммутационных перенапряжений и токов короткого замыкания, уменьшение колебаний напряжения, рациональное распределение напряжения и тока и др.

Реактор – это статическое нелинейное устройство, работа которого основана на явлении электромагнитной индукции. Реактивная мощность, потребляемая насыщающимся реактором, плавно регулируется за счет изменения насыщения магнитопровода переменным магнитным полем [4, с. 8].

Материалы и методы

Разработан трехфазный насыщающийся реактор [1], предназначенный для использования, например, в схеме параметрического стабилизатора напряжения (ПСН) (рисунок 1).

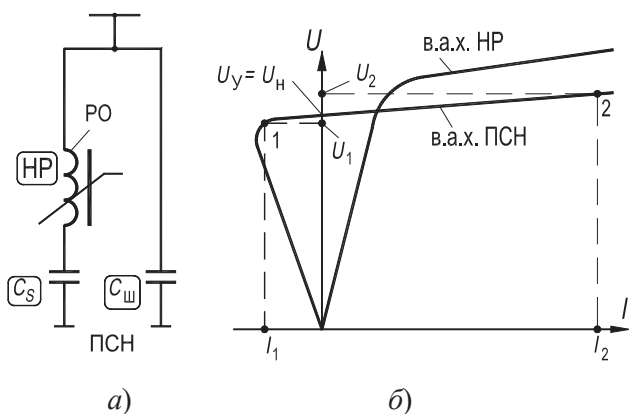


Рисунок 1 – Принципиальная схема ПСН (а) и его в.а.х. (б)

Основной функцией его является стабилизация напряжения в системах электроснабжения с резкопеременным характером нагрузки, например, в системах электроснабжения дуговых электропечей [2, с. 57].

Насыщающийся реактор содержит бронестержневой магнитопровод и трехфазную рабочую обмотку (РО), катушки которой расположены на стержнях. В зависимости от мощности устройства магнитопровод может быть выполнен магнитосвязанным или состоящим из трех отдельных одинаковых планарных модулей (рисунок 2). Магнитопровод включает девять стержней. Фаза состоит из четырех последовательно соединенных катушек, соотношение числа витков которых – $W_6:W_M:W_c:W_c = 1:0,347:0,532:0,532$. На стержнях каждого модуля расположены катушки W_6 и W_M , принадлежащие одной и той же фазе, и две катушки W_c , принадлежащие двум другим разным фазам. Принятые соотношения чисел витков катушек, схема их соединения и расположение на стержнях магнитопровода обуславливают создание девятилучевой симметричной трехфазно-расщепленной звезды векторов МДС стержней. Реализация такой звезды векторов обеспечивает пониженное содержание гармоник (менее 2 %) в токе реактора. Действительно, как показывает гармонический анализ, каждая фаза обмотки реактора индуктивно не связана с 5, 7, 11 и 13 гармониками магнитного потока, коэффициенты распределения фазы обмотки по этим гармоникам равны нулю. Между парами зажимов *A*, *B* или *C* обмотки реактора не обуславливают ЭДС и 3, 9 и 15 гармоники магнитного потока, но в фазах обмотки эти гармоники индуцируют уменьшенные ЭДС соответствующей частоты, которые составляют нулевую последовательность. Коэффициент распределения фазы обмотки по 3 и 15 гармоникам равен ~0,6, а по 9 гармонике – ~0,1. Таким образом в токе обмотки реактора отсутствуют 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, ... гармоники. Остаются некомпенсированными в токе лишь 17, 19, 35, 37, ... гармоники, амплитуды которых невелики.

Благодаря глубокому насыщению стержней магнитопровода и отсутствию замкнутых контуров в обмотке реактора он обладает высоким быстродействием.

Стабилизация напряжения реактором достигается благодаря тому, что за «коленом» вольтамперной характеристики его, в широком диапазоне изменения тока, протекающего в обмотке реактора, напряжение изменяется незначительно (см. рисунок 1). Для уменьшения наклона рабочего насыщенного участка в.а.х., находящегося за «коленом» кривой, каждая катушка обмотки реактора может быть выполнена не из обычного проводникового материала, а из чередующихся $2n$ слоев фольги и $2n$ слоев диэлектрика ($n = 1, 2, 3, \dots$). Соответствующие слои фольги всех катушек каждой фазы соединяются последовательно, образуя внешний и внутренний совокупные слои, которые не связаны гальванически. Совокупные слои фольги являются обкладками конденсатора, между которыми находится диэлектрик, обладающий высокой диэлектрической проницаемостью, например, лавсановая пленка. Индуктивное и емкостное сопротивления такой обмотки включены последовательно, благодаря чему и достигается компенсация падения напряжения на индуктивном сопротивлении.

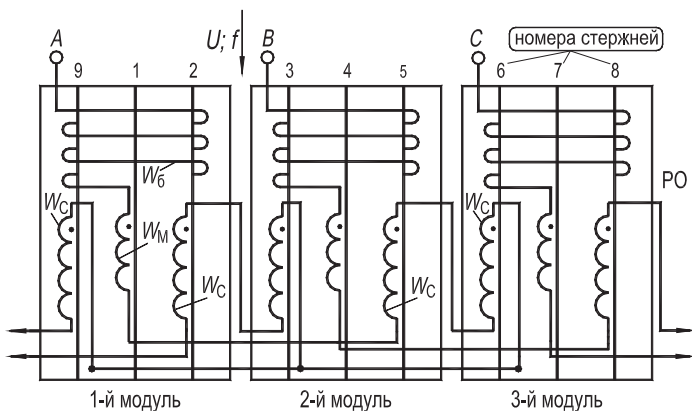


Рисунок 2 – Электромагнитная схема насыщающегося реактора

Каждый модуль реактора может быть выполнен не только на бронестержневом трехстержневом планарном магнитопроводе, но и собран из трех О-образных сердечников, расположенных радиально и образующих в плане трехлучевую симметричную звезду.

На основе разработанной обобщенной математической модели электромагнитных режимов и явлений, возникающих при намагни-

чивании магнитопровода, исследовано поведение реактора в электроэнергетической системе [3, с. 264]. Математическая модель составлена на основе эквивалентирования реального устройства электрической и магнитной схемами замещения с нелинейными сосредоточенными параметрами. После ряда преобразований, модель является системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Разработаны алгоритм и программная реализация модели. Результатом последней являются искомые значения: токов обмоток, магнитных потоков, индукций и других величин, получаемых как функции времени.

На рисунке 3,а показана зависимость линейных токов в фазах трехфазной совмещенной обмотки НР при следующих переходных процессах: 1) $t_0 = 0,00$ с – включение НР на 3-фазное напряжение; 2) $t_1 = 0,06$ с – наброс напряжения; 3) $t_2 = 0,14$ с – 10-процентный сброс его. Как видно из рисунка, 1-й процесс длится в течении $\sim 0,02$ с, 2 и 3-й процессы заканчиваются за $\sim 0,01$ с. Как следует из приведенной зависимости, форма кривой тока является практически синусоидальной.

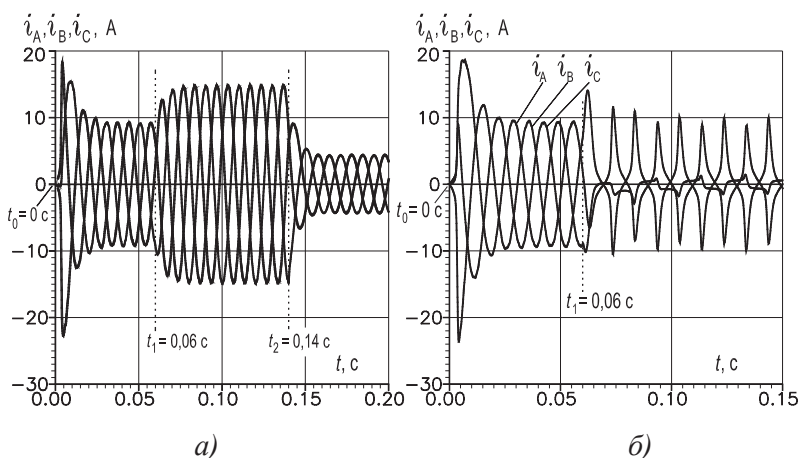


Рисунок 3 – Изменение токов НР в переходных процессах:
включение НР в сеть, наброс и сброс напряжения – (а);
обрыв одной фазы напряжения сети – (б)

Рисунок 3,б иллюстрирует переходный процесс при обрыве фазы А-Х питающего напряжения (начало процесса соответствует

моменту времени $t_1 = 0,06$ с). При $t > 0,06$ с форма кривых токов в фазах $B-Y$ и $C-Z$ искажается за счет третьей гармоники, и нормальная работа НР нарушается.

Благодаря быстрому параметрическому изменению реактивной мощности реактора в функции приложенного напряжения и отсутствию параллельных ветвей в обмотке, НР обладает практически безынерционным принципом действия, что делает особенно эффективным его использование для стабилизации напряжения в сети с резкопеременной нагрузкой. Вследствие пониженного содержания высших гармоник в кривой тока, а также других положительных качеств, НР является наиболее часто используемым типом реакторов.

Выводы

1. Разработан трехфазный насыщающийся реактор, предназначенный для улучшения режимов работы электроэнергетических систем.
2. Составлена в соответствии с теорией нелинейных электрических и магнитных цепей математическая модель управляемых электромагнитных устройств.
3. На основе программной реализации модели исследованы нормальные рабочие режимы насыщающегося реактора, а также важные для практики электромагнитные переходные процессы, возникающие при коммутациях в цепи обмотки устройства.
4. Сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными свидетельствует об адекватности разработанной математической модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. с. 1781711 СССР. Трехфазный насыщающийся реактор / Е. И. Забудский, Ю. В. Ермураки, Г. А. Евдокунин, С. Ф. Козырин // Бюл. 1992. № 46. С. 125.
2. **Забудский Е. И.** Совмещенные регулируемые электромагнитные реакторы: монография М. : Энергоатомиздат, ФГОУ ВПО МГАУ, 2003. 436 с.
3. **Забудский Е. И.** Математическое моделирование управляемых электромагнитных реакторов: монография. М. : ООО «Мегаполис», 2018. 355 с.

4. Статические компенсаторы для регулирования реактивной мощности/ Под ред. Р. М. Матура: Пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1987. 160 с.

REFERENCES

1. А. с. 1781711 СССР. Trehfaznyi nasyshayushiisya reaktor / E. I. Zabudskii, Yu. V. Ermuraki, G. A. Evdokunin, S. F. Kozyrin // Byul. 1992. № 46. p. 125.

2. **Zabudskii E. I.** Sovmeshennye reguliruemye elektromagnitnye reaktory: monografiya / E. I. Zabudskii. М. : Energoatomizdat, FGOU VPO MGAU, 2003. 436 p.

3. **Zabudskii E. I.** Matematicheskoe modelirovanie upravlyaemyh elektromagnitnykh reaktorov: monografiya. М. : ООО «Megapolis», 2018. 355 p.

4. Статические компенсаторы для регулирования реактивной мощности/ Под ред. Р. М. Матура: Пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1987. 160 p.

***Забудский Евгений Иванович**, доктор техн. наук,
профессор кафедры «Электропривод и электро-технологии»
Тел. 8-903-203-93-69
E-mail: ezabudsky@rgau-msha.ru*

УДК 681.5

А. И. АЗНАГУЛОВ, аспирант

В. В. ЛУКЬЯНОВ, аспирант

Ш. Ф. СИРАЕВ, старший преподаватель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет», Российская Федерация, Уфа

A. I. AZNAGULOV, Postgraduate

V. V. LUKIANOV, Postgraduate

S. F. SIRAEV, Senior Lecturer

Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Russian Federation, Ufa

БЕСПИЛОТНЫЙ ЭЛЕКТРОАГРЕГАТ ДЛЯ ОПРЫСКИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

UNMANNED ELECTRICAL UNIT FOR SPRAYING CROP

***Аннотация.** В данной работе предложен беспилотный электроагрегат для технологических операций в сельском хозяйстве обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами обработки растений и последними разработками в этом направлении. Способность выполнять поставленные задачи беспилотным электроагрегатом с аппаратно-программным комплексом и микропроцессорной системой управления полностью исключает из технологического процесса машинно-тракторный агрегат с оператором.*

***Ключевые слова:** точное земледелие, навигация, опрыскивание, электропривод, беспилотный электроагрегат.*

***Abstract.** The unmanned electrical unit for technological operations in agriculture has several advantages compared with traditional methods and the latest developments. The ability to perform assigned tasks by means of a hardware-software complex with a microprocessor control system completely excludes from such a technological process as spray-*

ing a machine-tractor unit with an operator.

Keywords: *precision agriculture, navigation, electric drive, unmanned electrical unit.*

Своевременное опрыскивание сельскохозяйственных культур является одним из основных показателей урожайности, поскольку получить высокий урожай без должной защиты практически невозможно. В связи с этим, появляется необходимость в оборудовании, способном эффективно и качественно реализовать данный технологический процесс [7].

В настоящее время, для большинства сельскохозяйственных предприятий, решением данного вопроса является автоматизация сельскохозяйственных операций путем применения систем точного земледелия, которые подразумевают использование курсоуказателей, подруливающих устройств, гидравлических автопилотов и другого оборудования, предусмотренного для конкретной операции в сельском хозяйстве [1, 6, 10].

Недостатком таковых устройств является то, что они служат прицепными к машинно-тракторному агрегату, что связано с большими эксплуатационными затратами, из которых самыми значительными являются расходы на ГСМ и на обслуживание техники [8].

С учетом выявленных недостатков, для решения данной проблемы предлагается применение беспилотного электроагрегата, способного выполнять поставленные задачи посредством аппаратно-программного комплекса с микропроцессорной системой управления.

Предметом исследований в данной работе является процесс аэрозольного внесения жидких удобрений для свеклы посредством беспилотного электроагрегата.

Наиболее вредоносными для посевов свеклы, особенно в фазу всходов, являются такие насекомые как свекольный долгоносик, свекольная блоха, минирующая муха. Опрыскивание свеклы с целью химической, биологической защиты от вредителей и болезней является неотъемлемой частью качественного выращивания данной культуры. Также, для высокой урожайности свеклы необходимо внесение жидких комплексных и других минеральных удобрений.

На рисунке 1 структурно представлен беспилотный электроагрегат, позволяющий дифференцированно распылять жидкие удобрения.

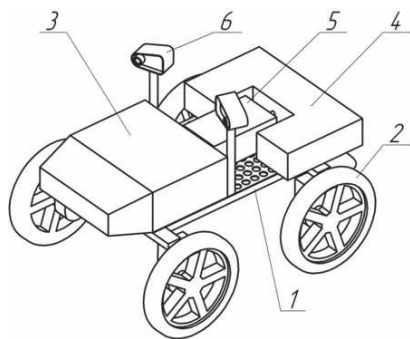


Рисунок 1 – Беспилотный электроагрегат для аэрозольного опрыскивания: 1 – рама; 2 – колесо с электроприводом; 3 – система управления и навигации; 4 – система питания; 5 – емкость для рабочего раствора; 6 – техническое зрение агрегата

Рама электроагрегата выполнена цельной, прямоугольной формы. Но также она может быть выполнена шарнирно-сочлененной (подвижная двухсекционная рама, части которой соединены шарниром), что позволит увеличить универсальность применения робота на территориях с различным рельефом опорной поверхности [9].

Емкость для рабочего раствора посредством магистрали соединена с генератором холодного тумана, который в свою очередь посредством магистралей осуществляет подачу тумана в зону обработки.

Беспилотный электроагрегат автоматически следует заданным курсом посредством системы управления по сигналам навигационных систем GPS/ГЛОНАСС. Поворот электроагрегата осуществляется за счет разности скорости вращения ротора бесколлекторных двигателей постоянного тока (БКДПТ) каждого колеса, алгоритм которых заложен в системе управления.

Управление осуществляется по принципу частотного регулирования, т.е. управление инвертором преобразователя частоты осуществляется в функции углового положения ротора двигателя. Для управления БКДПТ используется силовой каскад, состоящих из 3 полумостов, каждое плечо которого управляется отдельным драйвером. Принципиальная схема драйвера составлена в программе DIP TRACE и представлена на рисунке 2.

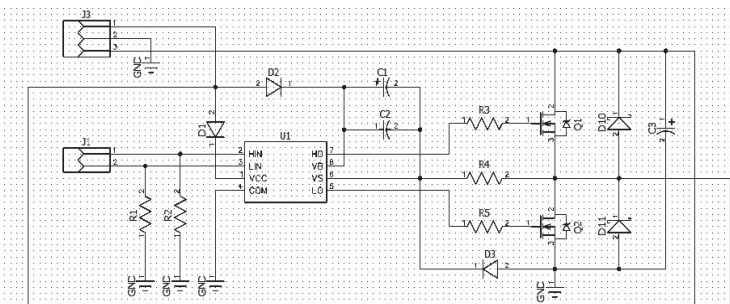


Рисунок 2 – Принципиальная схема драйвера БКДПТ

Рассматриваемый БКДПТ работает на дискретных датчиках Холла. На один электрический оборот датчики Холла выдают комбинацию из 3 логических сигналов в виде меандры, сдвинутых по фазе на 120 электрических градуса. Для управления фазами двигателя используется разнополярная 6-тактная парная коммутация, порядок коммутации представлен в таблице 1. Переключение фаз происходит через каждые 60 электрических градусов [4, 5].

Таблица 1 – Порядок коммутация ключей

Значение датчиков Холла	Фаза
101	A-B
001	A-C
011	B-C
010	B-A
110	C-A
100	C-B

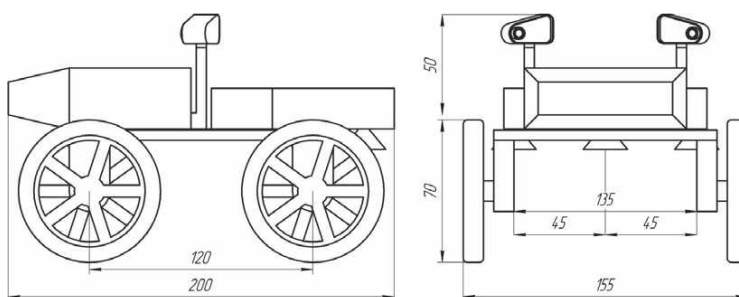
С помощью системы технического зрения электроагрегат дифференцированно распыляет жидкие удобрения посредством системы управления, открывая и закрывая поток тумана по магистралям в зону обработки, а также регулируя производительность генератора, путем снижения/повышения подачи напряжения [2, 3].

Исходя из агротехнических требований к выращиванию свеклы, произведены расчеты необходимых параметров для беспилотно-го электроагрегата. Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Параметры беспилотного электроагрегата

Наименование величины	Значение
Скорость движения агрегата (V), км/ч	$min - 5$ $max - 12$
Масса агрегата (m), кг	150
Коэффициент трения (μ)	0,4
Расход генератора холодного тумана (G), л/ч	5
Ширина захвата (b), м	1,35
Время работы на одном заряде (t), ч	6
Мощность генератора холодного тумана ($N_{ген}$)	250
Напряжение питания (U), Вт	48
Производительность установки (S), Га/ч	при $V_{min} - 0,675$ при $V_{max} - 1,62$
Мощность установки (N), Вт	при $V_{min} - 1334$ при $V_{max} - 2850$
Сила тока (I), А	при $V_{min} - 27,8$ при $V_{max} - 59,4$
Емкость аккумуляторов (Q), А·ч	при $V_{min} - 166,8$ при $V_{max} - 356,4$

Конструктивные особенности предложенного технического решения с учетом всех требований и расчетов представлены на рисунке 3



**Рисунок 3 – Беспилотный электроагрегат
для распыления удобрений**

Ширина захвата аэрозольного распыления составляет 1,35 м (по 0,45 м на ряд). При необходимости, ширина захвата может быть увеличена до нужного показателя.

Предлагаемое техническое решение позволяет осуществить

опрыскивание сельскохозяйственных культур беспилотным электроагрегатом с применением электротехнологий (холодный туман). За счет применения беспилотного электроагрегата снизятся эксплуатационные затраты (расходы на ГСМ, упрощение конструкции), себестоимость продукции (меньший расход химикатов и удобрений, равномерное внесение по всей площади обработки), увеличится производительность труда (возможность работы в ночное время, а также в условиях плохой видимости) повысятся экологические показатели процесса (отсутствие выхлопных газов).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балабанов В. И., Беленков А. И., Березовский Е. В. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие: учебное пособие. М. : 2013. 83 с.

2. Кафиев И. Р., Романов П. С., Романова И. П. Методический аппарат выбора информационной технологии для управления сельскохозяйственными роботами // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2017. № 4(44). С. 62–68.

3. Кафиев И. Р., Романов П. С., Романова И. П. К вопросу нечеткого управления электроприводами сельскохозяйственных интеллектуальных роботов // Российский электронный научный журнал. Уфа: Башкирский ГАУ. [Электронный ресурс]. URL: <http://journal.bsau.ru/numbe4-2017.php>. 12.02.2019.

4. Линенко А. В., Сираев Ш. Ф., Азнагулов А. И., Лукьянов В. В. Мехатронная система для автоматического управления машинно-тракторным агрегатом с беколлекторным электродвигателем // Электротехнические и информационные комплексы и системы. № 1, т. 15, 2019. С. 33–40.

5. Пат. 183287 Российская Федерация МПК, A01B 69/04, B62D 5/06. Исполнительное устройство для автоматического управления машинно-тракторным агрегатом / Линенко А. В., Азнагулов А. И., Ямалетдинов М. М.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ»; №2018114392; заявл. 18.04.2018; опуб. 17.09.2018, Бюл. № 26.

6. Поддубный В. И., Пенюшкин А. С. Управление движением колесных мобильных машин с использованием спутниковых радионавигационных систем // Ползуновский вестник 2012. С. 239–242.

7. Труфляк Е. В., Курченко Н. Ю., Креймер А. С. Мониторинг и прогнозирование в области цифрового сельского хозяйства по итогам 2018 года. Краснодар : КубГАУ, 2019. 100 с.

8. Jim T. A. N., Joughin, A. R., Eichner, J. M., Sapilewski, G., Sapilewski, A. F., & Kal, H. (2018). U.S. Patent Application No. 15/878,849.

9. Nelson F. W. (2008). U.S. Patent No. 7,349,779. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

10. Sean Mitchell Adoption of precision agriculture technologies in Ontario crop production. Canadian Journal of Plant Science, 2018, Vol. 98, No. 6 : pp. 1384–1388.

REFERENCES

1. Balabanov V. I., Belenkov A. I., Berezovskij E. V. Navigacionnye tekhnologii v sel'skom hozyajstve. Koordinatnoe zemledelie: uchebnoe posobie. M. : 2013. 83 p.

2. Kafiev I. R., Romanov P. S., Romanova I. P. Metodiche-skiy apparat vybora informacionnoj tekhnologii dlya upravleniya sel'skohozyajstvennymi robotami // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 4(44). pp. 62–68.

3. Kafiev I. R., Romanov P. S., Romanova I. P. K voprosu nechetkogo upravleniya elektroprivodami sel'skohozyajstvennykh intellektual'nykh robotov // Rossijskij elektronnyj nauchnyj zhurnal. Ufa: Bashkirskij GAU. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://journal.bsau.ru/numbe4-2017.php>. 12.02.2019.

4. Linenko A. V., Siraev SH. F., Aznagulov A. I., Luk'yanov V. V. Mekhatronnaya sistema dlya avtomaticheskogo upravleniya mashinno-traktornym agregatom s bekollektornym elektrodvigatelem // Elektrotekhnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. № 1, t. 15, 2019. pp. 33–40.

5. Pat. 183287 Rossijskaya Federaciya MPK, A01B 69/04, B62D 5/06. Ispolnitel'noe ustrojstvo dlya avtomaticheskogo upravleniya mashinno-traktornym agregatom / Linenko A. V., Aznagulov A. I., Yamaletdinov M. M.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO «Bashkirskij GAU»; №2018114392; zayavl. 18.04.2018; opub. 17.09.2018, Byul. № 26.

6. Poddubnyj V. I., Penyushkin A. S. Upravlenie dvizheniem kolosnykh mobil'nykh mashin s ispol'zovaniem sputnikovyykh radionaviga-

cionnyh sistem // Polzunovskij vestnik 2012. pp. 239–242.

7. **Truflyak E. V., Kurchenko N. YU., Krejmer A. S.** Monitoring i prognozirovanie v oblasti cifrovogo sel'skogo hozyajstva po itogam 2018 goda. Krasnodar : KubGAU, 2019. 100 p.

8. Jim T. A. N., Joughin, A. R., Eichner, J. M., Sapilewski, G., Sapilewski, A. F., & Kal, H. (2018). U.S. Patent Application No. 15/878,849.

9. Nelson F. W. (2008). U.S. Patent No. 7,349,779. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

10. Sean Mitchell Adoption of precision agriculture technologies in Ontario crop production. Canadian Journal of Plant Science, 2018, Vol. 98, No. 6 : pp. 1384–1388.

***Азнагулов Айну́р Ирша́тович**, аспирант*

Тел. 8-961-368-89-56

E-mail: az370@inbox.ru

***Лукьянов Вале́рий Влади́мирович**, аспирант*

Тел. 8-937-303-44-36

E-mail: smtnv@yandex.ru

***Сираев Шами́л Флю́рович**, старший преподаватель кафедры
«Электроснабжение и автоматизация технологических процессов»*

Тел. 8-961-358-99-83

E-mail: shamilsiraev@yandex.ru

Е. А. ОВСЯННИКОВА, *старший преподаватель*

В. И. ЗАГИНАЙЛОВ, *доктор техн. наук, профессор*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», Российская Федерация, г. Москва

Т. А. МАМЕДОВ, *главный специалист*

филиал Публичное акционерное общество «Московская объединенная электросетевая компания» – Московская кабельная сеть, Российская Федерация, г. Москва

E. A. OVSIANNIKOVA, *Senior Lecturer*

V. I. ZAGINAILOV, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev», Russian Federation, Moscow

T. A. MAMEDOV, *chief expert*

PJSC MOESK – Moscow Cable Networks branch, Russian Federation, Moscow

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИЕМНИКОВ И ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

DEFINITION OF POWER SUPPLY OF POWER CONSUMERS AND POWER RECEIVERS

***Аннотация.** Проведен анализ понятий используемых в электроснабжении: потребитель и приемник электрической энергии. Электропотребление при производстве сельскохозяйственной продукции можно заранее рассчитать и достичь, его снижения, используя энергоустановки с высокими коэффициентами полезного действия и технологии производства сельскохозяйственных культур и животных с малыми затратами полезно-используемой энергии и обеспечивающих высокую урожайность, продуктивность и качество производимой сельскохозяйственной продукции.*

Ключевые слова: потребители и приемники электрической энергии, электрическая энергия, мощность, энергетические установки.

Abstract. *We have studied the following notions used in the domain of power supply: power consumer and power receiver. Electricity consumption in agricultural production can be estimated in advance and brought down due to high-efficiency power generation systems and technologies in agricultural and animal production with low useful energy input that allow high yield, productivity and quality of agricultural produce.*

Keywords: *power consumers, power receivers, electrical energy, power, power generation systems.*

Потребители электрической энергии (ПЭЭ), в нашей стране, получают питание от систем централизованного электроснабжения (ЦЭС) [4, 9]. Системы ЦЭС образованы и управляются подразделениями министерства энергетики, а ПЭЭ относятся к другим ведомствам. Согласно ГОСТу 32144–2013 [5]: ПЭЭ – это юридическое или физическое лицо, осуществляющее пользование электрической энергией (ЭЭ) на основании заключенного договора.

Существуют и другие определения ПЭЭ:

– по ГОСТ 19431–84 [4]: это предприятие, организация, территориально обособленный цех, строительная площадка, квартира, у которых приемники электрической энергии присоединены к электрической сети и используют электрическую энергию;

– по ПУЭ-7 [9]: это электроприемник (ЭП) или группа ЭП, объединенных технологическим процессом (ТП) и размещенных на определенной территории. ЭП – аппарат, агрегат и др., предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

– по договору энергоснабжения [7]: это лицо, приобретающая ЭЭ у энергоснабжающей организации для собственных нужд и имеющий на правах собственности энергопринимающие устройства технологически присоединенные к электрической сети ЦЭС.

Следовательно, ПЭЭ – это как правило, группа ЭП (энергопринимающих устройств или электроустановок), объединенных ТП

по производству продукции (рисунок 1), размещенных на определенной территории и принадлежащих юридическому или физическому лицу, осуществляющему пользование электрической энергией (мощностью) на основании заключенного договора с энергопоставляющей (электроснабжающей) организацией.

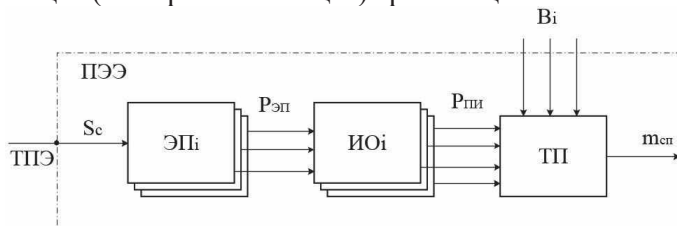


Рисунок 1 – Функциональная схема потребителя электрической энергии

Приобретаемая ЭЭ потребителем (по ГОСТ 32144–2013 [5] в точке передачи электрической энергии (ТПЭ); по договору [7] в точке поставки ЭЭ – место на границе балансовой принадлежности электросетевого оборудования системы ЦЭС) должна быть оплачена ПЭЭ и соответствовать нормам качества и надежности. Так, например, отклонения напряжения не должны превышать $\pm 10\%$ от номинального, – частоты $\pm 0,2$ Гц, в договоре могут быть указаны и другие показатели качества, определенные этим ГОСТом. Кроме того, электроснабжение ПЭЭ должно осуществляться в соответствии с требуемой категорией надежности ЭП ПЭЭ.

Электроприемники ПЭЭ (рисунок 1) из сети получают полную мощность

$$S_C = UI = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2}, \quad (1)$$

где U – напряжение электрической однофазной сети, В; I – ток потребляемый ЭП из электрической сети, А; P_C – активная мощность, потребляемая ЭП из электрической сети, кВт; Q_C – реактивная мощность ЭП (электрической сети), кВАр.

Реактивная мощность ЭП определяется по выражению

$$Q_C = UI \sin \varphi_{ЭП}, \quad (2)$$

где $\sin \varphi_{ЭП}$ определяется по отношению величины реактивной мощности к

полной мощности: $\sin \varphi_{\text{ЭП}} = \frac{Q_{\text{с}}}{S_{\text{с}}}$.

Реактивная мощность используется на создание электромагнитных полей в реактивных элементах ЭП и его системы управления и защиты (СУЗ). В процессе работы ЭП обменивается реактивной мощностью с электрической сетью.

Активная мощность, потребленная ЭП из электрической сети, равна

$$P_{\text{с}} = UI \cos \varphi_{\text{ЭП}}, \quad (3)$$

где $\cos \varphi_{\text{ЭП}}$ – коэффициент мощности ЭП, $\cos \varphi_{\text{ЭП}} = \frac{P_{\text{с}}}{S_{\text{с}}}$.

Активная мощность, потребляемая из электрической сети, используется энергетической установкой (ЭУ), состоящей из ЭП и исполнительного органа (ИО: рабочего органа или рабочей машины, агрегата, устройства) на выполнение работы с полезно-используемой мощностью

$$P_{\text{ПИ}} = UI \eta_{\text{ЭУ}} \cos \varphi_{\text{ЭП}}, \quad (4)$$

где $\eta_{\text{ЭУ}}$ – коэффициент полезного действия ЭУ.

Коэффициент полезного действия ЭУ определяется по отношению величины полезно-используемой мощности $P_{\text{ПИ}}$ к $P_{\text{с}}$:

$$\eta_{\text{ЭУ}} = \frac{P_{\text{ПИ}}}{P_{\text{с}}} = \eta_{\text{ЭП}} \eta_{\text{ИО}}, \quad (6)$$

где $\eta_{\text{ЭП}}$ – коэффициент полезного действия ЭП, $\eta_{\text{ЭП}} = \frac{P_{\text{ЭП}}}{P_{\text{с}}}$;

где $\eta_{\text{ИО}}$ – коэффициент полезного действия ИО, $\eta_{\text{ИО}} = \frac{P_{\text{ПИ}}}{P_{\text{ЭП}}}$.

Следовательно, активная мощность электроприемника $P_{\text{ЭП}}$ используется ИО для воздействия с полезно-используемой мощностью $P_{\text{ПИ}}$ на объекты ТП по производству продукции или по оказанию услуг. Так, например, в сельскохозяйственных ТП, из соответствующих веществ B_i , с использованием энергии мощностью $P_{\text{ПИ}}$ производится сельскохозяйственная продукция массой $m_{\text{СП}}$ (рисунок 1).

При проектировании, монтаже и эксплуатации электроустановок, как систем электроснабжения, так и ЭПП необходимо знать па-

параметры ЭП [6]: величину напряжения (до 1000 и выше 1000 В); величину тока: постоянного, импульсного, переменного (однофазного или трехфазного); величину активной мощности; коэффициент полезного действия; коэффициент мощности; режимы работы; категорию по надежности электроснабжения и технологическое назначение электроприемника (преобразование электрической энергии в другие виды энергии).

Все ЭП, независимо от их назначения оснащаются системами управления и защиты (СУЗ), в функцию которых входит: обеспечение ЭП электроэнергией с определенной мощностью, необходимого напряжения и различного рода тока; управление параметрами электропитания и всеми режимами работы и защиту ЭП от аварийных режимов работы.

В зависимости от вида энергии, получаемой на выходе ЭП разделим их на электромеханические (электропривод) и электротехнологические установки.

Электропривод состоит из ЭП – электрической машины (ЭМ) и ИО. ЭМ преобразует ЭЭ с мощностью S_c в механическую энергию с мощностью $P_{эм} = P_{эп}$ (рисунок 2) и приводит в действие ИО, воздействующий с полезно-используемой механической мощностью $P_{пи}$ на объекты ТП, например, на сельскохозяйственную продукцию в ТП по ее производству массой $m_{сп}$.

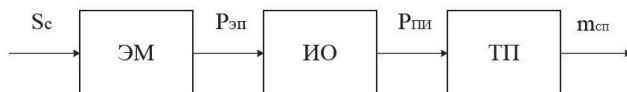


Рисунок 2 – Функциональная схема ПЭЭ с электроприводом

Коэффициент полезного действия ЭУ с электроприводом равен:

$$\eta_{эу} = \frac{P_{пи}}{P_c} = \eta_{эм} \eta_{ио}, \quad (7)$$

где $\eta_{эм}$ – коэффициент полезного действия ЭТУ, $\eta_{эм} = \frac{P_{м}}{P_c}$.

Различают электропривод постоянного тока, асинхронный и синхронный электропривода [8]. ИО электропривода, в зависимости от назначения могут перемещать, дробить, резать, прессовать и т. д.,

т. е. осуществлять механическое воздействие на объект ТП.

Электротехнологические установки – это ЭП, преобразующие электрическую энергию с мощностью S_c в другие виды энергии (тепловую, световую или электрическую с другими параметрами), непосредственно воздействующие на объекты ТП, т.е. $P_{\text{пи}} = P_{\text{эп}}$. В качестве воздействующего параметра на объекты ТП может быть использованы: теплота, свет, звук и ультразвук, ионы и аэрозоли и собственно электрическая энергия в виде постоянного, импульсного и переменного токов, электрических или магнитных полей, СВЧ и оптических излучений [2].

Основную группу электротехнологических установок составляют **электротермические установки** (ЭТУ) прямого или косвенного нагрева объектов ТП (рисунок 3), преобразующие электрическую энергию с мощностью S_c в тепловую энергию [1] и воздействующие на объекты ТП теплотой с мощностью $P_{\text{эту}} = P_{\text{эп}} = P_{\text{пи}}$ и с заданной температурой. К ЭТУ относятся электронагреватели, электроплиты, бытовые и промышленные электропечи, электросварочные и электроплавильные установки и другие установки и устройства, обеспечивающие обогрев помещений, нагрев материалов, приготовление горячей пищи, сварку и плавку металлов и др.

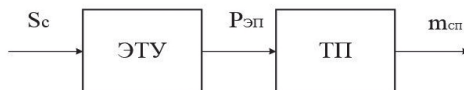


Рисунок 3 – Функциональная схема ПЭЭ с ЭТУ

Коэффициент полезного действия ЭУ с ЭТУ равен:

$$\eta_{\text{эу}} = \frac{P_{\text{пи}}}{P_c} = \eta_{\text{эту}}, \quad (8)$$

где $\eta_{\text{эту}}$ – коэффициент полезного действия ЭТУ, $\eta_{\text{эу}} = \frac{P_{\text{эту}}}{P_c} = \frac{P_{\text{эп}}}{P_c}$.

Другую большую группу электротехнологических установок представляют **установки для освещения (облучения) объектов ТП** (рисунок 4), использующие световые приборы (СП), преобразующие электрическую энергию в световую (лучистую) энергию различного спектра [1].

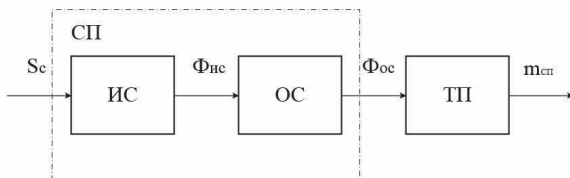


Рисунок 4 – Функциональная схема ПЭЭ с установкой для освещения объектов ТП

Согласно ГОСТу 16703-79 [3] в СП используется источник (источники) света (ИС), преобразующий электрическую энергию сети мощностью S_c , в энергию светового потока источника $\Phi_{ис}$ с мощностью $P_{эп}$. В качестве ИС могут быть использованы: лампы накаливания, галогенные, газоразрядные, люминесцентные, светодиодные, индукционные лампы. Световой поток ИС, с помощью оптической системы (ОС), отражается, распределяется формируется в световой поток $\Phi_{ос}$, который с полезно-используемой мощностью $P_{пи}$ воздействует на объект ТП.

Коэффициент полезного действия ЭУ с установкой для освещения объектов ТП равен:

$$\eta_{эу} = \frac{P_{пи}}{P_c} = \frac{\Phi_{ос}}{P_c} = \eta_{ис}\eta_c, \quad (9)$$

где $\eta_{ис}$ – коэффициент полезного действия ИС, $\eta_{ис} = \frac{\Phi_{ис}}{P_c}$, коэффициент полезного действия СП, $\eta_c = \frac{\Phi_{ос}}{\Phi_{ис}}$.

Установки освещения работают с источниками дневного света, установки облучения с инфракрасными и ультрафиолетовыми (бактерицидными) лампами. Инфракрасные излучения оказывают тепловое воздействие на объекты ТП, ультрафиолетовое – бактерицидное воздействие на вредные микроорганизмы и микрофлору объектов ТП.

К электротехнологическим установкам отнесем и *устройства получения и использования информации* (УППИ) основу СУЗ, которых представляют блоки питания (БП), преобразующие электрическую энергию сети мощностью S_c в энергию питания устройств

преобразования информации (УПИ) с мощностью УПИИ т. е. $P_{\text{УПИИ}} = P_{\text{ПИ}} = P_{\text{ЭП}}$ (рисунок 5). УПИ – это преобразователи информацию (И), обеспечивающие ее получение, воздействие и обмен с ТП, а также ее передачу, считывание, копирования, обработку, суммирование, хранение, печать, размножение, визуализацию и др. с использованием соответствующих устройств.

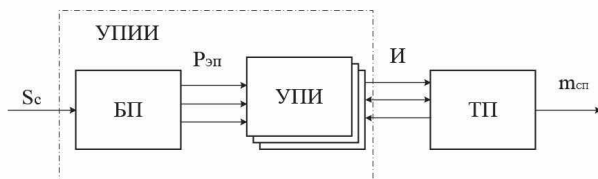


Рисунок 5 – Функциональная схема ПЭУ с устройством получения и использования информации

Коэффициент полезного действия ЭУ с УПИИ равен:

$$\eta_{\text{ЭУ}} = \frac{P_{\text{ПИ}}}{P_{\text{С}}} = \eta_{\text{УПИИ}}, \quad (10)$$

где $\eta_{\text{УПИИ}}$ – коэффициент полезного действия УПИИ, $P_{\text{УПИИ}} = \frac{P_{\text{УПИИ}}}{P_{\text{С}}} = \frac{P_{\text{ЭП}}}{P_{\text{С}}}$.

УПИИ это достаточно многочисленная группа маломощных ЭП, с высокими требованиями к качеству ЭЭ и надежности электропитания. К УПИИ относится: теле-радиоаппаратура (телевизоры, радио, компьютеры, телефоны, принтеры, сканеры); информационно-управляющие системы; автоматизированные и автоматические системы управления; автоматизированные рабочие места и многие другие устройства с микропроцессорами и без, с использованием новейших информационных и инфокоммуникационных технологий [10].

Электропотребление по производству какого-то вида сельскохозяйственной продукции можно определить, суммируя электропотребления отдельных электроприемников W_{Gi} , участвующих в ТП производства данной продукции

$$W_{\text{G}} = \sum W_{\text{Gi}} = \sum P_{\text{Gi}} t_i, \quad (11)$$

где P_{Gi} – активная мощность, потребляемая i -тым ЭП из электрической сети;
 t_i – время работы i -го ЭП по производству продукции.

Определяя P_{Gi} через $P_{\text{пн}i}$ (7–10), подставляя в (11) и относя к количеству произведенной сельскохозяйственной продукции получим электропотребление ее производства

$$\mathcal{E}_{\text{тп}} = \frac{W_{\text{с}}}{m_{\text{сп}}} = \frac{1}{m_{\text{сп}}} \sum \frac{W_{\text{пн}i}}{\eta_{\text{эв}i}},$$

где $\eta_{\text{эв}i}$ – коэффициент полезного действия i -ой ЭУ ТП; $W_{\text{пн}i}$ – затраты электрической энергии i -го ЭП определим через произведение $P_{\text{пн}i}$ на время работы t_i , $W_{\text{пн}i} = P_{\text{пн}i} t_i$

Следовательно, снижение электропотребления при производстве сельскохозяйственной продукции можно заранее рассчитать и достичь, используя энергоустановки с высокими коэффициентами полезного действия и технологии производства сельскохозяйственных культур и животных с малыми затратами полезно-используемой энергии и обеспечивающих высокую урожайность, продуктивность и качество производимой сельскохозяйственной продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранов Л. А., Захаров В. А. Светотехника и электротехнология: учебное пособие. М. : КолосС, 2006. 344 с.
2. Бородин И. Ф. Развитие электротехнологии в сельскохозяйственном производстве // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. № 16. С. 27–31.
3. ГОСТ 16703-79. Межгосударственный стандарт. Приборы и комплексы световые. Термины и определения. Введ. 01-07-1980. М. : ИПК Издательство стандартов.
4. ГОСТ 19431-84. Межгосударственный стандарт. Энергетика и электрификация. Термины и определения. Введ. 01-01-86. М. : Стандартинформ.
5. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах элек-

троснабжения общего назначения. Введ. 01–07–2014. М. : Стандартинформ.

6. **Гужов Н. П., Ольховский В. Я., Павлюченко Д. А.** Системы электроснабжения. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2006. 154 с.

7. Договор энергоснабжения (образец) [Электронный ресурс]. URL:https://www.freshdoc.ru/dogovor/dogovory_kupliprodaji/dogovor_j_energოსnabzheniya/. – Заглавие с экрана. – Дата обращения 10.09.2019).

8. **Елифанов А. П., Малайчук, Л. М., Гушинский А. Г.** Электропривод: учебник для вузов. СПб. : Лань, 2012. 400 с.

9. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. М. : ЗАО «Энергосервис», 2008. 696 с.

10. **Краус В. Р.** Научные методы и опыт компьютеризации управления инновационными проектами АПК до 2020 года. М. : ГНУ ВИЭСХ, 2010. 336 с.

REFERENCES

1. **Baranov L. A., Zaharov V. A.** Svetotekhnika i elektrotekhnologiya: uchebnoe posobie dlya vuzov. M. : KolosS, 2006. 344 p.

2. **Borodin I. F.** Razvitie elektrotekhnologii v sel'skohozyajstvennom proizvodstve // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 1983. № 16. pp. 27–31.

3. GOST 16703–79. Mezhgosudarstvennyj standart. Pribory i komplekсы svetovye. Terminy i opredeleniya. Vved. 01–07–1980. М. : ИПК Издатel'stvo standartov.

4. GOST 19431–84. Mezhgosudarstvennyj standart. Energetika i elektrifikaciya. Terminy i opredeleniya. Vved. 01–01–86. М. : Standartinform.

5. GOST 32144–2013. Mezhgosudarstvennyj standart. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemah elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya. Vved. 01–07–2014. М. : Standartinform.

6. **Guzhov N. P., Ol'hovskij V. YA., Pavlyuchenko D. A.** Sistemy elektrosnabzheniya. Novosibirsk : Izd-vo NGTU, 2006. 154 s.

7. Договор энергоснабжения (образец) [Elektronnyj resurs]. URL:https://www.freshdoc.ru/dogovor/dogovory_kupliprodaji/dogovor_j_energოსnabzheniya/

energосnabzheniya/. – Zaglavie s ekrana. – Data obrashcheniya 10.09.2019).

8. **Epifanov A. P., Malajchuk, L. M., Gushchinskij A. G.** Elektroprivod: uchebnik dlya vuzov. SPb. : Lan', 2012. 400 p.

9. Pravila ustrojstva elektroustanovok. 7-e izdanie. M. : ZAO «Energoservis», 2008. 696 p.

10. **Krausp V. R.** Nauchnye metody i opyt komp'yuterizacii upravleniya innovacionnymi proektami APK do 2020 goda. M. : GNU VIESKH, 2010. 336 p.

Овсянникова Елена Александровна, старший преподаватель
кафедры «Электропривод и электротехнологии»

Тел. 8-903-108-81-64

E-mail: energo-ovs@mail.ru

Мамедов Тимур Азерович, главный специалист
филиала ПАО «МОЭСК» – МКС

Тел. 8-965-397-11-22

E-mail: mta020593@mail.ru

Загинайлов Владимир Ильич, доктор техн. наук,
профессор кафедры «Электроснабжение электротехника
имени академика И. А. Будзко»

Тел. 9-903-108-37-37

E-mail: energo-viz@mail.ru

С. А. АНДРЕЕВ, канд. техн. наук, доцент

А. И. МАТВЕЕВ, инженер

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», Российская Федерация, г. Москва

S. A. ANDREEV, *Ph. D. of Engineering Sciences, Assistant Professor*

A. I. MATVEEV, *Engineer*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev», Russian Federation, Moscow

ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ОРОШЕНИЕМ

ENERGY-RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN IRRIGATION MANAGEMENT

***Аннотация.** В статье обоснована эффективность использования беспроводных технологий для передачи информации о влажности почвы в системах автоматического управления орошением. Описан принцип автономного питания измерительно-передающих устройств за счет преобразования части кинетической энергии потока воды. Произведена энергетическая оценка работы гидромеханических преобразователей. Рассмотрена возможность использования ионисторов для накопления электрической энергии. Предложен энергоэффективный принцип ведения радиосвязи.*

***Ключевые слова:** энерго-ресурсосбережение, управление орошением, автономное питание, источники энергии, аккумулярование энергии, ионисторы, динамическая коммутация, энергоэффективный принцип радиосвязи.*

***Abstract.** The article substantiates the effectiveness of using wireless technologies for transmitting information about soil moisture in automatic irrigation control systems. The principle of autonomous power*

supply of measuring and transmitting devices due to the conversion of part of the kinetic energy of the water flow is described. An energy assessment of the operation of hydromechanical converters was made. The possibility of using ionistors for the accumulation of electrical energy is considered. An energy-efficient principle of radio communication is proposed.

Keywords: *energy and resource saving, irrigation management, autonomous power supply, energy sources, energy storage, ionistors, dynamic switching, energy-efficient principle of radio communications.*

Выращивание сельскохозяйственных растений сопровождается значительными затратами энергии и материальных ресурсов. При этом одним из наиболее затратных технологических процессов является орошение. К сожалению, реализация орошения зачастую происходит при явном перерасходе воды. Причинами перерасхода обычно являются утечки в подающих трубопроводах и неточное нормирование водоподачи. Существенным резервом снижения перерасхода воды и энергии является использование автоматизированного оборудования, осуществляющего непрерывный контроль влажности почвы и дозирующего орошение. Кроме того, на основе сопоставления данных по расходу подаваемой воды в начале трубопровода, и расходам в разных точках водопроводной сети автоматизированные устройства позволяют легко вычислить места протечек или несанкционированного водозабора.

На сегодняшний день наиболее перспективное использование автоматизированного оборудования связано с включением его в состав замкнутых управляющих систем. При этом центральный управляющий узел (сервер) может находиться на значительном удалении от объекта управления, который, кроме того, сильно рассредоточен в пространстве. Современные системы автоматического управления орошением предполагают одновременное измерение и обработку чрезвычайно большого объема информации. Например, для объективной оценки степени увлажнения почвы в условиях открытого грунта датчики влажности устанавливаются на расстоянии 5...8 м друг от друга. В таком случае на площади орошаемого участка 1 га требуется установка 250...400 датчиков.

Очевидно, что практическая реализация проводной связи такого количества датчиков с сервером крайне сложна. Проводные ли-

нии связи оказываются весьма дорогими и уязвимыми к внешним механическим воздействиям. Они изготавливаются с применением цветного металла и мешают проведению агротехнических мероприятий, Места электрических контактов со временем окисляются, что снижает надежность системы. Наконец, проводные линии связи невозможно использовать с движущимися устройствами и оперативно менять их расположение.

Таким образом, на сегодняшний день наиболее эффективными являются беспроводные линии связи с применением радиотехнических средств. Вместе с тем, перевод линий связи на беспроводную основу определил новые проблемы. Среди этих проблем на первом месте оказалось электропитание измерительно-передающих устройств. Применение химических накопителей электрической энергии себя не оправдало, поскольку сухие батареи требуют периодической замены, а аккумуляторы – зарядки. При этом характеристики тех и других накопителей нестабильны с изменением температуры. Электропитание измерительно-передающих устройств от локальных преобразователей возобновляемых видов энергии также оказалось неэффективным. Микроветроэлектрические преобразователи слишком слабы и нестабильны, а рабочие поверхности фотоэлектрических устройств быстро загрязняются. Кроме того, использование таких преобразователей иногда в принципе невозможно из-за специфических особенностей расположения устройств.

Новый подход к организации питания низкоэнергетических электронных приборов основан на преобразовании части кинетической энергии потока воды, предназначенной для полива [4]. При этом потребители электроэнергии образуют гидравлические сопротивления, снижая напор в трубопроводе и увеличивая нагрузку на водоподающее оборудование. При проектировании систем управления важно знать величину этой нагрузки и максимально допустимое количество измерительно-передающих устройств.

Следует отметить, что потери напора, вызываемые гидромеханическими преобразователями, в значительной мере зависят от схемы их включения. При параллельном включении одинаковых преобразователей общая потеря напора составит

$$h = \frac{h_i}{N}, \quad (1)$$

где N – количество преобразователей; h – потери напора оказываемые одним

преобразователем, м.

Аналогичным образом формируется соотношение расхода и объемов воды: $Q_i = \frac{Q}{N}, V_i = \frac{V}{N}$,

где Q, Q_i – общий расход и расход воды на отдельном ответвленном участке трубопровода соответственно; V, V_i – общий объем и объем воды и на отдельном ответвленном участке трубопровода соответственно, м³/с;

Общая мощность потока определится произведением:

$$N_n = \rho g Q h,$$

где ρ – плотность воды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Энергию потока, преобразуемую гидромеханическим преобразователем, можно оценить по формуле:

$$W_{\text{гмп}} = \frac{\rho g Q h_i}{N 3600} t_{\text{н}}. \quad (2)$$

При этом длительность орошения составит

$$t_{\text{н}} = \frac{V}{Q} = \frac{V_i}{Q_i}. \quad (3)$$

Найдем потерю напора, приходящуюся на один гидромеханический преобразователь:

$$h_i = \frac{N 3600 W_{\text{гмп}}}{\rho g Q t_{\text{н}}}. \quad (4)$$

Подставляя соотношение (4) в выражение (1), получим:

$$h = \frac{N 3600 W_{\text{гмп}}}{\rho g Q} \times \frac{1}{N} \times \frac{Q}{V} = \frac{3600 W_{\text{гмп}}}{V \rho g}. \quad (5)$$

Нетрудно заметить, что при параллельном включении гидромеханических преобразователей потеря напора не зависит от их количества. Это объясняется уменьшением гидравлического сопротивления при увеличении количества устройств.

Для определения энергии потребляемой измерительно-передающим устройством сформируем соотношение:

$$W_{\text{ипу}} = \frac{k_1 P_1 t_1 + k_2 P_2 t_2 + (t_3 - k_1 t_1 - k_2 t_2) P_3}{3600}, \quad (6)$$

где P_1, P_2, P_3 – потребляемая мощность измерительно-передающим устройством при передачи информации, в активном режиме и в режиме ожидания соответственно, Вт; k_1, k_2 – количество сеансов передачи данных и опроса датчиков соответственно; t_1, t_2 – продолжительность передачи информации и опроса датчиков соответственно за период t_3 , с.

Для определения потерь напора остается определить объем протекающей воды. Воспользуемся известной формулой определения поливной нормы [2]:

$$V = 100hd_H (\beta_{\max} - \beta_{\min}), \frac{\text{м}^3}{\text{га}}, \quad (7)$$

где h – глубина активного слоя почвы, м; d_H – объемная плотность расчетного слоя почвы, $\frac{\text{т}}{\text{м}^3}$; β_{\max} – влажность в % к массе сухой почвы, соответствующая верхнему пределу увлажнения; β_{\min} – влажность в % к массе сухой почвы, соответствующая нижнему пределу увлажнения, то есть $\beta_{\min} = 0,6 \cdot \beta_{\max}$.

В качестве примера рассчитаем потери напора при поливе растений капусты на площади 1 га с известными интенсивностями полива и энергопотреблении измерительно-передающих устройств, выполненных на основе микроконтроллера nrf52832 от компании «Nordic Semiconductor» [3]:

В течение суток энергопотребление составит:

$$\begin{aligned} W_{\text{ипу}} &= \frac{k_1 P_1 t_1 + k_2 P_2 t_2 + (t_3 - k_1 t_1 - k_2 t_2) P_3}{3600} = \\ &= \frac{72 \times 0,022 \times 0,03 + 72 \times 0,03 \times 10 + (86400 - 72 \times 0,03 - 72 \times 10) 6 \times 10^6}{3600} = \\ &= \frac{0,04752 + 21,6 + 0,514}{3600} = 0,006 \text{ Вт} \cdot \text{ч}. \end{aligned}$$

Для растений капусты легко вычислить поливную норму:

$$V = 100 \times 0,3 \times 1,2 (90 - 54) = 1296 \text{ м}^3/\text{га}$$

Исходя из регламентированной десятидневной паузы между поливами растений, делаем вывод о необходимости получения энергии в объеме 0,06 Вт·ч. Воспользовавшись выражением (5), рас-

считаем потери напора:

$$h_{\text{общ}} = \frac{0,06 \times 3600}{1000 \times 9,81 \times 1296} = 16 \times 10^{-6} \text{ м}$$

Полученная величина потери напора оказалась столь незначительной, что ею вполне можно пренебречь. Однако нельзя забывать, что поступление энергии будет осуществляться только в момент полива. В остальное время из-за отсутствия энергии измерительно-передающие устройства будут бездействовать. Для сохранения постоянной работоспособности устройств необходимо резервировать часть получаемой энергии, используя накопители.

К сожалению, химические аккумуляторы для этой цели непригодны. К перечисленным выше недостаткам аккумуляторов можно добавить чрезмерно длительный период их зарядки, который превышает среднюю длительность полива. В связи с этим накопление энергии для бесперебойного питания измерительно-передающих устройств предлагается осуществлять посредством ионисторов. Следует признать, что при непосредственном использовании ионисторов значительная часть запасенной ими энергии не потребляется. Это происходит вследствие того, что в процессе потребления энергии, начиная с определенного момента, напряжение на обкладках ионисторов становится меньше требуемого значения. Ввиду отсутствия тока процесс разряда прекращается, а эффективность использования ионисторов снижается. Кроме того, ионисторы характеризуются относительно большим током саморазряда, что сдерживает их применение в режимах с длительным пассивным периодом.

Для повышения эффективности использования ионисторов предлагается осуществлять отбор накопленной ими энергии в режиме динамической коммутации. При динамической коммутации происходит автоматическое переключение схем соединения ионисторов между собой и относительно нагрузки.

При коммутации ионисторов схема их соединения может меняться вплоть до полного выстраивания в параллельную или последовательную цепь без возникновения уравнивающих токов. Выходное напряжение бесконтактного коммутирующего узла может варьироваться в широких пределах, позволяя извлечь максимум запасенной энергии и сохраняя нормальный режим работы измерительно-передающих устройств.

По графику, представленному на рисунке 1, можно проследить зависимость величины неиспользуемой энергии от количества коммутируемых ионисторов. По виду этой зависимости можно сделать вывод, что при использовании даже двух ионисторов количество неиспользуемой энергии уменьшается с 25 до 6,25 %, а при восьми ионисторах оно сокращается до 0,39 %.

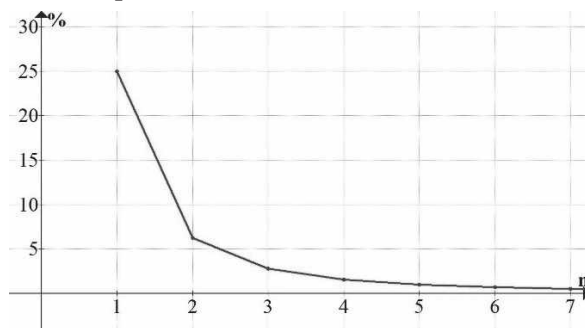


Рисунок 1 – Зависимость величины неиспользуемой энергии от количества коммутируемых ионисторов

Для оценки величины неиспользованной энергии предлагается следующее, выведенное на основе известных физических закономерностей, выражение.

$$W_{\text{исп}}(n) = \sum_{x=1}^n \left(U_{\min} \frac{2^{d-n} C}{2^n} (2U_{\min} - U_{\min}) \right) = \frac{2^{d-n} C U_{\min}^2}{2^n}, \quad (8)$$

где $W_{\text{исп}}(n)$ – использованная нагрузкой энергия массива ионисторов после n переключений, Дж; 2^d – количество ионисторов в блоке $d \geq 0$; n – количество переключений массива ионисторов $0 < n \leq d$.

С целью повышения эффективности использования энергии предлагается использовать ключевое устройство на основе полупроводникового триода. Триод, переключаясь с высокой частотой между открытым и закрытым состоянием с рассчитанной длительностью, обеспечивает поддержание номинального выходного напряжения. Продолжительность открытого состояния триода (период T_1) является фиксированным. На протяжении этого периода напряжение на ионисторах будет уменьшаться по закону:

$$U = U_0 e^{\frac{-T_1}{RC}}. \quad (9)$$

В то же время длительность закрытого состояния (T_2) зависит от среднего напряжения на обкладках ионисторов. Изменение напряжения на обкладках ионисторов в таком случае будет происходить в соответствии с зависимостью:

$$U_{\text{cp}} = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} U_0 e^{\frac{-t}{RC}} dt = \frac{CRU_0 - CRU_0 e^{\frac{-T_1}{RC}}}{T_1} = \frac{CRU_0 \left(1 - e^{\frac{-T_1}{RC}}\right)}{T_1}. \quad (10)$$

Продолжительность этого периода может быть найдена из соотношения:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{U_{\text{cp}}}{U_{\text{ном}}} - 1 \right). \quad (11)$$

Среднее напряжение в открытом состоянии триода и продолжительность его закрытого состояния по мере разряда ионистора сокращаются. Доказано, что с применением динамической коммутации ионисторов полезно расходуемая энергия увеличивается втрое.

Высокие значения токов саморазряда ионисторов предлагается компенсировать рассеянной электромагнитной энергией промышленного происхождения [8]. Для примерной оценки сочетаемости энергетических показателей процессов преобразования электромагнитной энергии и саморазряда приведем следующие рассуждения

Из классической теории поля известно соотношение:

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi, \quad (12)$$

где E – напряженность электрического поля, в/м; H – напряженность магнитного поля, А/м; μ_0 – магнитная постоянная, Гн/м; ϵ_0 – электрическая постоянная, Ф/м.

Из выражения (12) найдем величину H :

$$H = \frac{E}{120\pi}. \quad (13)$$

С другой стороны, известна формула, позволяющая вычислять плотность потока мощности, Вт/м²:

$$\Pi = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} = \frac{1}{2} EH, \quad (14)$$

где G_t – коэффициент усиления передающей антенны; P_t – мощность, подаваемая в передающую антенну, Вт; d – расстояние от антенны до точки, в которой производится расчет поля, м.

Подставив в выражение (14) напряженность магнитного поля из соотношения (13), получим:

$$\Pi = \frac{1}{2} E \frac{E}{120\pi} = \frac{E^2}{240\pi}. \quad (15)$$

Из выражения (15) определим напряженность электрического поля:

$$E = \sqrt{240\pi\Pi} = \sqrt{\frac{P_t G_t}{4\pi d^2} 240\pi} = \frac{\sqrt{60 P_t G_t}}{d}. \quad (16)$$

Располагая выражением (16), легко найти мощность электрического воздействия, наведенного в приемной антенне:

$$P_t = \frac{E^2 d^2}{60 G_t}. \quad (17)$$

Известная формула Фрииса [6] позволяет найти мощность, которую необходимо подвести к передающей антенне для реализации надежной связи с учетом длины волны λ , м:

$$P_t = \frac{P_r (4\pi)^2 d^2}{G_t G_r \lambda^2}, \quad (18)$$

где G_r – коэффициент усиления приемной антенны.

Из формулы (18) выразим величину P_r и воспользуемся ранее сформированным соотношением (17):

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} = \frac{E^2 d^2}{60 G_t} \times \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} = \frac{E^2 \lambda^2 G_r}{960\pi^2}. \quad (19)$$

Поделив мощность электрического воздействия, наведенного в приемной антенне, на напряжение заряда ионистора, найдем величину максимального зарядного тока, который может быть обеспечен преобразованием рассеянной электромагнитной энергии промышленного происхождения:

$$I = \frac{\lambda^2}{\pi^2} \times \frac{E^2 G_r}{U 960} \quad (20)$$

В то же время мгновенный ток саморазряда ионистора можно рассчитать в соответствии с выражением:

$$i = \frac{U_0}{R_l} e^{\frac{-t}{CR_l}} \quad (21)$$

где U_0 – начальное напряжение ионистора, В; R_l – внутреннее сопротивление ионистора, Ом; t – текущее время, с; C – емкость ионистора, Ф; Сопоставляя значения токов, найденных по выражениям (20) и (21), можно оценить возможность компенсации саморазряда в каждый момент времени. Нетрудно заметить, что по мере саморазряда ионистора разрядный ток будет уменьшаться, в то время как на величину этого тока решающее значение оказывает емкость накопителя.

У большинства отечественных ионисторов емкостью 2 Ф и номинальным напряжением 2,5 В ток саморазряда составляет величину 1 мкА [1].

Пользуясь формулой (20), найдем ток, способный обеспечить преобразование рассеянной электромагнитной энергии напряженностью 8 В/м [7] на частоте 2,4 ГГц. Допуская круговую диаграмму направленности приемной антенны ($G_r = 1$), приходим к значению $I = 38$ мкА, что значительно превышает ток саморазряда.

Для примера по использованию дистанционного контроля влажности почвы при выращивании растений капусты на площади 1 га получены следующие технические параметры системы: потери напора за счет использования гидромеханических преобразователей при их параллельном соединении – 16 мкм, энергия, подлежащая аккумулярованию – 0,06 Вт·ч (216 Дж), ионисторы с суммарной емкостью 60 Ф с током саморазряда 30 мкА и требуемая напряженность электрического поля для компенсации тока саморазряда – 18 В/м.

Для снижения энергоемкости управляющей системы предлагается новый принцип построения связи, заключающийся в ступенчатой передаче информации на пути ее следования от датчиков к серверу. При этом каждое измерительно-преобразующее устройство помимо передачи информации от подключенного к нему датчика способно ретранслировать сигналы от аналогичных соседних устройств. На рисунке 2а показаны прямая «А» и ступенчатая «В»

траектории передачи информации, а на рисунке 2б проиллюстрировано снижение требуемой мощности на передачу данных при увеличении количества ступеней [5]. Оценка затрачиваемой мощности при ступенчатой передаче информации может быть произведена по следующей формуле:

$$P_t = \sum_{i=1}^n \frac{P_r (4\pi)^2 b_i^2}{G_t G_r \lambda^2}, \quad (22)$$

где P_t – резерв мощности передающей антенны, Вт; i – номер участка цепи; b_i – длина i -го участка, м; n – количество участков; P_r – минимально допустимая электрическая мощность сигнала, наводимого в приемной антенне, Вт; G_r и G_t – коэффициенты усиления приемной и передающей антенн соответственно; λ – длина волны, м.

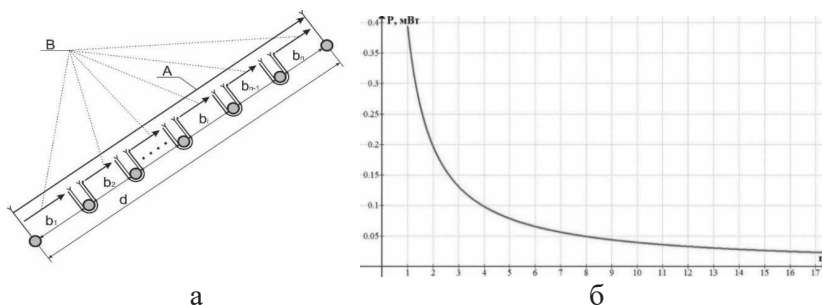


Рисунок 2 – Траектории прохождения радиосигнала при различных способах организации связи и Зависимость излучаемой мощности антенной передатчика от количества участков связи

При использовании микроконтроллера «Nordic Semiconductor» nrf52832 энергопотребление измерительно-передающих устройств при ступенчатой передаче информации может быть уменьшено более чем на два порядка. Это становится возможным при расстоянии между соседними измерительно-передающими устройствами, не превышающим пяти метров. При этом базовая дальность связи может составлять 300 метров.

Таким образом, использование передовых электронных технологий в сочетании с предложенными принципами автономного питания беспроводных устройств связи позволяет существенно повысить сбережение водных и энергетических ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гриц В. И., Дубовой Т. В., Шестаков И. Я. Ионисторы // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2015. С. 240–241.
2. Кравчук А. В., Завадский И. С. Нормы для сои саратовского завожья // Научный журнал КубГАУ № 26(2). 2007. 6 с.
3. Лихолетова М. В., Устюгов В. А. Технический обзор микросхемы приемопередатчика nrf24l01+ // ООО Издательский дом «Сциентиа», 2016. № 6. С. 4–5.
4. Пат. 147360 U1 Российская Федерация МПК G01F1/075 (2006.01). Устройство для измерения количества потребленной жидкости / Андреев С. А., Судник Ю. А., Матвеев А. И. ; № 2014116863/28 ; заявл. 28.04.2014 ; опубл. 10.11.2014.
5. Пат. 189080 U1 Российская Федерация МПК G01N 25/56 (2006.01). Беспроводное устройство для контроля влажности почвы / Андреев С. А., Матвеев А. И. Судник Ю. А., Анашин Д. В. ; № 2019103316 ; заявл. 06.02.2019 ; опубл. 13.05.2019, Бюл. № 14.
6. Семенишен А. А. Организация радиосети с использованием БПЛА // Достижения науки и образования. 2017. С. 19–21.
7. Сидоров А. И., Таваров С. Ш. Построение карты напряженности электрического поля с учетом рельефа местности и температуры воздуха // Вестник ЮУрГУ. Серия : Энергетика, 2013. Т. 13. № 1. С. 52–55.
8. Ходенков А. А. Исследование возможности использования радио- и свч-диапазонов как альтернативных источников энергии // Решетневские чтения, Красноярск : 2011. С. 194–196.

REFERENCES

1. Gric V. I., Dubovoj T. V., Shestakov I. YA. Ionistory // Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki. 2015. pp. 240–241.
2. Kravchuk A. V., Zavadskij I. S. Normy dlya soi saratovskogo zavozh'ya // Nauchnyj zhurnal KubGAU № 26(2). 2007. 6 p.
3. Liholetova M. V., Ustyugov V. A. Tekhnicheskij obzor mikroshemy priemoperedatchika nrf24l01+ // ООО Izdatel'skij dom «Scientia», 2016. № 6. pp. 4–5.
4. Pat. 147360 U1 Rossijskaya Federaciya MPK G01F1/075 (2006.01). Ustrojstvo dlya izmereniya kolichestva potreblennoj zhidkosti

/ Andreev S. A., Sudnik YU. A., Matveev A. I. ; № 2014116863/28 ; zayavl. 28.04.2014 ; opubl. 10.11.2014.

5. Pat. 189080 U1 Rossijskaya Federaciya MPK G01N 25/56 (2006.01). Besprovodnoe ustrojstvo dlya kontrolya vlazhnosti poch-vy / Andreev S. A., Matveev A. I. Sudnik YU. A., Anashin D. V. ; № 2019103316 ; zayavl. 06.02.2019 ; opubl. 13.05.2019, Byul. № 14.

6. **Semenishen A. A.** Organizaciya radioseti s ispol'zovani-em BPLA // Dostizheniya nauki i obrazovaniya. 2017. pp. 19–21.

7. **Sidorov A. I., Tavarov S. Sh.** Postroenie karty naprya-zhennosti elektricheskogo polya s uchetom rel'efa mestnosti i tem-peratury vozduha // Vestnik YUUrGU. Seriya : Energetika, 2013. T. 13. № 1. pp. 52–55.

8. **Hodenkov A. A.** Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya radio- i svch-diapazonov kak al'ternativnyh istochnikov energii // Reshetnevskie chteniya, Krasnoyarsk : 2011. pp. 194–196.

***Андреев Сергей Андреевич**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Автоматизация и роботизация технологических процессов имени академика И. Ф. Бородин»*

Тел. 8-906-783-71-60

E-mail: asa-finance@yandex.ru

***Матвеев Андрис Илмарович**, инженер*

Тел. 8-964-628-54-88

E-mail: anddris@bk.ru

УДК 631.053

А. А. НОВИКОВ, аспирант

И. Г. ЕРШОВА, канд. техн. наук, научный сотрудник

А. Н. ВАСИЛЬЕВ, доктор техн. наук, профессор, руководитель
научного направления

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Российская
Федерация, г. Москва

A. A. NOVIKOV, *Postgraduate*

I. G. ERSHOVA, *Ph. D. of Engineering Sciences, Research Officer*

A. N. VASILJEV, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor,
Scientific Adviser*

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroen-
gineering Center VIM", Russian Federation, Moscow

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ ПРИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

ELECTROPHYSICAL EFFECT ON THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SOLUTIONS USING AN EXPERIMENTAL INSTALLATION

Аннотация. Для оценки исходных требований к раствору – теплоносителю в экспериментальной установке для получения энергии фазового перехода вода-лед и при ее проектировании необходимы экспериментальные исследования по теплофизическим параметрам растворов. Цель исследования – экспериментально определить теплофизические параметры растворов при электрофизическом воздействии для его применения в установке. Выявили, что при воздействии электромагнитного поля сверхвысокой частоты на раствор хлорида натрия концентрацией 20 % температура его замерзания понижается с $-16,6$ до $-18,5$ °C, pH и концентрация соли повышается. Выявили, что при электрогидравлическом воздействии на раствор концентрацией 20 % происходит понижение температуры замерзания до -19 °C. Проведенные эксперименталь-

ные исследования теплофизических параметров растворов позволили подобрать в качестве теплоносителя солевой раствор хлорида натрия концентрацией 20 %.

Ключевые слова: солевой раствор, теплоноситель, электрофизическое воздействие, электромагнитное поле сверхвысокой частоты, электрогидравлическое воздействие.

Abstract. To assess the initial requirements for the solution - the coolant in the experimental setup for obtaining the energy of the water-ice phase transition and during its design, experimental studies on the thermophysical parameters of the solutions are necessary. The purpose of the study is to experimentally determine the thermophysical parameters of solutions under electrophysical exposure for its use in the installation. It was found that when an ultrahigh-frequency electromagnetic field affects a sodium chloride solution with a concentration of 20 %, its freezing temperature decreases from -16.6 to -18.5 °C, pH and salt concentration increase. It was found that with electro-hydraulic action on a solution with a concentration of 20 %, the freezing temperature decreases to -19 °C. The experimental studies of the thermophysical parameters of the solutions made it possible to choose a saline solution of sodium chloride with a concentration of 20 % as a heat carrier.

Keywords: saline solution, coolant, electrophysical effects, microwave electromagnetic field, electro-hydraulic effects.

Теплофизические свойства воды и водных растворов могут меняться при внешних электрофизических воздействиях, например, при воздействии электрического и магнитного поля [1, 2].

Для получения энергии фазового перехода вода – лед разработана экспериментальная установка [3, 4].

Цель исследования – экспериментально определить теплофизические свойства растворов при воздействии электромагнитным полем сверхвысокой частоты и электрогидравлическим воздействием для его применения в разработанной экспериментальной установке.

Материалы и методы. В качестве теплоносителя применяли водопроводную воду и солевой раствор хлорида натрия концентрацией 1...23,1 %. Измерили теплофизические свойства растворов – температуру замерзания, pH и концентрацию солевого раствора, для

выбора теплоносителя для получения энергии для отопления здания сельскохозяйственного объекта площадью 100 м². Применяли электрофизическое воздействие на растворы – воздействие электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) и электрогидравлическое (ЭГ) воздействие.

Источником ЭМП СВЧ служила микроволновая печь *Mystery MMW-2315G* мощностью 800 Вт, с частотой магнетрона 2450 МГц [7, 9]. Продолжительность обработки составляла 30; 60 и 120 с. Концентрация раствора – 1 %, 5; 10; 15 и 20 %, объем 50 мл (высота жидкости 3 см, диаметр стакана – 4 см).

При обработке электрогидравлическим (ЭГ) – воздействием применяли следующие параметры: напряженность 35 кВ, электрическая емкость 0,2 мкФ, расстояние воздушного зазора 10 мм, между электродами 10 мм, форма электродов «острие-плоскость», 1000 разрядов, раствор объемом 2,5 л при 20 °С.

Температуру замерзания определяли с помощью рефрактометра, а pH и концентрацию растворов определяли с помощью кондуктометра.

Использовали методику трехфакторного активного планирования эксперимента типа 2³ и программу *Statistic V5.0* [5].

Результаты и обсуждение. При воздействии ЭМП СВЧ на водопроводную воду и раствор с концентрацией от 1 до 15 % температура замерзания не изменилась (рисунок 1).

При концентрации 20 % температура замерзания раствора снижается с –16,6 до –18,5 °С.

При воздействии ЭМП СВЧ pH раствора увеличивается. Особенно это заметно в варианте с концентрацией 5 % – с 5,7 до 6,5. В случае 20 %-го раствора этот показатель увеличился с 6,2 до 6,4.

Концентрация соли в водопроводной воде при обработке ЭМП СВЧ увеличилась с 263 до 306 мг/л.

Составили матрицу планирования эксперимента по оптимизации режимов регулирования электрофизического воздействия на солевой раствор. Пользуясь методикой трехфакторного активного планирования эксперимента типа 2³ и программой «Statistic V5.0» [5] построены следующие поверхности откликов и их двумерные сечения в изолиниях: температуры замерзания, кислотности солевого раствора (рисунок 2, 3).

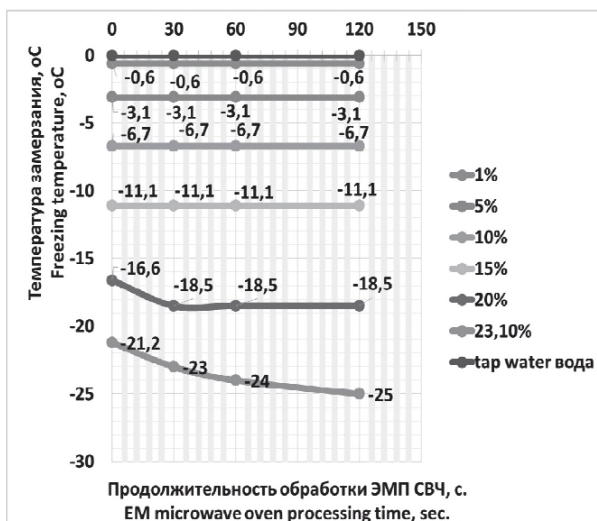


Рисунок 1 – Зависимость температуры заморозания воды и раствора от продолжительности обработки ЭМП СВЧ

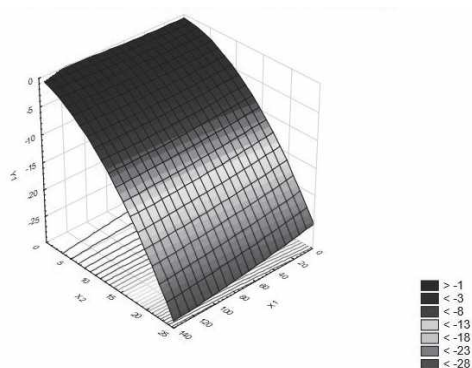


Рисунок 2 – Двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели температуры заморозания раствора в зависимости от продолжительности обработки ЭМП СВЧ и концентрации раствора: Y_1 – температура заморозания, t_3 , °C, x_2 – концентрация раствора, %, x_1 – продолжительность обработки ЭМП СВЧ, с

Эмпирическое выражение модели температуры замерзания раствора в зависимости от продолжительности обработки ЭМП СВЧ и концентрации раствора будет иметь вид:

$$T_3 = -0,6693 - 0,0018\tau - 0,1037c + 6,5789 \times 10^{-5}\tau^2 - 0,0013\tau c - 0,0353c^2 \quad (1)$$

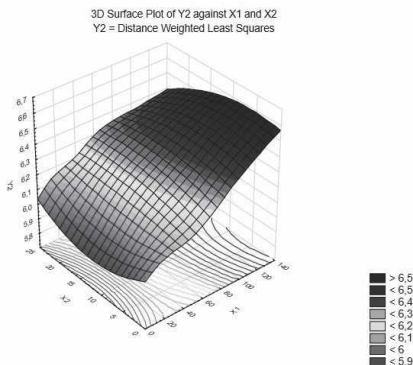


Рисунок 3 – Двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели кислотности раствора в зависимости от продолжительности обработки ЭМП СВЧ и концентрации раствора Y₂, pH – кислотность, x₂ – концентрация раствора, %, x₁ – продолжительность обработки ЭМП СВЧ, с

Обработку электрогидравлическим воздействием теплоносителя в разработанном теплообменнике также производили с целью понижения температуры замерзания солевого раствора [10, 11, 12].

При обработке электрогидравлическим (ЭГ)-воздействием (напряженность 35 кВ, 46 кВ, электрическая емкость 0,2 мкФ, расстояние воздушного зазора 10 мм, между электродами 10 мм, форма электродов «острие-плоскость», 1000 разрядов) водопроводной воды и 23,1 % раствора объемами 2,5 л при 20 °С температура замерзания не изменилась. При воздействии на 20 % раствор наблюдается понижение температуры замерзания с –16,6 до –19 °С (количество разрядов 120, 350, 500, 750, 1000) [6].

При обработке ЭГ-воздействием (напряженность 45 кВ, электрическая емкость 0,2 мкФ, расстояние воздушного зазора 10 мм, между электродами 10мм, форма электродов «острие-плоскость», 1000 разрядов) водородный показатель (pH) 20 %-го раствора уве-

личился с 6,2 до 7,8, а рН 23,1 %-го раствора увеличился с 6 до 7,2.

При обработке ЭГ-воздействием (напряженность 35 кВ, электрическая емкость 0,2 мкФ, расстояние воздушного зазора 10 мм, между электродами 10 мм, форма электродов «острие-плоскость», 1000 разрядов) рН водопроводной воды увеличился с 7,3 до 7,7.

Определение изменения концентрации соли в водопроводной воде при обработке ЭГ-воздействием (напряженность 35 кВ, электрическая емкость 0,2 мкФ, расстояние воздушного зазора 10мм, между электродами 10мм, форма электродов «острие-плоскость», 1000 разрядов). Концентрация соли увеличилась с 0,263 до 0,275 мг/л.

Обработка ЭГ-воздействием (напряженность 45 кВ, электрическая емкость 0,2 мкФ, расстояние воздушного зазора 10 мм, между электродами 10мм, форма электродов «острие-плоскость», 1000 разрядов). Концентрация соли 20 %-го раствора уменьшилась с 0,710 до 0,611 мг/л, а 23,1 %-го раствора уменьшилась с 0,721 до 0,650 мг/л.

Составлена матрица планирования эксперимента по оптимизации режимов регулирования ЭГ-воздействия на солевой раствор. Пользуясь методикой трехфакторного активного планирования эксперимента типа 2^3 и программой «Statistic V5.0» [5] построены следующие поверхности откликов и их двумерные сечения в изолиниях: температуры замерзания, кислотности солевого раствора (рисунок 4, 5).

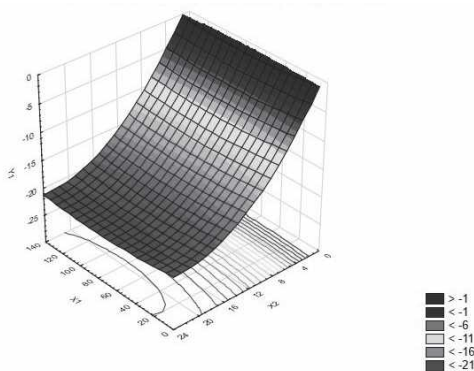


Рисунок 4 – Двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели температуры замерзания в зависимости от количества разрядов (ЭГ удара) и концентрации раствора: Y_1 – температура замерзания, °С, x_1 – раствора количество разрядов ЭГ удара, x_2 – концентрация раствора, %

Эмпирическое выражение модели температуры замерзания раствора в зависимости от количества разрядов (ЭГ удара) и концентрации раствора:

$$t_3 = 2,4317 - 0,0236n - 1,9994c + 0,0002n^2 - 0,0002nc + 0,0435c^2 \quad (3)$$

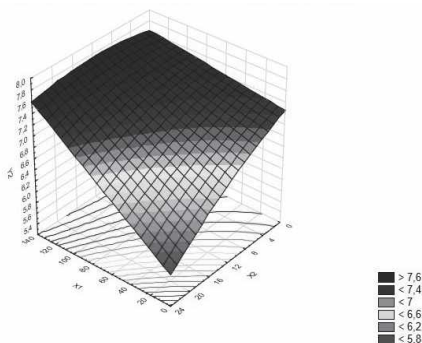


Рисунок 5 – Двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели кислотности раствора в зависимости от количества разрядов (ЭГ удара) и концентрации раствора: $Y_2 - pH$, x_1 – количество разрядов ЭГ удара, x_2 – концентрация раствора, %

Эмпирическое выражение модели кислотности раствора в зависимости от количества разрядов (ЭГ удара) и концентрации раствора:

$$pH = 7,2486 + 0,0028n - 0,0391c - 3,0053 \times 10^{-18}c^2 + 0,0004nc - 0,0009c^2 \quad (4)$$

В разработанном теплообменнике для получения энергии фазового перехода вода-лед предусмотрим в качестве теплоносителя солевой раствор хлорида натрия концентрацией 20 %, температура замерзания которого составляет $-16,6$ °С. Предусмотрим дополнительный бак для электрофизической обработки раствора. При воздействии на 20 % раствор наблюдается понижение температуры замерзания с $-16,6$ до -19 °С, что позволит получить необходимое количество тепловой энергии при фазовом переходе вода-лед.

Выводы. Обработка электрофизическим воздействием в разработанной установке понижает температуру замерзания теплоносителя, что подтверждено экспериментально. При этом необходимо оценить эффективность оценки качества сельскохозяйственной тех-

ники и запасных частей [8].

При воздействии ЭМП СВЧ (частота магнетрона 2450 МГц, номинальная мощность – 800 Вт, продолжительность 120 с) на раствор хлорида натрия концентрацией 20 % наблюдается понижение температуры замерзания раствора с $-16,6$ до $-18,5$ °С, для эвтектического раствора концентрацией 23,1 % температура замерзания падает с $-21,2$ до -25 °С. При воздействии ЭМП СВЧ на водопроводную воду температура замерзания не изменилась.

Наиболее заметное изменение (а именно – увеличение) рН соответствует раствору с концентрацией 5% – с 5,7 до 6,5. Концентрация соли отчетливо повысилась в водопроводной воде – с 0,263 до 0,306 мг/л.

При обработке ЭГ-воздействием (напряженность 35 кВ, электрическая емкость 0,2 мкФ, расстояние воздушного зазора 10 мм, между электродами 10 мм, форма электродов «острие-плоскость», 1000 разрядов) водопроводной воды объемом 2,5 л при 20 °С температура замерзания не изменилась (0 °С). При воздействии на 20 % раствор наблюдается понижение температуры замерзания с $-16,6$ до -19 °С. При обработке ЭГ-воздействием (напряженность 45 кВ) рН 20 %-го раствора увеличился с 6,2 до 7,8, а рН 23,1 %-го раствора увеличился с 6 до 7,2.

При обработке ЭГ-воздействием (напряженность 35 кВ) рН водопроводной воды увеличился с 7,3 до 7,7.

При обработке ЭГ-воздействием (напряженность 45 кВ) концентрация соли 20 %-го раствора уменьшилась с 0,710 до 0,611 мг/л, а 23,1 %-го раствора – с 0,721 до 0,650 мг/л.

Для отопления объекта площадью 100 м² требуется мощность 12,76 кВт. Объем выработки льда теплообменника с использованием энергии фазового перехода вода-лед составит 150,1 л льда / ч.

То есть в теплообменнике применяют антифриз (солевой раствор), обработанный электрофизическим воздействием – ЭМП СВЧ. Для раствора концентрацией 20 % происходит понижение температуры замерзания с $-16,6$ до $-8,5$ °С.

Дальнейшие исследования процесса образования льда в экспериментальной установке позволят выявить теплоноситель, при использовании которого установка позволит получить необходимое количество энергии для отопления сельскохозяйственного объекта площадью 100 м².

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Чубик И. А., Маслов А. М.** Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов 2-е изд., доп. М. : Пищевая промышленность, 1970. 184 с.
2. **Dykstra С. Е.** External electric field effects on the water trimer. *Chemical Physics Letters*. 1999. Vol. 299 Issue 2. 132–136.
3. **Васильева И. Г.** Инновационная энергосберегающая установка // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. 2011. № 4 (72). Ч. 1. С. 7–12.
4. **Ершова И. Г., Поручиков Д. В., Тихомиров Д. А., Трунов С. С., Косолапов В. В.** Расчет конструктивных параметров теплообменника установки для обогрева сельскохозяйственных объектов // Вестник НГИЭИ. 2019. № 2 (93). С. 19–36.
5. **Спирин Н. А., Лавров В. В.** Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Екатеринбург: Уральский государственный технический университет УПИ. 2004. 357 с.
6. **Белов А. А.** Моделирование оценки факторов влияния на процесс электрогидравлической обработки воды // Вестник НГИЭИ, 2018. № 11. С. 103–112.
7. **Родионова А. В., Боровков М. С., Ершов М. А.** Обоснование выбранной частоты электромагнитных излучений при физио-профилактике крольчат // Нива Поволжья. 2012. № 1(22). С. 108–110.
8. **Дорохов А. С.** Эффективность оценки качества сельскохозяйственной техники и запасных частей // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина. 2015. № 1 (65). С. 31–35.
9. **Луканин В. Н.** Теплотехника: Учеб. для вузов / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров и др. 5-е изд., стер. М. : Высшая школа. 2006. 671 с.
10. **Мельниченко Н. А., Стунжас П. А.** О процессах замерзания морской воды по данным лабораторных измерений методом ядерного магнитного резонанса // Океанология. М. : Российская академия наук. 2014. № 6. Том 54. С. 754.
11. **Obatake O. M.** The hydration energy as a key factor determining the stability of different molecular conformations // *Proc. Natul. Acad. Sci. USA*. 1987. Vol. 84. pp. 3086–3097.

12. **Мыкоц Л. П., Савельева Т. А., Бондарь С. Н., Сысоева Т. Н., Компанцев Д. В.** Изучение поверхностно-активных свойств водных растворов высокомолекулярных соединений // Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции : сборник научных трудов. Пятигорск : Пятигорская государственная фармацевтическая академия. 2007. С. 190–192.

REFERENCES

1. **Chubik I. A., Maslov A. M.** Reference on the thermophysical characteristics of food products and semi-finished products 2nd ed., Ext. Moscow : Food. industry, 1970. 184 p.

2. **Dykstra C. E.** External electric field effects on the water trimer. Chemical Physics Letters. 1999. Vol. 299 Issue 2. pp. 132–136.

3. **Vasilieva I. G.** Innovative energy-saving installation // Bulletin of the Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovleva. 2011. No 4 (72). Part 1. pp. 7–12.

4. **Ershova I. G., Poruchikov D. V., Tikhomirov D. A., Trunov S. S., Kosolapov V. V.** Calculation of the design parameters of the heat exchanger of an installation for heating agricultural facilities // Vestnik NGIEI. 2019. No 2 (93). pp. 19–36.

5. **Spirin N. A., Lavrov V. V.** Methods of planning and processing the results of an engineering experiment. Ekaterinburg : Ural State Technical University UPI. 2004. 357 p.

6. **Belov A. A.** Modeling the assessment of factors of influence on the process of electro-hydraulic water treatment // Vestnik NGII, 2018. No. 11. pp. 103–112.

7. **Rodionova A. V., Borovkov M. S., Ershov M. A.** The rationale for the selected frequency of electromagnetic radiation during physiological prophylaxis of rabbits // NIVA Volga. 2012. No. 1 (22). P. 108–110.

8. **Dorokhov A. S.** The effectiveness of assessing the quality of agricultural machinery and spare parts // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkina. 2015. No. 1 (65). pp. 31–35.

9. Lukanin V. N. Heat engineering: Textbook. for universities / V. N. Lukanin, M. G. Shatrov et al. - 5th ed. M. : Higher school. 2006. 671 p.

10. **Melnichenko N. A., Stunzhas P. A.** About the processes of

freezing sea water according to laboratory measurements by the method of nuclear magnetic resonance // Oceanology. M. : Russian Academy of Sciences. No. 6. Volume 54. 2014. pp. 754.

11. **Obatake O. M.** The hydration energy as a key factor determining the stability of different molecular conformations // Proc. Natul. Acad. Sci. USA 1987. Vol. 84. pp. 3086–3097.

12. **Mykots L. P., Savelyeva T. A., Bondar S. N., Sysoeva T. N., Kompantsev D. V.** The study of the surface-active properties of aqueous solutions of macromolecular compounds // Development, research and marketing of new pharmaceutical products: collection of scientific papers. Pyatigorsk: Pyatigorsk State Pharmaceutical Academy. 2007. pp. 190–192.

***Новиков Андрей Александрович**, аспирант*

***Ершова Ирина Георгиевна**, канд. техн. наук, научный сотрудник*
Тел. 8-919-653-88-18

E-mail: eig85@yandex.ru

***Васильев Алексей Николаевич**, доктор техн. наук,
руководитель научного направления*

В. Р. КРАУСП, доктор техн. наук, профессор, главный специалист
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Российская
Федерация, г. Москва

V. R. KRAUSP, *Advanced Doctor in Engineering Sciences,*
Professor, Chief Specialist
Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", Russian Federation, Moscow

ПРОЕКТ ЭКО-1ВК ЭЛЕКТРОРОБОТИЗАЦИИ АПК ДЛЯ ВЫПУСКА ПРОДОВОЛЬСТВИЯ ОРГАНИК

ECO-1VK PROJECT OF ELECTRO-ROBOTIZATION OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX FOR THE PRODUCTION OF ORGANIC FOOD

***Аннотация.** Электророботизация технологий АПК – это автоматизация и роботизация животноводства, кормопроизводства и транспортных погрузочно-разгрузочных операций с использованием электрифицированных железных дорог, по которым движутся роботы. От плана ГОЭЛРО электрификации и восстановления народного хозяйства России, разработанного В. И. Лениным и Г. М. Кржижановским, и до проекта ЭКО-1ВК (Электророботизированные комбинаты органик 1-й модификации Валентина Краусп), прошло без малого 100 лет. Это период научного творчества академиков РАСХН И. А. Будзко, в области электроснабжения, и И. Ф. Бородин, в автоматизации сельскохозяйственного производства, и последователя их научных дел доктора техн. наук В. Р. Крауспа, создавшего проект ЭКО-1ВК. В проекте разработаны и представлены электророботизированные технологические объекты: конвейерные технологии от поля до ячеистого хранилища кормов; цеха животноводства, кормопроизводства, переработки молока и мяса в продовольствие органик в полном цикле «поле-магазин». В проекте главную роль играют электророботизация, интеллектуализация производства продовольствия органик, переработка органических*

отходов в удобрение. Этому посвящены тезисы автора, главного конструктора проекта ЭКО-IVK, и его молодежной научной школы. Четыре бакалавра из РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, в своих выпускных работах разработали электророботы: доставки воды на фермы, раздачи кормов, скотовоз, ячеистое хранилище и получили патенты на изобретения.

Ключевые слова: электророботизация, патент, комбинат органик, продовольствие, электрифицированная железная дорога, агрогород, миниТЭС, генплан, линия электропередачи.

Annotation. *Electro-robotization of agricultural technologies is the automation and robotization of animal husbandry, feed production and transport loading and unloading operations using electrified railways along which robots move. Almost 100 years have passed from the GOELRO electrification and restoration of the national economy of Russia, developed by V. I. Lenin and G. M. Krzhizhanovsky, and to the ECO-IVK project (Organobotorized organic plants of the first modification Valentin Krausp). This is the period of the scientific work of the academicians of the Russian Academy of Agricultural Sciences I. A. Budzko, in the field of power supply, and I. F. Borodin, in the automation of agricultural production, and the follower of their scientific affairs, Doctor of Technical Sciences V. R. Krausp, who created the ECO-IVK project. The project developed and presented electro-robotic technological objects: conveyor technologies from the field to the cellular feed storage; organic breeding workshops, feed production, processing of milk and meat into organic food in the full cycle "field-store". The main role in the project is played by electro-robotization, intellectualization of the organic food, production and processing of organic waste into fertilizer. The theses of the author, the chief designer of the project ECO-IVK, and his youth scientific school are devoted to this. Four bachelors from the Russian State Agricultural University Timiryazeva, in his graduation work, developed electric robots: delivering water to farms, distributing feed, cattle truck, mesh storage and received patents for inventions.*

Keywords: *Electorobotization, patent, organic plant, food, electrified railway, agro-city, mini-TPP, general plan, power line.*

План ГОЭЛРО восстановления и развития народного хозяйства Советских республик, был рассчитан на выполнение за 10–15

лет. Разработан в 1920 году по заданию и под руководством В. И. Ленина и Г. М. Кржижановского. Предусматривал коренную реконструкцию народного хозяйства на базе электрификации. Сооружено 30 районных электростанций, 10 ГЭС, общей мощностью 1,75 МВт. Разработано электроосвещение деревень, рабочих поселков, электрифицированы заводы и фабрики. Для сельского хозяйства разработан вариант электроплуга. В селе Кашино В. И. Ленин участвовал в испытаниях электроплуга. Был организован Электрозем. По заказу «Союзсельэлектро» в 1931–1932 годах изготовлены 7 электропахотных агрегатов канатной тяги: напряжение 6000/400В, мощность двигателей 90 кВт. С 1932 по 1937 годы электроагрегатами канатной тяги выполнена работа в объеме 12 тыс. га. Под руководством академика ВАСХНИЛ И. А. Будзко, создавались линии электропередачи, питающие подстанции, разрабатывались системы автоматизации. К 105-летию со дня рождения И. А. Будзко, автор показал [1], что его наследие также состоит в воспитании молодых ученых на прорывных технологиях АПК. Академик РАСХН И. Ф. Бородин много лет воспитывал молодых ученых в области электрификации и автоматизации сельского хозяйства [2], исследовал электрические воздействия на сельскохозяйственную продукцию.

Военно-промышленная комиссия РФ, Совет Федерации РФ, Минпромторг РФ организовали форум «Технологического лидерства России, на котором Краусп В. Р., по приглашению организаторов форума, сделал доклад: «Индустриализация и электророботизация АПК для производства продовольствия органик в полном цикле «поле-магазин» под девизом «Наука производительная сила, земля - кормилица»[11]. Показано, что в России обезлюдели более 150 тыс. деревень, молодежь уехала в города на учебу и не вернулась, работать некому, фермы опустели, пахотные земли заросли сорняками, рождаемость упала, закрываются школы, оставшиеся семьи живут на пенсии, ведут личное подворье. В этих условиях следует строить новую инфраструктуру, создавать новое производство, которое не будет разоряться, а будет всегда нужным. Этому посвящены многолетние исследования автора по созданию дизельных электростанций [3], созданию защит ЛЭП-10кВ [4], цехов послеуборочной обработки зерна и кормов [5–6], по комплексной автоматизации ферм КРС [7], по разработке методов управления проектами [8–10], по созданию агрегатов для получения продовольствия органик [11–12]. С

учетом выполненных исследований и разворот АПК на выпуск экспортной продукции, был разработан перспективный прорывной проект и Государственная его внедрения для центральной полосы России: «Создание и внедрение градообразующих газифицированных и электророботизированных модульных комбинатов производства продовольствия органик на целинных и неиспользуемых пахотных землях АПК в 2014–2025 годах» и Госпрограмма выполнения проекта.

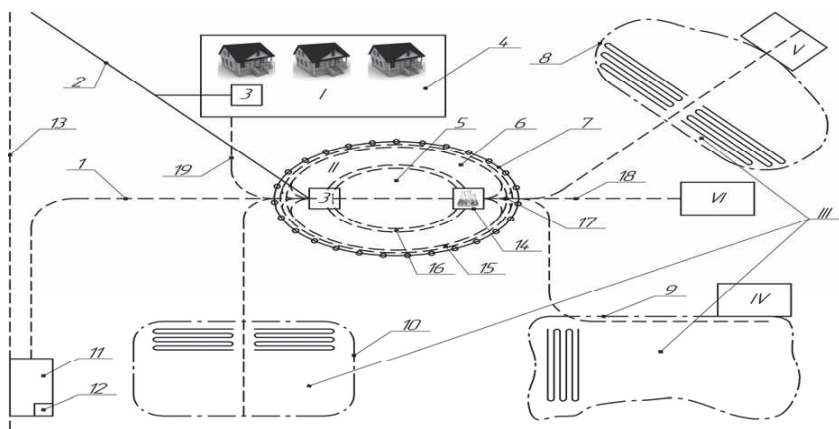


Рисунок 1 – Генеральный план проекта и размещения центральной усадьбы, полей кормового севооборота, агрогорода, электрифицированных железных дорог и переработки органических отходов в удобрение: I – агрогород; II – цех животноводства; III – цех кормопроизводства; IV – цех свиноводства; V – цех птицеводства; VI – цех переработки органических отходов в удобрение: 1 – ЭЖД комбината; 2 – газопроводы; 3 – мини ТЭС; 4 – территория агрогорода; 5 – центральная усадьба; 6 – культурные пастбища; 7 – ограждение комбината; 8, 9, 10 – поля кормопроизводства; 11 – цех готового продовольствия органик; 12 – холодильники; 13 – междугородняя ЭЖД; 14 – кормоцех с хранилищем; 15 – ЭЖД роботов; 16 – ЭЖД передвижных ферм; 17 – развилки ЭЖД; 18 – ЭЖД цеха переработки органических отходов в удобрение, 19 – ЭЖД ветка от комбината к городу

Автор и главный конструктор проекта задает цеховую структуру комбината органик, определяет технические параметры конвейерных технологий, составляет техническое задание (ТЗ) на звенья, агрегаты, технологии, цеха проекта и общее проектное предложение на комбинат, рассчитывает бизнес-план. В выполнении проектно-конструкторских работ по развитию и совершенствованию проекта ЭКО-1ВК, участвуют молодые специалисты конкурсанты программы УМНИК, фонда поддержки малых предприятий в научно-технической сфере. Всего 21 человек. Следующие исполнители пишут статьи и имеют совместные патенты с главным конструктором: Андреева А. В., патент на изобретение № 2576209 от 02.02.2016 года «Электророботизированный скотовоз»; Бочаров А. Г., патент на изобретение № 2572315, от 07.12.15 года «Электророботизированное кормохранилище»; Васильев А. А., патент на изобретение № 265746, от 14.06.2018 года, соавторы Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П. «Автоматизированный рулонный агрегат с обеззараживанием стебельчатых кормов»; Горшков Д. М., патент на изобретение № 2581344, от 23.03.2016 года, «Электроробот – водовоз для заливки воды в баки на фермах»; Хлебосолова А.В., патент на изобретение № 2585043, от 28.04.2016 года, «Система управления роботизированным миксером-кормораздатчиком». Следует отметить, что Хлебосолова А. В. и Краусп В. Р. награждены дипломом в номинации «100 лучших изобретений России – 2016 год, за разработку «Система управления роботизированным миксером – кормораздатчиком» (патент Российской Федерации № 2585043). Группа бакалавров и аспирантов МЭИ, совместно с главным конструктором: Шорин В. Д., получили патент на изобретение № 2637768, от 07.12.2017 года, соавторы Романов Р. Р., Рязов А. А., Шилин Д. В. «Система автоматической сортировки животных по результатам взвешивания и идентификации номера с использованием селекционных ворот для выделения в ветеринарный бокс». Канд. техн. наук Степанов А. Н., получил свидетельство об официальной регистрации базы данных, № 2005620238, «Автоматизированная информационная система управления воспроизводство стада КРС», от 14.07.2005 года. Полученные патенты включены в интеллектуальную систему управления комбинатом органик.

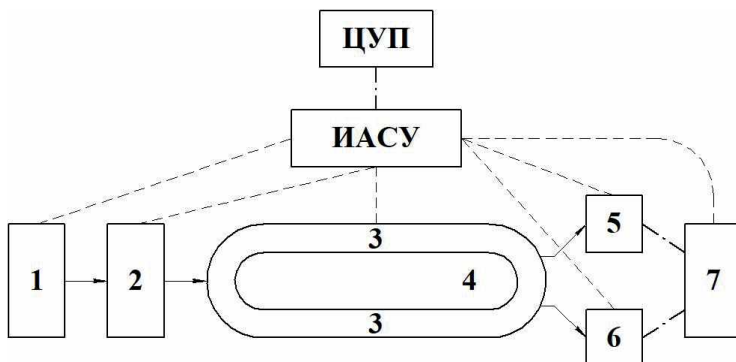


Рисунок 2 – Структура интеллектуальной системы управления комбинатом: 1 – поля кормопроизводства; 2 – кормоцех; 3 – культурные пастбища; 4 – территория центральной усадьбы; 5 – цех переработки молока в продовольствие; 6 – цех забоя и переработки мяса в продовольствие; 7 – цех готового продовольствия; ЦУП – центр управления производством; ИАСУ – интеллектуальная автоматизированная система управления; обозначения: — материальные потоки; ----- информационные связи

Выполненные научные работы и патенты на изобретения показаны сотрудникам заводов оборонной промышленности, которые готовы участвовать в экспортном выполнении проекта ЭКО-1ВК. Оборонные заводы готовы выполнять конструкторские работы по созданию самоходных электрифицированных платформ для производства кормов органик. Ранее было получено согласие Уралвагонзавода на конструкторскую разработку самоходных электроплатформ, при условии их массового серийного производства и государственном финансировании работ.

Так, через проект ЭКО-1ВК, индустриально электророботизируется сельское хозяйство Центральной полосы России, где эффективно культурное пастбищное животноводство. Разрабатывается один типовый проект ЭКО-1ВК и он внедряется во всех центральных областях. Для него дополнительно создается 12 % нового технологического оборудования, агрегатов, систем интеллектуального автоматизированного управления. В остальном, применяются, отечественные серийные надежные газотурбинные ТЭС, ЛЭП 10КВ и

0,8 КВ постоянного тока, 34 км сельских электрифицированных железных дорог (СЭЖД). На существующих электрифицированных самоходных железнодорожных платформах устанавливаются машины для обслуживания животных и создаются фермы с электроизгородями, передвигаемые по культурным пастбищам. На Уралвагонзаводе будут созданы и выпускаться электроплатформы – тягачи на колесном и гусеничном ходу на 200 и 400 кВт, на которые навешиваются сельскохозяйственные орудия пахоты с внесением органических удобрений, посева, обработки посевов, уборки урожая сена в рулоны, силоса в пленочные и пластиковые контейнеры, зерновых кормов с обмолотом и доставкой контейнеров в поточную линию послеуборочной обработки и хранения в ячеистом хранилище с регистрацией прихода и расхода кормов в базе данных. Все трудоемкие и транспортные работы выполняют электророботы, движущиеся по железным дорогам к хранилищам кормов. Приготовление кормов животным будут выполнять роботизированные миксеры-раздатчики, движущиеся по ЭЖД. Транспортировку животных выполняют роботы-скотовозы. Жидкости: молоко, воду, жидкий навоз, жидкие органические удобрения и др., будет транспортировать роботы с цистернами. Управление конвейерными технологиями осуществят из ЦУП (центра управления производством) специалисты-операторы и общая интеллектуальная автоматизированная система (ИАСУ) (рисунок 2). Наука станет производительной силой, а земля накормит народ продовольствием органик. К 2025 году в каждой области по типовому проекту ЭКО-1ВК будет создан один или несколько комбинатов. Типовой модульный проект рассчитан на использование 2500 га пашни, 3000 голов КРС, обслуживаемых 80...100 кибер-специалистов зооветеринаров, инженеров, менеджеров с производительностью труда на выпуск единицы, например, тонны продовольствия органик в 3 раза выше лучших крупнейших компаний АПК России [13].

Заключение. Освещены вопросы развития науки АПК в авторской молодежной научной школе, опубликованные в [1–12]. По этим НИОКР, разработан молодежный инновационный проект ЭКО-ВК, который совместно с организациями ЭЖД, Метро, НИИ оборонной промышленности, космонавтики, включает 12 % новых машин, самоходных платформ и ИАСУ. В 2020 году ФГБНУ ФНАЦ ВИМ совместно с РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, могут

подготовить группу 10–12 человек кибер – бакалавров в возрасте до 25 лет зооветеринаров, инженеров, электроробототехников, управленцев и выполнить проект ЭКО-1ВК с привязкой к местности в Московской области, который будет испытательным полигоном со школой переподготовки кадров. В этом варианте, который будет осуществляться НИИ и заводами оборонной промышленности в экспортном исполнении, курироваться руководителями России, до доведения одного проекта до стадии начала пуска, потребуется 3 года. По традиционному варианту организации работ будет 14–15 лет.

В проекте комплексно решаются проблемы: социальные – создаются агрогорода, обеспечивающие молодежи городскую жизнь, к которой они привыкли; воспитывается новое поколение молодежи: кибер-зоотехники, ветеринары, инженеры, менеджеры; обеспечивается экологическая чистота полей кормопроизводства, животных, которые содержатся в естественных условиях без применения антибиотиков; осуществляется переработка молока и мяса в продовольствие органик. В выполнении работ смогут участвовать оборонные заводы, частично разгруженные от оборонных заказов, и готовые выпускать научную, техническую и машинно-технологическую продукцию в экспортном исполнении [13].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краусп В. Р. Наследие основоположника науки по электрификации и автоматизации сельского хозяйства академика ВАСХНИЛ Игоря Александровича Будко в осуществлении плана ГОЭЛРО и воспитании молодых ученых на прорывных технологиях АПК. Вестник ВИЭСХ, 2016. № 1. С. 3–10.

2. Краусп В. Р. Наследие академика РАСХН И. Ф. Бородина – ученого, ректора, человека. К 85-летию со дня рождения. Труды 9-й Международной конференции ВИЭСХ. Т. 1. 2014. С. 3–6.

3. Андрианов В. Н., Быстрицкий Д. Н., Краусп В. Р. и др. Автоматизация передвижных дизельных электростанций, применяемых в сельском хозяйстве. ЦБТИ НИИ Электропромышленности. М.: 1959. Брошюра. 60 с.

4. Краусп В. Р. Защита сельских высоковольтных сетей от сверхтоков. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Объединенный ученый совет ВИМ,

ВИЭСХ. М. ; 1960. 18 с.

5. Тиц З. Л., Анискин В. И., Баснакьян Г. А., Гладков Н. Г., и др. Машины для послеуборочной поточной обработки семян. Теория и расчет машин, технология и автоматизация процессов. Под редакцией к.т.н. З. Л. Тица. Издательство Машиностроение. М. : 1967. 446 с.

6. **Краусп В. Р.** Автоматизация послеуборочной обработки зерна. М. : Машиностроение, 1975. 277 с.

7. **Краусп В. Р.** Комплексная автоматизация в промышленном животноводстве. М. : Машиностроение, 1980. 2014.

8. **Краусп В. Р.** Научные методы и опыт компьютеризации управления инновационными проектами АПК 2020 года. Молодежная научная школа. Интернет- и Нанотехнологии. М. : Предприятия – автоматы. 2010. 333 с.

9. **Краусп В. Р.** Стратегия автоматизации и информатизации управления сельскохозяйственным производством. Теория. Интернет- и нанотехнологии. Практика. М. : 2008. 395 с.

10. **Краусп В. Р.** Патент на изобретение № 2462853. Интеллектуальная роботизированная агросистема производства продовольствия, опубл. 10.10.2012.

11. **Краусп В. Р.** Индустриализация и электророботизация АПК для производства продовольствия органик в полном цикле «поле-магазин» под девизом «Наука производительная сила, земля-кормилица». Технодоктрина 2014, Сборник докладов. 1-й Всероссийский форум технологического лидерства России, С. 613–615.

12. Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П., Краусп В. Р., Ковалев Д. А. и др. Цифровая электророботизированная технология кормления, содержания, и воспроизводства стада на 3000 голов КРС // Вестник ВНИИМЖ, 2019. № 1. С. 37–44.

13. **Александр Лобыкин.** Агропром разворачивают на экспорт. Консолидация, углубление переделов, развитие новых подотраслей и наращивание экспорта агропродукции – вот новые тренды в российском АПК на ближайшие годы. Ж. Эксперт, специальный доклад, 5–11 ноября 2018. № 45. С. 32–48.

REFERENCES

Krausp V. R. Nasledie osnovopolozhnika nauki po elektrifikacii i

avtomatizacii sel'skogo hozyajstva akademika VASKHNIL Igorya Aleksandrovicha Budzko v osushchestvlenii plana GOELRO i vospitanii molodyh uchenykh na proryvnykh tekhnologiyah APK. Vestnik VIESKH, 2016. № 1. pp. 3–10.

2. **Krausp V. R.** Nasledie akademika RASKHN I. F. Borodina – uchenogo, rektora, cheloveka. K 85-letiyu so dnya rozhdeniya. Trudy 9-j Mezhdunarodnoj konferencii VIESKH. T. 1. 2014. pp. 3–6.

3. Andrianov V. N., Bystrickij D. N., Krausp V. R. i dr. Avtomatizaciya peredvizhnykh dizel'nykh elektrostancij, primenyaemykh v sel'skom hozyajstve. CBTI NII Elektropromyshlenosti. M. : 1959. Broshyura. 60 p.

4. **Krausp V. R.** Zashchita sel'skih vysokovol'tnykh setej ot sverhtokov. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Ob"edinennyj uchenyj sovet VIM, VIESKH. M. ; 1960. 18 p.

5. Tic Z. L., Aniskin V. I., Basnak'yan G. A., Gladkov N. G., i dr. Mashiny dlya posleuborochnoj potочноj obrabotki semyan. Teoriya i raschet mashin, tekhnologiya i avtomatizaciya processov. Pod redakciej k.t.n. Z. L. Tica. Izdatel'stvo Mashinostroenie. M. : 1967. 446 p.

6. **Krausp V. R.** Avtomatizaciya posleuborochnoj obrabotki zerna. M. : Mashinostroenie, 1975. 277 p.

7. **Krausp V. R.** Kompleksnaya avtomatizaciya v promyshlennom zhivotnovodstve. M. : Mashinostroenie, 1980. 2014.

8. **Krausp V. R.** Nauchnye metody i opyt komp'yuterizacii upravleniya innovacionnymi proektami APK 2020 goda. Molodezhnaya nauchnaya shkola. Internet- i Nanotekhnologii. M. : Predpriyatiya – avtomaty. 2010. 333 p.

9. **Krausp V. R.** Strategiya avtomatizacii i informatizacii upravleniya sel'skohozyajstvennym proizvodstvom. Teoriya. Internet- i nanotekhnologii. Praktika. M. : 2008. 395 p.

10. **Krausp V. R.** Patent na izobretenie № 2462853. Intel'ktual'naya robotizirovannaya agrosistema proizvodstva prodovol'stviya, opubl. 10.10.2012.

11. **Krausp V. R.** Industrializaciya i elektrorobotizaciya APK dlya proizvodstva prodovol'stviya organik v polnom cikle «pole-magazin» pod devizom «Nauka proizvoditel'naya sila, zemlya-kormilica». Tekhnodoktrina 2014, Sbornik dokladov. 1-j Vserossijskij forum tekhnologicheskogo liderstva Rossii, pp. 613–615.

12. Izmajlov A. YU., Lobachevskij YA. P., Krausp V. R., Kovalev

D. A. i dr. Cifrovaya elektrorobotizirovannaya tekhnologiya kormleniya, soderzhaniya, i vosпроизводства stada na 3000 golov KRS // Vestnik VNIIMZH, 2019. № 1. pp. 37–44.

13. **Aleksandr Labykin.** Agroprom razvorachivayut na eksport. Konsolidaciya, uglublenie peredelov, razvitie novyh podotraslej i narashchivanie eksporta agroprodukcii – vot novye trendy v rossijskom APK na blizhajshie gody. ZH. Ekspert, special'nyj doklad, 5–11 noyabrya 2018. № 45. pp. 32–48.

Краусн Валентин Робертович, доктор техн. наук, профессор,
лауреат золотой медали имени И. А. Будзко, главный специалист
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Тел. 8-903-794-38-48
E-mail: krausp@mail.ru

Научное издание

ПЕРЕДОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ПРИМЕНЕНИИ АВТОМАТИЗАЦИИ, РОБОТИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ В АПК

Сборник статей

Оригинал-макет *Алексей Карев*

Дизайн обложки *Полина Шапошникова*

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано в печать 30.09.2019. Формат 60×90/16.

Усл.-печ. л. 20,0. Тираж 100 экз. Заказ № 66

ООО «Мегаполис»

Тел.: +7 (499) 391-34-54

E-mail: zakaz@m-megapolis.ru

127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 23А

Отпечатано в ПАО «Т8 Издательские Технологии»

Тел.: +7 (499) 322-38-31

109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5