Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

объявляет о приеме в аспирантуру

Прием в аспирантуру производится с отрывом от производства по направлениям подготовки:

35.06.04 – Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве

Условия приема в аспирантуру

Поступающие подают заявление установленного образца на имя директора ФГБНУ ФНАЦ ВИМ с указанием избранной специальности и прилагают документы:

1. Личный листок по учету кадров;
2. Копию паспорта; 4 фотографии размером 3х4 см;
3. Копию диплома о высшем профессиональном образовании с приложением;
4. Копию документов воинского учета (для военнообязанных и лиц, подлежащих призыву на военную службу);
5. Копию трудовой книжки (если таковая имеется).
6. ИНН, СНИЛС, реквизиты банковской карты (для начисления стипендии).

При центре функционирует диссертационный совет по защите кандидатских и докторских диссертаций.

Иногородним предоставляется место в общежитии. Аспирантам выплачивается стипендия.

По вопросам поступления в аспирантуру Вы можете обращаться в Отдел образования по тел.: (499) 709–33–68 или по адресу: 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5, главный корпус. E-mail: vimasp@mail.ru www.vim.ru

ISSN 2304-5868

9 772304 586771 >

Подписной индекс 66059 в Каталоге Агентства «Роспечать» «Издания органов научно-технической информации»

ISSN 2304-5868

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

Вестник ВИЭСХ

Теоретический и научно-практический журнал
Издается с 2005 г.

$4^{(29)}/_{2017}$

ВЕСТНИК ВИЭСХ

№4(29) 2017

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

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

Редакционная коллегия:

Д.С. Стребков, акад. РАН (председатель, главный научный редактор)
А.Ю. Измайлов, акад. РАН,
Л.П. Кормановский, акад. РАН,
Я.П. Лобачевский, член-корр. РАН,
С.А. Соловьев, член-корр. РАН,
Ю.А. Цой, член-корр. РАН,
Д.А. Тихомиров, член-корр. РАН
А.С. Дорохов, д.т.н., проф.,
Л.Ю. Юферев, д.т.н.,
А.Н. Васильев, д.т.н.,
Ю.Д. Арбузов, д.т.н.,
В.М. Евдокимов, д.ф.-м.н.,
В.Р. Крауси, д.т.н.,
А.И. Некрасов, д.т.н.,
Е.В. Халин, д.т.н.

Иностранные члены редколлегии

М. Либра, проф. (Чехия),
Т. Павловский, д-р-инж., проф. (Польша),
В.Н. Дашков, д.т.н., проф. (Беларусь),
В.В. Козирский, д.т.н., проф. (Украина),

Т.А. Гудкова (ответственный секретарь, редактор)

Адрес редакции:
109456, г. Москва,
1-й Вешняковский проезд, 2.
Телефон: (499) 171-22-91
Факс: (499) 170-51-01
E-mail: vestnikviesh@gmail.com

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-71465 от 26.10.2017 г.

Выходит 4 раза в год.

Редакторы:
И.М. Добровольская, Т.А. Гудкова
Компьютерный оригинал-макет
Т.А. Гудкова

Подписано в печать 27.12.2017 г.
Формат 60×84/8. Объем 18,5 печ. л.
Тираж 100 экз. Печать цифровая.
Заказ № 70.
Отпечатано в типографии OneBook.ru
ООО «Сам Полиграфист»,
109316, Москва, Волгоградский проспект, д.62, корп. 5,
«Технополис Москва».

ISSN 2304-5868

Содержание номера

Электрификация и автоматизация в сельском хозяйстве. Электротехнологии. Эксплуатация электрооборудования

Халин Е.В., Михайлова Е.Е. Требования к интерфейсу модели компетенций по электробезопасности сельскохозяйственного производства…… **3**

Тихомиров Д.А., Трунов С.С. Редуктор-регулятор давления воды для систем горячего водоснабжения на фермах КРС…….. **9**

Трунов С.С., Дудин С.Н. Определение оптимальной доли использования тепло-аккумуляторов в общем энергобалансе электротепловых установок фермы…….. **13**

Растимешин С.А., Трунов С.С. Выбор основных конструктивных параметров локальных электрообогревателей для молодняка сельскохозяйственных животных …. **21**

Кузьмичев А.В. Определение и оценка тепловых условий в зоне обогрева инфракрасными обогревателями молодняка животных…….. **26**

Дубровин А.В. СВЧ сушка и обеззараживание сыпучих кормов по технологическому или по хозяйственному признаку……. **32**

Александров Д.В., Соколов А.В. Применение станций катодной защиты в сельском хозяйстве……... **41**

Никитин Б.А., Харченко В.В., Гусаров В.А. Спектр заатмосферного солнечного излучения АМ-0, как эталонный критерий числовой оценки коэффициентов связи параметров излучения с температурой нагретого тела в законах смещения Вина и Стефана-Больцмана……. ……. **47**

Похмельных Л.А. Две поправки к закону Кулона …… **50**

Механизация в сельском хозяйстве. Проблемы машиноиспользования

Иванов Ю.А., Гриднев П.И. Направления развития фундаментальных исследований по проблемам механизации производства продукции животноводства……... **56**

Уханова В.Ю. Современное отечественное оборудование для автоматизированного управления пресс-гранулятором кормов……... **62**

Возобновляемая и нетрадиционная энергетика

Стребков Д.С. На пороге эры бестопливной энергетики…… **66**

Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Серебряков Р.А., Моренко К.С. Влияние конструктивных параметров ветроприемных устройств при работе малых ветроустановок на низких скоростях ветрового потока……. **79**

Майоров В.А. Феноменологическая теория и исследование термодинамических характеристик и параметров реальных теплоносителей для приемников солнечного излучения……... **83**

Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М., Майоров В.А., Сагинов Л.Д. Исследование фотоэлектрических преобразователей, применяемых в экспериментальной солнечной установке……... **90**

Биотехнологии и агроинженерия

Собченко Ю.А. Математические особенности роста клеток……... **98**

По материалам 8-й МНТК молодых ученых и специалистов «Агроинженерные инновации в сельском хозяйстве»

Смолянинов Ю.Н. Состояние и пути совершенствования механизации послеуборочной обработки зерна в Дальневосточном регионе……. **102**

Юрин А.Н., Чеботарев В.П., Чечеткин А.Д., Горный А.В., Зенов А.А. Агрегат для уборки плодов семечковых культур в условиях Республики Беларусь…….. **107**

Иноземцев Г.Б., Окушко А.В. Электротехнологический процесс некорневой обработки растений в тепличном овощеводстве……. **113**

Джафаров А.А. Конструктивные решения малогабаритной комбинированной установки для кормоприготовления……. **117**

Горячкина И.Н., Тетерина О.А., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Юхин И.А. Установка для нанесения аэрозоля гуматов в потоке сельскохозяйственной продукции…… **124**

Калиниченко Р.А., Степаненко С.П. Математическое моделирование виброперемещения зерна при термообработке……... **129**

Курганский А.Д. Реализация энергосберегающих режимов охлаждения зерна средствами автоматики……... **134**

Голодный И.М., Синявский А.Ю., Санченко А.В. Исследование трехфазного асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением…….. **139**

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2017.

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

Contents

Khalin Eu.V., Mikhaylova Ye.Eu.
Requirements to the interface of model of competences on electrical safety of agricultural production…… **3**
Tikhomirov D.A., Trunov S.S.
Reducer - a water pressure regulator for hot water systems on farms cattle…… **9**
Trunov S.S., Dudin S.N.
Determination of the optimal fraction of use of the heat accumulators in the overall energy balance of electro-thermal installations of the farm……... **13**
Rastimeshin S.A., Trunov S.S.
The behavior of animals as the criterion of efficiency of local space heaters…….. **21**
Kuz`michev A.V.
Definition and assessment of thermal conditions in zones of heating of young growth of animals by infrared heaters…… **26**
Dubrovin A.V.
Microwave drying and disinfection of loose fodder on technological or economic grounds……... **32**
Aleksandrov D.V., Sokolov A.V.
Application of cathodic protection stations in agriculture…… **41**
Nikitin B.A., Kharchenko V.V., Gusarov V.A.
Spectrum of AM-0 solar radiation outside of atmosphere of as the reference criterion in a numerical evaluation of the coefficients of coupling of irradiation parameters with the temperature of the heated body in the laws of the Wien displacement and Stefan-Boltzmann…… **47**
Pokhmelnykh L.A.
Two amendments to the Coulomb's law……... **50**
Ivanov Yu.A., Gridnev P.I.
The directions of livestock industry mechanization problems' fundamental research development…… **56**
Ukhanova V.Yu.
Modern domestic equipment for automated control of the press granulator feed…… **62**
Strebkov D.S.
On the threshold of the era of fuel-free power engineering…….. **66**
Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Serebryakov R.A., Morenko K.S.
The effect of the construction parameters of the wind receiving devices of small wind power plants working at low speeds of wind flow…… **79**
Mayorov V.A.
Phenomenological theory and investigation of thermodynamic characteristics and parameters of real heat carriers for solar radiation receivers…….. **83**
Arbuzov Yu.D., Yevdokimov V.M., Mayorov V.A., Saginov L.D.
Research of the photo-electric converters used in experimental solar installation……... **90**
Sobchenko Yu.A.
Mathematical features of growth of cages…… **98**
Smolyaninov Yu.N.
State and ways of improvement of mechanization of postharvest processing of grain in the Far East region……. **102**
Yurin A.N., Chebotaryov V.P., Chechetkin A.D., Gorny A.V., Zenov A.A.
The unit for cleaning of fruits of seeded cultures in the conditions of Republic Belarus……. **107**
Inozemtsev G.B., Okushko A.V.
Electrotechnological process of foliar treatment of plants in greenhouse vegetable growing…….. **113**
Dzhafarov A.A.
Constructive solutions of the small-sized combined installation for preparation of forages…… **117**
Goryachkina I.N., Teterina O.A., Kostenko M.Yu, Rembalovich G.K., Yukhin I.A.
Installation for deposition of the humate aerosol in the stream of agricultural production…….. **124**
Kalinichenko R.A., Stepanenko S.P.
Mathematical modeling of grain vibro-displacement in heat treatment……... **129**
Kurgansky A.D.
Realization of the energy saving modes of grain cooling with means of automatic equipment…….. **134**
Golodnyi I.M., Sinyavsky A.Yu., Sanchenko A.V.
Investigation of three-phase asynchronous electric drive with phase-pulse control thyristor voltage regulator….. **139**

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2017.

УДК 658.513:004.85:614.8

ТРЕБОВАНИЯ К ИНТЕРФЕЙСУ МОДЕЛИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е.В. Халин[1,2], Е.Е. Михайлова[1]
[1]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ),
[2]Научно-исследовательская и производственная фирма ТЕХИНТЕЛЛ (НИИПФ ТЕХИНТЕЛЛ), Москва, Россия

Информационная модель компетенций по электробезопасности сельскохозяйственного производства рассматривается как совокупность взаимосвязано формализованных сведений, отражающих состояние и характер профессиональных знаний, умений и навыков по электробезопасности сельскохозяйственного производства работника, в виде взаимосвязанных качественных и количественных профессиональных характеристик и последствий использования работником в реальном производстве имеющихся у него знаний и навыков. Совокупность сведений применяется в процедурах обучения для повышения эффективности электронного обучения, надежности и устойчивости профессиональных и производственных навыков работников, для снижения производственного электротравматизма и производственно обусловленной заболеваемости работающих в электроустановках по причинам некачественного обучения персонала. Пользовательский интерфейс информационной модели компетенций рассматривается как совокупность способов взаимодействия пользователя с информационной моделью и компонентов программных средств, обеспечивающих формирование информационной модели. Средства и способы взаимодействия с информационной моделью компетенций по электробезопасности сельскохозяйственного производства реализуются в виде диалоговых систем с жестким сценарием диалога с выбором альтернативы функций обработки из фиксированного перечня и системы иерархических меню, содержащих вложенные подменю следующего уровня с выбором фиксированных значений из предлагаемого перечня и с возможностью пополнения перечня значений. В общем случае качество пользовательского интерфейса можно достаточно полно охарактеризовать простой, эффективностью, продуктивностью и удовлетворенностью при достижении определенной цели в процессе формирования конкретной модели компетенций по электробезопасности сельскохозяйственного производства.

***Ключевые слова**: модель компетенций, электробезопасность сельскохозяйственного производства, пользовательский интерфейс, качество интерфейса.*

Статья поступила в редакцию 02.10.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Халин Е.В., Михайлова Е.Е. Требования к интерфейсу модели компетенций по электробезопасности сельскохозяйственного производства // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 3-8.

Общие положения. Информационная модель компетенций по электробезопасности сельскохозяйственного производства (ИМК ЭСХ) рассматривается как совокупность взаимосвязано формализованных пополняемых сведений, отражающих состояние и характер профессиональных знаний, умений и навыков по электробезопасности сельскохозяйственного производства работника, в виде взаимосвязанных качественных и количественных профессиональных характеристики и последствий использования работником в реальном производстве, имеющихся у него знаний и навыков, применяемой в процедурах обучения для повышения эффективности электронного обучения, надежности и устойчивости профессиональных и производственных навыков работников, для снижения производственного электротравматизма и производственно обусловленной заболеваемости работающих в электроустановках по причинам некачественного обучения персонала.

ИМК ЭСХ позволяет сделать заключение по направлениям обучения и о содержании планов индивидуальной подготовки по электробез-

опасности производства, оценить динамику изменения компетенций работника в течение его трудовой деятельности [1-7].

Применение информационных моделей компетенций работников в области электробезопасности сельскохозяйственного производства является эффективным инструментом для организации персонифицированного электронного обучения работников, гарантирующего приобретение устойчивых компетенций по безопасности производства. ИМК ЭСХ способствуют оптимизации работы преподавательского состава, административных работников с информационными массивами в образовательной деятельности по электробезопасности сельскохозяйственного производства и работы с кадрами. ИМК БП способствуют профессиональному развитию работников их востребованности с учетом динамики изменения компетенций в течение трудовой деятельности.

При формировании ИМК ЭСХ количественные и качественные значения профессиональных характеристик и компетенций формализуют взаимосвязано и постоянно пополняют при участии самого работника с выполнением требований конфиденциальности для обеспечения электробезопасности производства, повышения эффективности электронного обучения и повышения компетенций работника по безопасности производства.

При накапливании и пополнении сведениями информационной модели компетенций по электробезопасности сельскохозяйственного производства применяется интеллектуальный интерфейс пользователя, обеспечивающий необходимую доступность и понятность операций без специальной подготовки пользователя, и санкционирование доступа к действиям по построению (созданию, формированию) прикладными программными средствами информационной модели компетенций для достижения необходимого уровня конфиденциальности сведений персонифицированного характера и промышленного и корпоративного предназначения.

Требования к интерфейсу. Пользовательский интерфейс ИМК ЭСХ рассматривается как совокупность способов взаимодействия пользователя с информационной моделью компетенций и компонентов программных средств, обеспечивающих формирование информационной модели. Средства и способы взаимодействия с информационной моделью компетенций реализуются в виде диалоговых систем с жестким сценарием диалога с выбором альтернативы функций обработки из фиксированного перечня и системы иерархических меню, содержащих вложенные подменю следующего уровня с выбором фиксированных значений из предлагаемого перечня и с возможностью пополнения перечня значений. Реализуется система запросов по формату с помощью ключевых слов, фраз или путем использования регламентированных по составу и структуре набора реквизитов и характеристик.

Интерфейс должен быть простым, обеспечивать легкость его изучения и использования с предоставлением доступа к санкционированному перечню функциональных возможностей, предусмотренных программными средствами ИМК ЭСХ, и предъявлением пользователю экранных образов с учетом их смыслового значения и логической взаимосвязи только в пределах выполняемого действия в минимально необходимом объеме. При последовательном раскрытии диалоговых окон и разделов меню в каждый момент времени на экране должна находиться только та часть информации, которая необходима для выполнения очередного действия (рис. 1).

Рис. 1. Требования к пользовательскому интерфейсу информационной модели компетенций по электробезопасности сельскохозяйственного производства

Грамотно спроектированный интерфейс пользователя обеспечивает успешную работу системы. Сложный в применении интерфейс, приводит к ошибкам пользователей, а нередко к отказу пользователя работать с программным средством, несмотря на его функциональные возможности. Простота – наиболее важный принцип дизайна интерфейса. Ясный, простой проект интерфейса всегда предпочтительнее и с эстетической точки зрения. Если обычный пользователь не может сразу без помощи выполнить нужную задачу, интерфейс пользователя следует перепроектировать.

При выполнении действий в процессе формирования ИМК ЭСХ интерфейс пользователя должен быть естественным и интуитивно понятным, что достигается использованием общепринятой терминологии для данной предметной области, сообщения и результаты, выдаваемые программными средствами, не должны требовать дополнительных пояснений, применяемые метафоры должны быть легко узнаваемы.

Должен быть реализован принцип согласованности интерфейса пользователя ИМК ЭСХ, обеспечивающий один формат команд и меню системы, и принцип предсказуемости функционирования системы, предполагающий однотипную реакцию системы в аналогичных ситуациях. Все подобные действия и команды должны выполнять одни и те же функции в одном порядке и одним и тем же образом независимо от того, где они встретились. Для обозначения одних и тех же объектов, ситуаций и действий должны использоваться одинаковые слова во всех частях интерфейса. Согласованность обеспечивает преемственность полученных ранее знаний и навыков, делает интерфейс узнаваемым и предсказуемым, позволяет пользователям переносить имеющиеся знания на различные версии ИМК ЭСХ, осваивать новые аспекты быстрее, не растрачивая время на уяснение отличий в использовании тех или иных элементов и команд.

Гибкость интерфейса ИМК ЭСХ должна обеспечиваться его способностью учитывать уровень подготовки и производительность труда пользователя с возможностью изменения структуры и объема диалога с сохранением необходимости выполнения базовых функций. Должно соблюдаться корректное визуальное представление используемых экранных объектов, обеспечивающих предъявление дополнительной информации о поведении и взаимодействии различных объектов, последствий выбранных действий. На экране должна формироваться среда, содействующая пониманию пользователем предъявляемой информации, позволяющая сосредоточиться на наиболее важных ее аспектах. Для неопытных пользователей интерфейс должен быть организован как система иерархических меню, для опытных пользователей могут быть предусмотрены команды и комбинации клавиш.

В интерфейсе должны быть предусмотрены горячие клавиши, не обязательные к применению начинающим пользователем, но значительно ускоряющие работу опытного пользователя с возможностью для него автоматизировать часто повторяющиеся действия. Окна и интерфейсные элементы не должны содержать не относящуюся к выполняемому действию или редко используемую информацию.

Учет знаний пользователя обеспечивает удобство интерфейса и быстрое привыкание к нему. В интерфейсе должны быть предусмотрены средства его перенастройки под разные потребности пользователей с учетом их опыта работы с системой.

Эффективный интерфейс ИМК ЭСХ должен предотвращать случайный выбор неправильного действия или данных, принятие неправильного решения при выборе действия или данных, которые приводят к ошибкам, он также должен адаптироваться к потенциальным ошибкам и облегчать пользователю процесс устранения последствий таких ошибок. На каждом этапе работы с ИМК ЭСХ должен допускаться только соответствующий набор действий с предупреждением пользователей о форматах вводимых данных, с возможностью отменить или исправить выполненные действия. Пользователи часто выбирают отдельные интерфейсные элементы и используют функции системы по ошибке. В этом случае необходимо предоставлять четко определенный "аварийный выход", при помощи которого можно вернуться к предыдущему нормальному состоянию. К таким "аварийным выходам" относятся, например, функции отката и обратного отката. Интерфейс должен включать средства, позволяющие пользователям восстанавливать данные после возникновения нештатных ситуаций.

Продуманный дизайн пользовательского интерфейса, предотвращающий появление ошибок пользователя, всегда лучше хорошо продуманных сообщений об ошибках. При проектировании интерфейса следует устранять элементы, в которых могут возникать ошибки пользователя, либо проверять введенные пользователем сведения в этих элементах и сообщать ему о потенциально возможном возникновении ошибки.

При проектировании интерфейса необходимо учитывать весь спектр пользователей и их неодинаковую предрасположенность к разного вида ошибочным действиям при вводе вручную больших объемов сведений и при работе в условиях с разной напряженностью.

При вводе сведений и данных пользователь должен однократно вводить минимальную информацию при ее многократном применении в дальнейшем с использованием значений по умолчанию. Для исключения ввода некорректных сведений и значений должны быть предусмотрены выбор из выпадающего списка, прокрутка числовых значений в установленном диапазоне и формате, сохранение и предъявление ранее введенных однотипных сведений (при этом пользователь, которого избавили от рутинной работы, всегда испытывает положительные эмоции). Для устранения печатных или моторных ошибок следует предусматривать проверку действий пользователя перед подтверждением выполнения действий, не использовать по умолчанию небезопасные кнопки или устанавливать на них фокус при автоматическом перемещении по элементам экранных форм.

Программные средства ИМК ЭСХ должны предельно минимизировать ошибки пользователя при вводе информации (данных и знаний). Некоторые ошибки невозможно обнаружить не случайно, например, смысловые ошибки в тексте, удовлетворяющие правилам языка.

Система ИМК ЭСХ всегда должна оповещать пользователя о том, что она в данный момент делает, причем через разумные промежутки времени, а также предоставлять возможность прервать этот процесс в случае необходимости. Каждое действие пользователя должно сопровождаться реакцией программного обеспечения (визуального, звукового), комфортными могут быть только несколько секунд ожидания ответной реакции системы. Необходимо минимизировать нагрузку на память пользователя, делая объекты, действия и опции ясными, доступными и явно видимыми. Пользователь не должен запоминать информацию при переходе от одного диалогового окна к другому. Во всех необходимых местах должны быть доступны контекстные инструкции по использованию интерфейса.

Интерфейс ИМК ЭСХ должен предъявлять необходимую информацию при сопровождении действий пользователя на разных уровнях и поддерживать средства контекстно-зависимой структурированной справки. Система электронной документации ИМК ЭСХ и помощи пользователю должна обеспечивать появление только необходимых лаконичных понятных сообщений, в сообщениях о возможных некорректных действиях в рамках предоставленных полномочий требовать подтверждения не после команды пользователя, а до неё (например, действия по изменению или удалению сведений). Информация в электронной документации должна быть структурирована таким образом, чтобы пользователь мог легко найти нужный раздел, посвященный решаемой им задаче, содержащий помимо краткой общей информации четкие пошаговые указания по выполнению конкретной задачи.

Пользовательский интерфейс ИМК ЭСХ должен позволять наращивать функциональные возможности без разрушения существующего интерфейса, легко настраивать и расширять как интерфейс, так и само приложение при увеличении числа сетевых пользователей, объема и характеристик данных.

При реализации пользовательского интерфейса должны применяться отдельные ресурсы, направленные на хранение и обработку данных, необходимых для поддержки пользователя, включая пользовательские словари, контекстно-зависимые списки, наборы данных по умолчанию или по последнему запросу, истории запросов.

Пользовательский интерфейс ИМК ЭСХ должен предусматривать возможность автоматического переноса на другую аппаратную (программную) платформу применения конечного приложения.

Интерфейс пользователя должен проектироваться и разрабатываться как отдельный компонент ИМК ЭСХ с учетом возможности и особенности аппаратно-программных средств, на базе которых он будет реализован. Процесс разработки интерфейса должен носить итерационный характер с согласованием полученных результатов с потенциальными пользователями и их консолидированными потребностями и обобщенными характеристиками. При разработке пользовательского интерфейса ИМК ЭСХ следует руководствоваться нормативными требованиями, в основе которых лежит накопленный опыт разработки и оценки качества наиболее продвинутых программных средств, хотя и с определенным элементом давления производителей этих систем [8].

Вместе с тем создание качественного интерфейса требует не просто соблюдения некоторых нормативных инструкций, а предполагает реализацию в первую очередь интересов пользователя при соответствующей методологии разработки всего программного продукта.

Удобные и эстетически привлекательные пользовательские интерфейсы существуют в единичных экземплярах. Интерфейс ИМК ЭСХ должен быть незаметен в процессе его использования, и при хорошо выполненном дизайне должен производить впечатление чистоты и прозрачности, простоты и функциональности, аккуратности и надежности. Интерфейс должен быть насыщен визуальными закономерностями, например, методически соответствие свойств у разных выдерживаемое визуальных объектов (экранных форм, меню, подменю, кнопок, сообщений). Должна быть предусмотрена настройка интерфейса под конкретные потребности определенных пользователей для снижения усталости и повышения работоспособности с использованием минимума команд и функций, в том числе путем выбор варианта готовой настройки из предлагаемого списка.

Качество интерфейса. К показателям качества пользовательского интерфейса ИМК ЭСХ могут быть отнесены следующие:

- время, необходимое определенному пользователю для достижения заданного уровня знаний и навыков при работе с программными средствами ИМК ЭСХ**;**

- сохранение полученных рабочих навыков по истечении некоторого времени;

- скорость выполнения действий программными средствами ИМК ЭСХ с оценкой не быстродействия системы и скорости ввода данных с клавиатуры, а времени достижения целевой задачи;

- персональная удовлетворенность пользователя при работе с ИМК ЭСХ (например, по бальной шкале).

Дизайн пользовательского интерфейса ИМК ЭСХ должен обеспечивать минимизацию усилий пользователя при выполнении работы с сокращением длительности операций чтения, редактирования и поиска информации, уменьшением времени навигации и выбора команды, повышением общей продуктивности пользователя, заключающейся в объеме обработанных данных за определенный период времени и увеличением длительности устойчивой работы пользователя.

Высокая удовлетворенность от работы с ИМК ЭСХ должна достигается прозрачностью для пользователя навигации и целевой ориентации в программе, ясностью и четкостью понимания пользователем текстов и значения икон, быстротой обучения при работе с программой с использованием преимущественно стандартных элементов взаимодействия, их традиционного или общепринятого расположения, наличием средств контекстной поддержки пользователя.

Размещение информации и управляющих элементов в поле экрана, экранного окна должны выполняться с логической увязкой данных в зависимости от алгоритма работы пользователя, выделением важной информации, четким определения основных и вспомогательных блоков информации, применением принципов гармонии при компоновке экрана.

Обратная связь с пользователем при формировании ИМК ЭСХ должна выполняться показом актуального состояния системы, режима работы системы и режима взаимодействия, выводом отдельных, важных для рабочей операции данных и показателей, отражением всех действий пользователя с учетом динамики выполнения процесса, получением ожидаемого и иного результата, ясностью и информативностью сообщений системы.

К одному из важных достоинств интерфейса пользователя можно отнести ощущение пользователя, что именно он управляет программными средствами ИМК ЭСХ, а не программные средства управляют им. При проектировании интерфейса необходимо следовать принципу, что пользователь всегда прав, и если он в чем-то ошибается, то это не его сложности, а недостатки системы.

В общем случае качество пользовательского интерфейса можно достаточно полно охарактеризовать простой, эффективностью, продуктивностью и удовлетворенностью при достижении определенной цели в процессе формирования конкретной ИМК ЭСХ.

Выводы

1. Пользовательский интерфейс информационной модели компетенций по электробезопасности сельскохозяйственного производства должен быть простым, обеспечивать легкость его изучения и использования с предоставлением доступа к санкционированному перечню функциональных возможностей, предусмотренных программными средствами ИМК ЭСХ.

2. Пользовательский интерфейс ИМК ЭСХ должен быть интуитивно понятным, предотвращать случайный выбор неправильного действия или данных, принятие неправильного решения при выборе действия или данных, адаптироваться к потенциальным ошибкам и облегчать пользователю процесс устранения последствий таких ошибок.

3. К показателям качества пользовательского интерфейса ИМК ЭСХ следует отнести время, необходимое пользователю для достижения заданного уровня знаний при работе с про-

граммными средствами, сохранение полученных рабочих навыков по истечении некоторого времени, скорость выполнения действий для достижения целевой задачи, персональную удовлетворенность пользователя.

Литература

1. *Халин Е.В., Михайлова Е.Е.* Модель компетенций работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства // Вестник ВИЭСХ. 2016. № 4 (25). С. 41-49.
2. *Халин Е.В., Михайлова Е.Е.* Метод контроля компетенций работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства // Вестник ВИЭСХ. 2017. № 3(28). С. 27-32.
3. *Халин Е.В.* Электрическая безопасность / Изд. 2-е, переработанное и дополненное. – М.: НИИПФ ТЕХИНТЕЛЛ, 2017. – 454 с.
4. *Халин Е.В., Позднеев Б.М., Михайлова Е.Е.* О новом национальном стандарте по электронному обучению безопасности производства // Вестник связи. 2017. №3. С. 11-16.
5. ГОСТ Р 57099. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Электронное обучение безопасности производства. Общие положения.
6. Патент № 2603494. Электронный портфолио работника по безопасности производства и способ его изготовления / *Халин Е.В., Позднеев Б.М.* // БИ. 2016. № 33.
7. *Халин Е.В., Позднеев Б.М.* Системы электронного обучения персонала безопасности производства // Промышленная энергетика. 2017. №6. С. 45-50.
8. ГОСТ Р ИСО 14915-1-2010. Эргономика мультимедийных пользовательских интерфейсов. Часть 1. Принципы проектирования и структура.

Сведения об авторах:

Халин Евгений Васильевич – доктор техн. наук, академик АЭН РФ, e-mail: orgelectro@mail.ru,

Михайлова Елена Евгеньевна – научный сотрудник,

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия.

REQUIREMENTS TO THE INTERFACE OF MODEL OF COMPETENCES ON ELECTRICAL SAFETY OF AGRICULTURAL PRODUCTION

Eu. Khalin, Ye. Mikhaylova

The information model of competences on electrical safety of agricultural production is considered as set of interconnected formalized data reflecting a state and the nature of professional knowledge, skills on electrical safety of agricultural production of the worker in the form of the interconnected qualitative and quantitative professional characteristics and consequences of use by the worker in real production which are available for his knowledge and skills. The efficiency of electronic training, reliability and stability of professional and production skills of workers applied in procedures of training for decrease in production electrical injuries and the caused incidence working in electrical installations for the reasons of low-quality training of personnel. The user interface of an information model of competences is considered as set of methods of interaction of the user with an information model and components of the software providing formation of an information model. Means and methods of interaction with an information model of competences on electrical safety of agricultural production are implemented in the form of dialogue systems with the stringent scenario of a dialog with a choice of an alternative of functions of processing from the fixed list and the system of the hierarchical menus containing nested submenu of the following level with a choice of the fixed values from the offered list and with a possibility of addition of the list of values. Generally quality of the user interface it is possible to describe rather fully idle time, efficiency, productivity and satisfaction in case of achievement of a definite purpose in the course of formation of specific model of competences on electrical safety of agricultural production.

Keywords: the model of competences, electrical safety of agricultural production, user interface, quality of the interface

References

1. Khalin Eu.V., Mikhaylova E. E. Model of competences of the worker on electrical safety of agricultural production. J. *Vestnik VIESH*, 2016; 4(25): 41-49.
2. Khalin Eu.V., Mikhaylova E. E. The control method of competences of the worker on electrical safety of agricultural production. J. *Vestnik VIESH*, 2017; 3(28): 27-32.
3. Khalin Eu.V. Electric safety / Prod. 2nd processed and added. – Moscow, NIIPF TECHINTELL, 2017. – 454 ps.
4. Khalin Eu.V., Pozdneev B.M., Mikhaylova E.E. About the new national standard on electronic training of safety of production. J. *Vestnik Svyazi*, 2017; 3: 11-16.
5. GOST R 57099. Information and communication technologies in education. Electronic training of safety of production. General provisions.
6. Patent No. 2603494. Electronic portfolio of the worker on safety of production and a way of his production / Khalin Eu.V., Pozdneev B.M. J. *Bulletin of inventions.* 2016; 33.
7. Khalin Eu.V., Pozdneev B.M. Systems of electronic training of personnel of safety of production. J. *Promyshlennaja jenergetika*, 2017; 6: 45-50.
8. GOST P ISO 14915-1-2010 Ergonomics of Multimedia User Interfaces. Part 1. Design philosophy and structure.

Authors:

Eu. Khalin – D. Sc. (Engineering), academician of AES RF, e-mail: orgelectro@mail.ru,

Ye. Mikhaylova – research associate**,**

FSBSI «Federal scientific agro-engineering center VIM», Moscow, Russia.

• **For citation:** Khalin Eu.V., Mikhaylova Ye.Eu. Requirements to the interface of model of competences on electrical safety of agricultural production. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 3-8. (In Russian)

УДК 658.26:636:631.14

РЕДУКТОР-РЕГУЛЯТОР ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ФЕРМАХ КРС

Д.А. Тихомиров, С.С. Трунов
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия

Рассматривается вопрос совершенствования децентрализованных систем горячего водоснабжения на животноводческих фермах. Отмечаются недостатки централизованных систем горячего водоснабжения. Поднимается проблема экономии потребления горячей воды и соответственно расхода электроэнергии на технологические и санитарно-гигиенические цели на ферме КРС, на 400 коров с помощью редукторов-регуляторов давления воды. Описывается конструкция редуктора-регулятора, позволяющая стабилизировать и регулировать давление потока воды у потребителя, экономить потребление воды и соответственно электроэнергии. Даны рекомендации по совместному применению электроводонагревателя и редуктора-регулятора в системах горячего водоснабжения животноводческих ферм.

***Ключевые слова**: горячее водоснабжение, экономия электроэнергии, редуктор-регулятор, давление воды, экономический эффект.*

Статья поступила в редакцию 21.09.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Тихомиров Д.А., Трунов С.С. Редуктор-регулятор давления воды для систем горячего водоснабжения на фермах КРС // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 9-12.

Введение

Горячее водоснабжение наряду с микроклиматом является неотъемлемой составной частью создания оптимальной среды обитания животных на фермах КРС. Система горячего водоснабжения предназначена для подачи потребителям горячей воды в животноводстве на кормоприготовление, поение, процессы получения и обработки продукции, санитарно-гигиенические нужды. В связи с чем, так же как и на создание микроклимата, на нагревание воды, идущей на различные технологические цели, затрачивается существенная доля тепловой энергии, потребляемой фермой.

По данным исследований ветеринаров и зоо-техников неудовлетворительная среда обитания приводит к увеличению отхода поголовья животных в среднем на 7 – 10 % , к снижению продуктивности до 15 % при одновременном увеличении расхода кормов на единицу продукции на 10-15 %. При этом продуктивность молочных коров на 70 % определяется условиями окружающей среды и лишь на 30 % генетическими признаками. При неудовлетворительных зоогигиенических условиях потенциальная продуктивность животных нередко используется лишь на 20-30 % и сокращается срок их жизни [1]. И тем не менее, как нам кажется, вопрос обеспечения горячей водой животноводческих объектов недостаточно затрагивается в научных исследованиях.

На животноводческих фермах при наличии котельной используются централизованные системы горячего водоснабжения. В противном случае используется децентрализованная система горячего водоснабжения. При децентрализованной системе обеспечение потребителей горячей водой происходит от местных источников, размещенных в непосредственной близости от водоразборных приборов.

На примере фермы на 400 коров привязного содержания (т.п. 801-01-5) рассмотрим потребление горячей воды, которое в соответствии с нормами технологического проектирования [2] составляет: на поение животных:

- одной коровы 65 л/сут. при температуре - 12^{o}C;
- одного телёнка 10 л/сут. при температуре – 16^{o}C;

на производственные нужды:

- одной коровы 15 л/сут. при температуре 65^{o}C;
- одного теленка - 2 л/сут. при температуре 65^{o}C.

Для нагрева такого количества воды общий годовой расход тепловой энергии составляет 391051 кВт·ч, что сопоставимо с годовыми затра-

тами тепловой энергии на отопление и вентиляцию всех помещений фермы - 363233 кВт·ч [3]. Такое соответствие вызвано тем, что, несмотря на значительную разницу в установленной мощности, число часов использования мощности электроводонагревателей в два-три раза превосходит число часов использования мощности отопительно-вентиляционных установок (электрокалориферов, электроконвекторов и т.д.).

Из этого вытекает следующее: необходимо более эффективно и экономично использовать нормируемый объём горячей воды для различных технологических целей и соответственно снижать затраты на оплату энергии для подогрева воды.

Материалы и методы. Как показывают исследования, децентрализованные источники тепловой энергии в ряде случаев экономически более эффективны по сравнению с централизованными. Это связано с тем, что в децентрализованных системах используется менее дорогостоящее оборудование, существенно снижаются потери при транспортировке тепловой энергии от централизованного источника до потребителя [4]. Для горячего водоснабжения на животноводческих фермах в децентрализованных системах широко используются ёмкостные (аккумуляционные) и проточные электроводонагреватели.

Для улучшения потребительских свойств электроводонагревателей, а также их надёжности предлагается использовать редукторы-регуляторы давления воды в комплекте с электроводонагревателями. Устройство предназначено в качестве дополнительного оборудования к проточным и ёмкостным электроводонагревателям для децентрализованного горячего водоснабжения на технологические и санитарные цели.

Редуктор-регулятор расхода воды поддерживает постоянное давление воды на выходе из регулятора при изменении давления в водопроводной системе. При применении регулирования стабильное давление после регулятора защищает оборудование от повышенных давлений и гидроударов, повышая его ресурс и надежность. Кроме того, возможность регулировать давление открывает широкие возможности для уменьшения расхода воды. Элементарное снижение с 6 до 3 атм. уменьшает расход воды на 20-25 % [5].

Кроме того, если использовать регулятор совместно с проточным электроводонагревателем, то будет отсутствовать влияние колебания давления воды в водопроводной системе, т.е. будет происходить стабилизация расхода воды и её температуры на выходе из проточного водонагревателя.

Из существующего уровня техники известен регулятор мембранного типа [6]. Регулятор состоит из корпуса с входным и выходным отверстиями, с двумя седлами, запорными устройствами и мембраной.

Недостатком таких регуляторов является настройка регулятора на определённое давление «после себя» независимо от условий водоразбора. Это приводит к нерациональному расходованию воды, когда напор может быть значительно понижен. Кроме того, при резком падении давления на входе регулятор перекрывает поток воды, что неприемлемо для работы проточного электроводонагревателя (могут перегреться ТЭНы).

Наиболее близким по технической сущности является редуктор-регулятор давления мембранного типа, содержащий корпус с входным и выходным патрубками, разделёнными седлом и запорным клапаном, мембрану, противодействующую потоку пружину, и регулировочный винт [7]. Седло выполнено в форме цилиндра, а запорное устройство – в виде клапана. Клапан плоской тарелкой прилегает к седлу, а стержень соединён с мембраной.

Недостатком таких регуляторов является то, что жёсткость пружины и конструкция седла и запорного клапана не обеспечивают качественное регулирование давления воды на выходе редуктора, особенно в зоне низких давлений.

Нами предлагается более адаптивная конструкция редуктора-регулятора за счёт изменения числа и жёсткости пружин и геометрии седла и запорного клапана.

Результатом использования предлагаемой конструкции является то, что процесс регулирования давления воды на выходе редуктора и соответственно на входе в водонагреватель будет более плавным и стабильным, особенно в зоне низких давлений воды на выходе регулятора (до 1,5-2,0 кГ/м^2), что даёт качественное улучшение характеристик регулятора, а также экономический эффект в виде снижения потребления воды, за счёт изменения конструкции пружины и запорного устройства.

Вышеуказанный технический результат достигается тем, что редуктор-регулятор давления воды содержит корпус с входным и выходным патрубками, разделенными седлом и запорным клапаном, регулировочный винт, мембрану, противодействующие потоку две пружины. Одна из пружин находится внутри другой и выполнена длиннее другой на 1/3 и работает при требуемом давлении на выходе регулятора ме-

нее 1,5 – 2 кг/м^2 . При большем давление работают обе пружины. На седле и запорном клапане выполнены конические фаски, обеспечивающие более качественное прилегание клапана к седлу.

Сущность предлагаемой конструкции поясняется рис. 1, на котором представлена общая схема редуктора-регулятора давления воды.

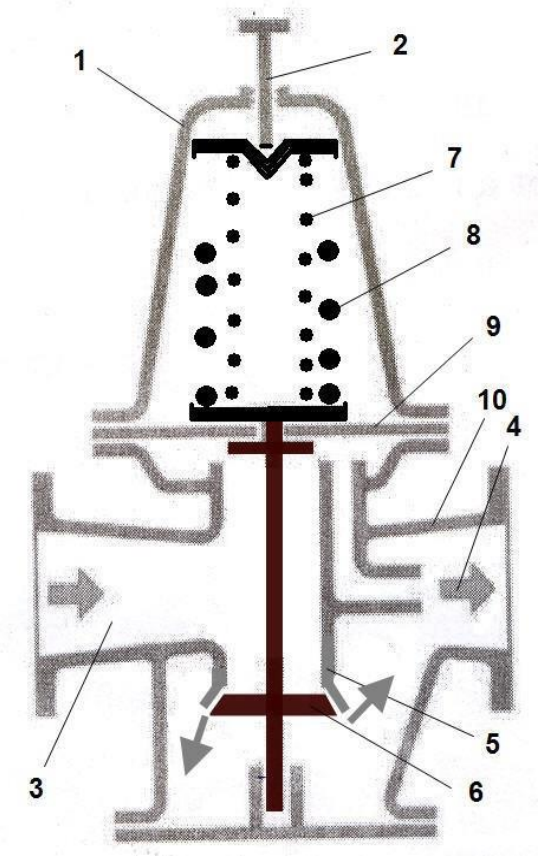


Рис. 1. Редуктор-регулятор давления воды: 1 – корпус; 2 – регулировочный винт; 3 – входной патрубок; 4 – выходной патрубок; 5 – седло; 6 – запорный клапан; 7 – пружина большего диаметра; 8 – пружина меньшего диаметра; 9 – мембрана

Редуктор-регулятор давления воды работает следующим образом. С помощью регулировочного винта 2 устанавливается необходимая величина давления потока воды на выходе 4 из регулятора. Если давление не должно превышать 1,5 – 2,0 кг/м^2, то с помощью винта 2 сжимается более длинная пружина с меньшим диаметром 8, соответственно развивающая меньшее усилие на мембрану 9. Если на выходе 4 необходимо иметь давление более 2 кг/м^2, то с помощью регулировочного винта 2 сжимаются обе пружины 7 и 8, и на мембрану 9 действует усилие от двух пружин, обеспечивая стабильное давление на выходе 4 независимо от колебаний давления на входе 3. Конические фаски на седле 5 и запорном клапане 6 обеспечивают более качественное регулирование давления потока воды за счёт более эффективного прилегания клапана к седлу.

Выводы

1. Применение разработанной конструкции редуктора-регулятора давления воды в комплекте с электроводонбагревателем для децентрализованных систем горячего водоснабжения исключает возможность разрушения элементов системы горячего водоснабжения и создаёт стабильный поток горячей воды на выходе из водонагревателя с постоянной температурой нагретой воды.

2. Применение редуктора-регулятора давления воды позволяет снизить расход электроэнергии на нагрев воды на 20-25 % по сравнению с вариантом без применения регуляторов давления.

3. Наличие двух пружин, противодействующих потоку воды, и конической фаски на запорном клапане повышают адаптивные качества редуктора-регулятора и повышают качество регулирования потока горячей воды.

Данной статьёй мы только затронули широкий круг вопросов по разработке и созданию энергетического и сантехнического оборудования и систем горячего водоснабжения для животноводческих ферм КРС.

Литература

1. *Бабаханов Ю.М.* Оборудование и пути снижения энергопотребления систем микроклимата / Ю.М. Бабаханов, Н.А. Степанова. – М.: Россельхозиздат, 1986.
2. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий крупного рогатого скота. ОНТП-1-77. М.: Колос, 1979.
3. Рекомендации по расчёту, проектированию и применению систем электротеплоснабжения животноводческих ферм и комплексов. Запорожье: Издательство «Коммунар», 1985.
4. *Тихомиров Д.А.* Оценка эффективности электрических систем теплоснабжения животноводческих объектов // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. Выпуск №4(19). С. 127-132.
5. КФРД 10-02. Квартирный регулятор давления. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://wwwTwest ru/
6. Патент РФ № 2070955. Регулятор давления воды / Бахтинов Н.А., Кесаев Х.В. // БИ. 2002. №16.
7. Патент РФ № 159279. Редуктор-регулятор давления воды / Трунов С.С., Тихомиров Д.А., Тупичкина Т.С. // БИ. 2016. № 4.

Сведения об авторах:
Тихомиров Дмитрий Анатольевич – член-корр. РАН, доктор техн. наук,

Трунов Станислав Семенович – канд. техн. наук, доцент, e-mail: alla-rika@yandex.ru,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия;

REDUCER - A WATER PRESSURE REGULATOR FOR HOT WATER SYSTEMS ON FARMS CATTLE

D. Tikhomirov, S. Trunov

The improvement of decentralized hot water systems for livestock farms and shortcomings of the centralized hot water system is discusses. The issue of saving in the consumption of hot water, and accordingly electricity consumption for technological and sanitary purposes on the farm of cattle, 400 cows through the gears-pressure regulators water is considered. The design of the reducer-regulator, to stabilize and adjust the pressure until water at the consumer, to save consumption of water and electricity, respectively is described. Recommendations for joint use of electric heater and gear control in hot water systems for livestock farms are given.

Keywords: hot water, saving electricity, reducer-regulator, water pressure.

References

1. Babakhanov Y.M., Stepanova N.A. Oborudovanie i puti snizhenija jenergopotreblenija sistem mikroklimata [Equipment and ways of reducing energy consumption system of microclimate]. – Moscow, Rosselkhozizdat, 1986. (In Russian)
2. All-union norms of technological designing of the enterprises of cattle. TSO-1-77. Moscow, Kolos, 1979. (In Russian)
3. Recommendations about calculation, design and use of systems of electroheat supply of livestock farms and complexes. Zaporozhye, Publishing house "Kommunar", 1985. (In Russian)
4. Tikhomirov D.A. Evaluation of the efficiency of electric heating systems of livestock facilities. J. *Innovacii v sel'skom hozjajstve*. 2016; 4(19): 127-132. (In Russian)
5. KFRD 10-02. Kvartirnyj reguljator davlenija [Electronic resource]. Access mode: http://wwwTwest EN/
6. Patent No. 2070955, RF. Pressure regulator of Water / Bakhtinov N.A., Kesayev H.V. *Bulletin of Inventions.* 2002; 16. (In Russian)
7. Patent of the Russian Federation No. 159279, RF. Pressure reducer regulator Water / Trunov S.S., Tikhomirov D.A., Tupichkina T.S. *Bulletin of Inventions*. 2016; 4. (In Russian)

Authors:
D. Tikhomirov - Corresponding member of RAS, D. Sc. (Engineering),
S. Trunov - Ph. D. (Engineering), associate professor,
e-mail: alla-rika@yandex.ru,
FSBSI «Federal scientific agro-engineering center VIM», Moscow, Russia.

• **For citation:** Tikhomirov D.A., Trunov S.S. Reducer - a water pressure regulator for hot water systems on farms cattle. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 9-12. (In Russian)

УДК 631.371:621.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРОВ В ОБЩЕМ ЭНЕРГОБАЛАНСЕ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫХ УСТАНОВОК ФЕРМЫ

С.С. Трунов, С.Н. Дудин
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия

Представлены исследования энергетических характеристик электротеплового оборудования и режимов его работы на ферме КРС. Определена доля оптимального соотношения теплоаккумуляционного оборудования в общем энергетическом балансе электротепловых установок молочной фермы КРС. Показано, что провалы в суточном графике электрических нагрузок (ГЭН) фермы, создаваемые технологическими процессами, могут быть использованы для подключения к электропитанию отопления фермы по принудительному графику, что позволяет снизить на 20% расчётную электрическую нагрузку фермы и существенно выравнивать ГЭН в целом. При использовании внепиковых резервов ГЭН фермы суточная длительность зарядки отопительных приборов с аккумуляцией тепла составляет 15 ч. Коэффициент аккумуляции $b_{ак}$, характеризующий долю участия аккумулируемой в отопительных электрических теплоаккумуляционных установках (ЭТАУ) тепловой энергии, равен 0,15; при подключении ЭТАУ к электропитанию только всей тепловой нагрузки вентиляционно-отопительных систем, при которой в ночные часы спада нагрузки энергосистем равен 0,3. Установлено, что эффект применения ЭТАУ в структуре отопительно-вентиляционной системы фермы формируется за счёт: 1) 20%-го снижения расчётной нагрузки фермы (20%), а следовательно, платы за неё; 2) снижения затрат на фермерские электросети 0,4 кВ; 3) использования льготных внепиковых тарифов на потребляемую энергию; при использовании дифференцированного по часам суток 50%-го расхода энергии на вентиляционно-отопительные нужды он оплачивается по льготным ценам; при использовании «ночного» тарифа, действующего 8 часов, эта доля составляет 25%.

Ключевые слова: *энергосбережение, животноводческое помещение, теплоаккумуляторы, графики электрических нагрузок, коэффициент аккумуляции.*

Статья поступила в редакцию 30.08.2017 **Принято к публикации 19.12.2017**

• **Для цитирования:** Трунов С.С., Дудин С.Н. Определение оптимальной доли использования теплоаккумуляторов в общем энергобалансе электротепловых установок фермы // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 13-20.

Ферма КРС предназначена для производства молока. На ферме размещаются коровы и телята до 20-ти дневного возраста. Ферма включает следующие здания: два коровника по 200 коров; доильно-молочный блок производительностью 6 т молока в сутки; родильное отделение на 48 коров с профилакторием на 10 телят; ветсанпропускник на 30 человек с дезинфекционным блоком для транспортных средств; ветеринарный пункт; изолятор на 5 мест; здание для трех тракторов; котельную; трансформаторную подстанцию.

В коровниках, родильном отделении, доильном блоке, ветсанпропускнике предусмотрена вентиляция с подогревом приточного воздуха. В отдельных помещениях предусмотрено отопление.

В структуру вентиляционно-отопительных систем стойловых помещений коровников в отличие от типового решения нами введены отопительные приборы суммарной мощностью 10 кВт, что при сохранении расчётной теплопотребности помещений (67 кВт) приводит к перераспределению тепловой нагрузки между электрокалориферными воздухонагревателями и электроотопительными установками. Снижение мощности воздухонагревательных установок до 57 кВт не приводит к нарушению требований к температуре приточного воздуха, подаваемого в помещение, что подтверждается нижеследующим расчётом с помощью i-d диаграммы.

Исходя из точки парообразования, определяемой по i-d диаграмме при температуре

наружного воздуха $t_н$=-26°С и относительной влажности внутреннего воздуха 80%, температура приточной струи $t_п$ должна быть не ниже, чем -10°С. Соответствующая этому мощность нагрева приточного воздуха должна быть не меньше, чем

$$P_{эку_{\min}} = C_{ср}\Delta t_{расч} L_в = 0{,}3[-10-(-26)]12000 = 57 кВт,$$

где $C_{ср}$– средняя теплоёмкость воздуха, Вт/кг°С; $\Delta t_{расч}$– расчётный перепад температур на входе-выходе электрокалориферной установки,°С; $L_в$ – расчётная воздухопроизводительность ЭКУ для коровника 200 голов, м^3/ч.

В структуру вентиляционно-отопительной системы родильного отделения вводятся дополнительные отопительные приборы общей мощностью 10 кВт. С учётом внесённых изменений суммарная расчётная нагрузка отопления фермы в целом составляет по мощности

$$P_{0\sum} = \sum P_{0i} + 2P_{0к} + P_{0р-д} = \\ = 115 + 2*10 + 10 = 145\ кВт,$$

где $\sum_{i=1}^{n} P_{0i}$ – суммарная мощность отопления всех *n* помещений фермы (доильно-молочного блока, ветсанпропускника, амбулатории, блока кормовой зоны, родильного отделения, галереи); $р\sum$ = 115 кВт; $P_{ок}$ – мощность отопления коровника, кВт; $P_{0р-д}$ – мощность дополнительных приборов отопления в родильном отделении, кВт.

Расчётный суточный расход энергии на отопление фермы составит

$$A_{осут} = \sum_{i=1}^{n} A_{осутi} + (2P_{ок} + P_{ор-д})\tau_ц = \\ = 115 \times 24 + 30 \times 24 = 2760 + 720 = 3480\ кВт \cdot ч,$$

где $\tau_ц$ – длительность суточного цикла работы отопительных установок, равная 24 ч; $\sum_{i=1}^{n} A_{осут_i}$ – суммарный суточный расход энергии на отопление фермы, кВт·ч.

Годовой расход энергии фермы в целом равен

$$A_{огод} = \sum_{i=1}^{n} A_{огод_i}[1 + \frac{(2P_{ок} + P_{ор=д})}{\sum_{i=1}^{n} P_{o_i}}] = \\ = 249017(1 + \frac{30}{115}) = 249017 + 149017 \times 0{,}26 = \\ = 249017 + 64744 = 313761\ кВт \cdot ч.$$

где $\sum_{i=1}^{n} Ao_{год}$ – годовой расход энергии на отопление фермы.

Для оценки энергоэкономического эффекта перевода отопления фермы на внепиковый режим электропотребления, расчёта режимных характеристик работы и параметров отопительных приборов аккумуляционного типа проведём сравнительный анализ графиков электрической нагрузки фермы (ГЭН) в расчётные сутки для двух режимов электропотребления: вариант 1 – свободного электропотребления при одновременности потоков подачи и расхода энергии; вариант 2 – принудительного электропотребления в период спадов нагрузки питающих энергосистем с использованием регулировочных возможностей ГЭН фермы.

В варианте 1 децентрализованное отопление всех помещений фермы осуществляется посредством электротепловых приборов прямого типа (ЭТУП), в варианте 2– посредством электротепловых приборов с аккумуляцией тепла (ЭТАУ).

Суточный расчётный ГЭН для прямоточного варианта отопления практически идентичен суточному графику расхода энергии фермой, поскольку КПД электротепловых приборов близок к единице, а различаются они непосредственно в месте потребления производимой теплоты (преимущество децентрализованных вентиляционно-отопительных систем). Поэтому данные таблиц 1 – 4 расхода энергии по всем электропотребляющим процессам фермы могут быть впрямую использованы для построения ГЭН по прямому варианту (рис. 1).

Как видно из рис. 1, расчётный суточный ГЭН фермы имеет явно выраженный неравномерный характер с двумя пиками нагрузки в утренние (с 6^{00} до 9^{00}) и вечерние (с16^{00} до 22^{00}) часы, что достаточно точно коррелируется с утренним и вечерним максимумами суточных ГЭН питающих энергосистем. Расчётный максимум электрической нагрузки фермы формируется в утренние часы и равен 769 кВт.

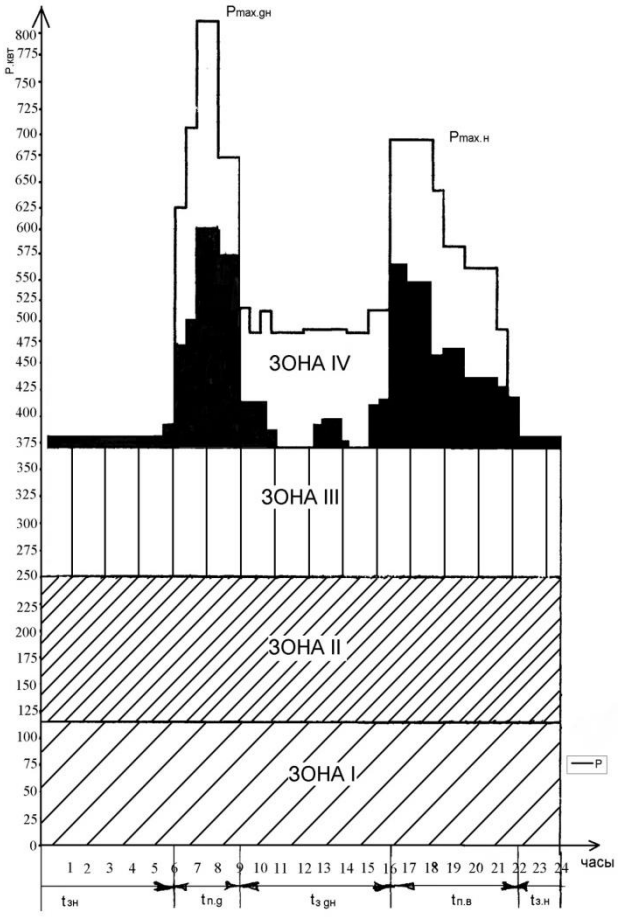


Рис. 1. График электрической нагрузки молочно-товарной фермы на 400 коров при свободном режиме электропотребления (*пояснения в тексте*)

Базовая часть ГЭН создаётся постоянными в течение 24 часов нагрузками на подогрев приточного воздуха в 2 коровниках (зона I) и родильном отделении (зонаII) и на отопление всех помещений фермы (зона III). Суммарная мощность базовой части ГЭН равна 371 кВт.

Зона IV ГЭН, определяющая его неравномерность, обусловлена характером суточных графиков расхода энергии на силовые процессы, освещение и подогрев приточного воздуха в помещениях периодического использования. Максимумы нагрузки по этим процессам совпадают и составляют 220 кВт (силовые процессы и освещение) и 178 кВт соответственно. Расчётный максимум зоны IV равен 398 кВт.

Внепиковые резервы суточного ГЭН фермы определяются глубиной и длительностью ночного и дневного провалов зоны IV.

Суммарная расчётная нагрузка тепловых процессов вентиляции и отопления фермы

$$P_{в-о\sum} = P_{вк} + P_{вро} + \sum_{i=1}^{5} P_{впер} + P_{о\sum} =$$

$$-116+110+145+178 = 549\ кВт.$$

Расчётное суточное потребление энергии на вентиляцию и отопление фермы $А_{в\text{-}о\ сут}$ = =7626 кВт·ч, а годовое $А_{в\text{-}о\ год}$= 609130 кВт·ч. Доля электропотребления на цели отопления фермы в суммарном электропотреблении на вентиляцию и отопление составляет в суточном и годовом разрезе

$К_{о\ сут}=А_{осут}/А_{в\text{-}о\ сут}$=3480/7626=0,5;

$К_{о\ год=}\ А_{о\ год}/А_{в=о\ год}$=313761/609130=0,5.

Рассмотрим, как изменится ГЭН фермы при переводе отопления на внепиковый, принудительный режим электропотребления посредством применения электроотопительных установок с аккумуляцией тепла (ЭТАУ).

При использовании ночного и дневного провалов длительностью 8 и 7 часов соответственно для выведения из «пиковых» часов суток всей отопительной нагрузки фермы и выравнивания ГЭН количество аккумулируемой тепловой энергии составляет

$$A_{ак}^{15} = P_{о\sum} \times (24 - \tau_{з\sum}) =$$

$$= 145 \times (24-15) = 1315\ кВт \cdot ч,$$

где $\tau_{з\sum}$ - суммарная длительность зарядки ЭТАУ в течение суток, равная $\tau_{зн} + \tau_{зд} 8+7 = 15\ ч.$

Суммарная расчётная мощность отопительных приборов фермы в режиме аккумуляции тепловой энергии при длительности ночной зарядки $\tau_{нз}$ =8 ч и дневной зарядки $\tau_{дз}$ =7 ч равна $Р_{ак15}=А_{ак15}/\tau_{з\sum}$ =1315/15=87 кВт, а суммарная установленная мощность при внепиковом потреблении

$$P_{ЭТАУ\sum} = A_{о_{сут}} / \tau_{з\sum} = P_{о\sum} \times 24/(\tau_{зн} + \tau_{зо}) =$$

$$= P_{о\sum} \times (24/\tau_{з\sum}) = 145 \times 1{,}6 = 232\ кВт.$$

При этом мощность ЭТАУ, отдаваемая в прямоточном круглосуточном режиме, равна $P_{о\sum}$ (145 кВт).

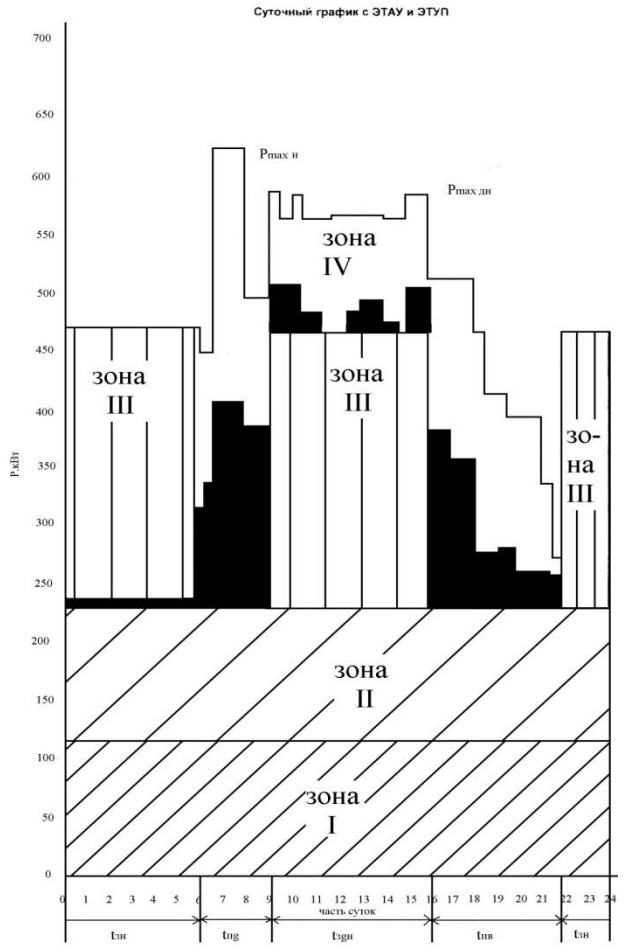


Рис. 2. График электрической нагрузки молочно-товарной фермы на 400 голов
(пояснения в тексте)

В соответствии с приведённым расчётом построен ГЕН фермы при принудительном (внепиковом) электропотреблении на цели отопления в режиме $\tau_{з\sum} = 15\ ч$ (рис. 2).

При этом мощность ЭТАУ, отдаваемая в прямоточном круглосуточном режиме, равна $P_{o\sum}$ = 145 кВт.

В соответствии с приведённым расчётом построен ГЭН фермы при принудительном (внепиковом) электропотреблении на цели отопления в режиме $\tau_{з\sum} = 15\ ч$ (рис. 2).

Из сравнения ГЭН фермы по рис. 1 и 2 видно, что расчётная электрическая нагрузка фермы при внепиковом электропотреблении на цели отопления, определяемая по утреннему максимуму, снижается с 769 до 624 кВт, т.е. на 20% при существенном выравнивании ГЭН в целом.

Для энергетической характеристики общей структуры системы вентиляции и отопления фермы, построенной с сочетанием установок прямоточного (ЭТУП) и теплоаккумулирующего типа (ЭТАУ), введём коэффициент $b_{ак}$, определяющий долю аккумулируемой энергии в выполнении всей тепловой нагрузки вентиляционно-отопительных систем.

Коэффициент аккумуляции в общем случае равен

$$b_{ак}=A_{аксут}/A_{в\text{-}о\ сут}.$$

В нашем частном случае, когда нагрузка ЭТАУ (отдаваемая мощность $P_{o\sum}$) постоянна в течение расчётных суток

$$b_{ак}=\frac{P_{0\sum}\ (24-\tau_{з\sum})}{A_{в-осут.}}.$$

Таблица 1

Характеристика суточного полезного расхода энергии на отопление фермы

Наименование помещения	Обозначение процесса	Расчётная нагрузка, кВт	Время действия, часы суток	Длительность процесса, ч	Расход энергии, кВт.ч
Коровник № 1,2	-	-	-	-	-
Родильное отделение	1о	16	Круглосуточно	Круглосуточно	384
Доильно-молочный блок	2о	38	Круглосуточно	Круглосуточно	912
Галерея	3о	3	Круглосуточно	Круглосуточно	72
Ветсанпропускник	4о	27	Круглосуточно	Круглосуточно	648
Амбулатория	5о	9	Круглосуточно	Круглосуточно	216
Блок кормовой зоны	6о	22	Круглосуточно	Круглосуточно	523
Дезбарьер	7о	10,5	9^{00}-19^{00}	10	105
ИТОГО:					$A_{от}$= 2865

Среднесуточная нагрузка, кВт, $P_{ср\ от}$=2865/24=119.

Таблица 2

Характеристика суточного полезного расхода энергии на нагрев приточного воздуха

Наименование помещения	Обозначение процесса	Расчётная нагрузка, кВт	Время действия, часы суток	Длительность процесса, ч	Расход энергии, кВт·ч
Коровник № 1,2	1в	68х2=136	Круглосуточно	24	3264
Родильное отделение	2в	120	Круглосуточно	24	2880
Доильно-молочный блок	3в	48	6^{00}-8^{30} 18^{30}-21^{00}	5	240
Галерея	-	-	-	-	
Ветсанпропускник	4в	37	6^{00}-22^{00}	16	592
Амбулатория	-	-	-	-	-
Блок кормовой зоны	5в	50	5^{30}-18^{30}	13	650
Дезбарьер	-	-	-	-	-
ИТОГО:					$A_в$= 7626

Среднесуточная нагрузка, кВт $P_{ср\,в}$ =7626/24=317,75.

Таблица 3

Характеристика суточного полезного расхода энергии на горячее водоснабжение фермы

Наименование помещения	Обозначение процесса	Наименование процесса, температура воды	Суточный расход воды при технической температуре	Суточный расход при 90°С	Расход энергии, кВт·ч
Коровник № 1,2	1	Поение, 8-12°С	13000 × 2	1070 × 2	212
Родильное отделение	1	Поение	2300 3250	244,6 267,7	24,2 26,5
Доильно-молочный блок	11	Санитарно-гигиенические нужды	920	548	58
Галерея	-	-	-	-	-
Ветсанпропускник	111	Санитарно-гигиенические нужды	2020	1422	140
Амбулатория	-	-	-	-	-
Родильное отделение	1V	Санитарно-гигиенические нужды	2156	1400	138,6
ИТОГО:					$A_{г.в}$= 599

Среднесуточная нагрузка, кВт $P_{ср\,г.\,в}$ =599/24=24,96.

Таблица 4

Характеристика суточного полезного расхода энергии на электропривод и освещение

Наименование помещения	Обозначение процесса	Наименование процесса и оборудования	Расчётная нагрузка, кВт	Время действия, ч·сут.	Длительность процесса, ч	Расход энергии, кВт·ч
Доильно-молочный блок	1с	Доение: «Тандем» - 2 шт.	19	6^{00}-9^{30} 18^{00}-21^{30}	7,0	132
		Вакуум-насосы, 4,75 кВт - 4 шт.	21	6^{00}-9^{30} 18^{00}-21^{30}	7,0	147
Родильное отделение	2с	Доение в станках: Вакуум-насос, 3кВт -1 шт.	3	6^{00}-9^{30} 12^{00}-14^{00} 18^{00}-21^{30}	7,0	21

Продолжение табл. 4

Наименование помещения	Обозначение процесса	Наименование процесса и оборудования	Расчётная нагрузка, кВт	Время действия, ч·сут.	Длительность процесса, ч	Расход энергии, кВт·ч
Блок кормовой зоны	3с	Приготовление корма: КОРК-15-140 кВт-1шт.	140	7^{00}-9^{00} 16^{00}-18^{00}	4,0	560
Ферма в целом	4с	Освещение	40 10 20 20	6^{00}-8^{00} 16^{00}-21^{00} 21^{00}-6^{00} 15^{00}-16^{00} 8^{00}-9^{00}	7,0 9,0 2,0	280 90 40
Родильное отделение	5с	Уборка навоза	19,5	6^{00}-6^{30} 9^{30}-10^{00} 12^{00}-12^{30} 15^{00}-15^{30} 18^{00}-18^{30} 21^{00}-21^{30}	3,0	58,5
Коровник № 1,2	6с	Уборка навоза	$19{,}5\times 2$	Периодич., 6^{30}-19^{30}	5,0	117
ИТОГО:						A_c=1446,5

Таблица 5

Структура суточного и годового полезного расхода энергии фермой по основным группам процессов

Наименование процесса	Расход энергии, кВт·ч		
	Условное обозначение	Суточный	Годовой
Электропривод и освещение	A_c	1446	464422
Теплоснабжение:	$A_т$	11090	839272
Отопление	$A_{от}$	2895	249017
Нагрев приточного воздуха	$A_в$	7626	360113
В том числе:			
В процессах периодического действия			
В процессах круглосуточного действия	$A_{вп}$	1482	168104
Горячее водоснабжение	$A_в$	6144	192009
Все энергопотребляющие процессы фермы	$A_{гв}$ A_o	599 12536	230142 1303694

При $\tau_{з\sum}$ =15 ч.

$$b_{ак}^{15}=\frac{145(24-15)}{7626}=\frac{1315}{7626}=0{,}172.$$

При использовании для зарядки только ночных часов спада нагрузки в питающих электросетях ($\tau_{з\sum}=\tau_{зн}=8\,ч$)

$$b^{8}{}_{ак}=\frac{145(24-8)}{A_{в-осут}}=\frac{145\times 16}{7626}=\frac{2320}{7626}=\frac{2320}{7626}=0{,}304.$$

Резюмируя результаты проведенных расчётов и сравнительный анализ ГЭН фермы при двух режимах злектропотребления: свободном (рис. 1) и принудительном внепиковом на цели отопления (рис. 2) – можно сделать следующие **выводы.**

1. Современная молочная ферма с прогрессивными технологиями содержания животных и нормированными условиями труда работников является мощным электропотребителем, расчётная нагрузка которого определяется в основном расходом энергии на вентиляционно-отопительные тепловые нужды и суточными режимами работы вентиляционно-отопительного оборудования; суточный расчётный ГЭН фермы имеет неравномерный характер с двумя пиками нагрузки в утренние (6^{00}-9^{00}) и вечерние (16^{00}-22^{00})

часы и спадами нагрузки ночью и днём (с 9^{00}до15^{00}).

2. ГЭН фермы с достаточным приближением коррелируется с ГЭН питающих энергосистем.

3. Неравномерность ГЭН фермы создаётся силовыми процессами (в основном – приготовлением кормов), освещением и процессами подогрева приточного воздуха в помещениях периодического использования (блок кормовой зоны, доильно-молочный блок, ветсанпропускник, амбулатория).

4. Провалы в суточном ГЭН фермы, создаваемые этими процессами, могут быть использованы для подключения к электропитанию отопления фермы по принудительному графику, что позволяет снизить на 20% расчётную электрическую нагрузку фермы и существенно выравнить ГЭН в целом.

5. При использовании внепиковых резервов ГЭН фермы суточная длительность зарядки отопительных приборов с аккумуляцией тепла составляет $\tau_{з\sum} = 15\ ч.$

6. Коэффициент аккумуляции $b_{ак}$, характеризующий долю участия аккумулируемой в отопительных ЭТАУ тепловой энергии в выполнении $\tau_{з\sum} = 15\ ч$ равен 0,15; при подключении ЭТАУ к электропитанию только всей тепловой нагрузки вентиляционно-отопительных систем, при которой в ночные часы спада нагрузки энергосистем равен 0,3.

7. Эффект применения ЭТАУ в структуре отопительно-вентиляционной системы фермы формируется за счёт: 1) 20%-го снижения расчётной нагрузки фермы (20%), а следовательно, платы за неё; 2) снижения затрат на фермерские электросети 0,4 кВ; 3) использования льготных внепиковых тарифов на потребляемую энергию; при использовании дифференцированного по часам суток 50%-го расхода энергии на вентиляционно-отопительные нужды он оплачивается по льготным ценам; при использовании «ночного» тарифа, действующего 8 часов, эта доля составляет 25%.

8. Эффект в питающих энергосистемах в значительной степени зависит от режимных характеристик электропотребителей, причём выравненный график их нагрузки наиболее благоприятен для энергосистемы

Литература

1. *Растимешин С.А.* Энергосберегающие системы и технические средства отопления и вентиляции животноводческих помещений / С.А. Растимешин, С.С. Трунов. - М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2016. – 180 с., илл.

Сведения об авторах:
Трунов Станислав Семенович – канд. техн. наук, доцент, e-mail: alla-rika@yandex.ru,
Дудин Степан Николаевич – аспирант,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL FRACTION OF USE OF THE HEAT ACCUMULATORS IN THE OVERALL ENERGY BALANCE OF ELECTROTHERMAL INSTALLATIONS OF THE FARM

S. Trunov, S. Dudin

A study of energetic characteristics of electrothermal equipment and modes of their work on the cattle farm is presented. It identifies the share of the optimal ratio deploycompletion equipment in the overall energy balance of thermoelectric plants of dairy cattle farms. It is shown that failures in the daily electrical load of farm-generated production processes can be used to connect to the power supply heating for the farm for the forced schedule that allows you to reduce 20% of the estimated electrical load of the farm and to substantially align the load. When using off-peak reserves of a farm, the daily charging time of heating appliances with heat storage is 15 hours. Coefficient of accumulation bak characterizing a stake accumulated in the heating thermal energy storage in the performance is equal to 0,15; when you connect storage to power supply only of the entire heat load of the ventilation-heating systems, which in the night hours downturn load of power systems equal to 0.3. It is established that the effect of the storage in the structure of a heating and ventilation system of the farm liable shall be assured by: 1) a 20% reduction in the load of the farm (20%), and therefore payment for it; 2) reducing the cost of farm electrical networks of 0.4 kV; 3) use of

preferential tariffs for off-peak energy consumption; the use of differentiated by the hour of day 50% of the energy consumption for ventilation and heating needs to be paid at a reduced price; when using the "night" rate effective 8 hours this share is 25%.

Keywords: energy saving, housing, heat accumulators, the graphs of electrical loads, the accumulation coefficient.

References

1. Rastimesin S.A., Trunov S.S. Jenergosberegajushhie sistemy i tehnicheskie sredstva otoplenija i ventiljacii zhivotnovodcheskih pomeshhenij [Energy Saving system and technical means of heating and ventilation of livestock buildings]. – Moscow, VIESH, 2016. 180 ps.

Authors:
S. Trunov – Ph. D. (Engineering), associate professor,
e-mail: alla-rika@yandex.ru,
S. Dudin –graduate student,
FSBSI «Federal scientific agro-engineering center VIM», Moscow, Russia.

• **For citation:** Trunov S.S., Dudin S.N. Determination of the optimal fraction of use of the heat accumulators in the overall energy balance of electrothermal installations of the farm. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 13-20. (In Russian)

УДК 662.9

ПОВЕДЕНИЕ ЖИВОТНЫХ КАК КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЕЙ

С.А. Растимешин[1], С.С. Трунов[2]
[1]Российский государственный аграрный университет (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева), Москва, Россия
[2]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия

В статье дана количественная оценка и проанализирована эффективность различных способов и устройств локального электрообогрева, получивших объективное подтверждение с точки зрения поведенческих реакций животных. При этом показано, что поведение животных позволяет не только давать объективную оценку сравнительной эффективности различных локальных обогревателей, но в некоторых случаях и управлять режимами их работы, включая самих животных в процесс регулирования.

Ключевые слова:*электрообогрев, локальный обогреватель, индекс функциональной активности животного.*

Статья поступила в редакцию 03.10.2017 **Принято к публикации 19.12.2017**

• **Для цитирования:**Растимешин С.А., Трунов С.С.Поведение животных как критерий эффективности локальных электрообогревателей // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 21-25.

Как известно, молодняк сельскохозяйственных (да и не только сельскохозяйственных) животных уже в самом раннем возрасте способен выбрать для себя сам наиболее благоприятные условия содержания (в том числе и из условий теплового комфорта).

Даже слепые щенки и котята, попав на холодную поверхность, увеличивают двигательную активность до тех пор, пока не придут в соприкосновение с более теплой поверхностью. Аналогично ведут себя и другие животные.

Рис. 1. Поиск ягнятами комфортных тепловых условий – размещение их в кормушках

Новорожденные ягнята, например, уже в течение первых двух часов жизни реагируют на окружающую температуру, выбирая в оцарках лучшие с точки зрения теплового комфорта места. В дальнейшем по мере роста они стараются разместиться в теплых непродуваемых местах (на рис. 1 показано размещение ягнят в деревянных кормушках).

Цыплята же могут ложиться под брудером, даже образуя характерный шестигранник, соответствующий излучаемому зонтом брудера слабому радиационному тепловому потоку (рис. 2).

Рис. 2. Характерная поведенческая реакция цыплят раннего возраста на тепловые условия содержания под электробрудером

Рис. 3. Обогрев поросят и ягнят «светлыми» электрическими источниками излучения на базе инфракрасных ламп

Поэтому объективно оценить комфортность тепловой обстановки в зонах размещения животных, а также эффективность действия различных средств локального обогрева, можно и с точки зрения поведенческих реакций молодняка.

Так, при применении инфракрасных облучателей одним из объективных показателей их эффективности служит поведение животных. Характерно это для поросят (и не только). Например, в условиях одного и того же помещения при недостаточной высоте подвеса инфракрасного облучателя поросята скучиваются под ним, при слишком низкой высоте – расползаются в стороны, образуя характерное «кольцо». При правильно выбранной высоте подвеса облучателя поросята свободно располагаются под ним. Аналогично ведут себя ягнята и другие животные (рис. 3).

Поэтому объективно оценить комфортность тепловой обстановки в зонах размещения животных, а также эффективность действия различных средств локального обогрева можно и с точки зрения поведенческих реакций молодняка.

Для сравнительной оценки обогревателей для ягнят с точки зрения их поведенческих реакций нами проведены сравнительные исследования, в которых были использованы устройства комбинированного обогрева типа ЭИС-0,37-И1 «Руно» и инфракрасные облучатели типа ОВИ-1 и ИКУФ-1. Исследования проводили по двум общепринятым технологиям выращивания ягнят – искусственного и вместе с матками.

В условиях овцеводческого хозяйства установлено, что при искусственном выращивании ягнята, с первого дня жизни отбитые от маток и помещенные в оцарки, оборудованные устройствами комбинированного обогрева, начали заходить на них в течение первых двух часов. Затем обогревательные площадки были выбраны ими в качестве места отдыха, где они проводили большую часть суток. В дальнейшем эта тенденция сохранилась.

Поведение ягнят показало, что при искусственном выращивании они отдают предпочтение комбинированным обогревателям по сравнению с указанными инфракрасными облучателями. При выращивании ягнят с матками был зафиксирован аналогичный результат.

Для более точной оценки поведения ягнят на 10-е дни экспериментов в течение двух смежных был проведен хронометраж. В работе использовали метод визуальных наблюдений. Поведение ягнят описывали при помощи Азбуки поведения животных [1], в соответствии с которой поведение ягнят было разбито на 5 элементов двигательной активности, каждому из которых был присвоен соответствующий символ (табл. 1). Элементы поведения фиксировали через каждые 15 минут. После статистической обработки материала наблюдений группы ягнят оценивали по индексам функциональной активности ***ИФА*** [1, 2]:

$$ИФА = \Delta T_{хр} / T_{хр}, \quad (1)$$

где $\Delta T_{хр}$ – время функциональной активности, ч; $T_{хр}$ – общее время наблюдений, ч.

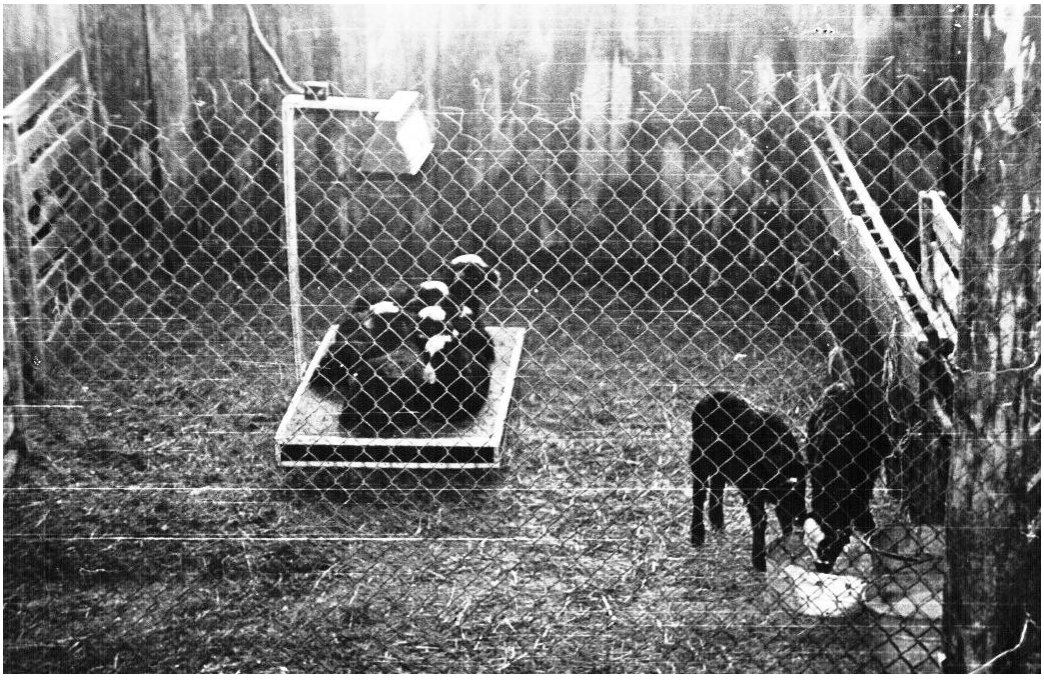


Рис. 4. Характерный момент поведения ягнят романовской породы при искусственном выращивании с использованием устройств локального комбинированного электрообогрева

Таблица 1

Результаты исследований поведенческих реакций молодняка животных при выращивании с использованием рекомендуемых и обычно применяемых устройств локального обогрева

Символ	Элемент поведения	Индексы функциональной активности (ИФА)		
		Обогрев ягнят в возрасте 10 дней при помощи комбинированных обогревателей	Обогрев телят в возрасте 15 дней при помощи ИК обогревателей	Обогрев поросят в возрасте 10 дней при помощи комбинированных электрообогревателей
ЛУ	Лежание в локальных обогреваемых зонах	0,530	0,370	0,540
СУ	Стояние в локальных обогреваемых зонах	0,070	0,150	0,030
Л	Лежание вне локальных обогреваемых зон	0,138	0,180	0,100
Е	Еда	0,132	0,200	0,200
Д	Другие элементы поведения	0,130	0,100	0,130

Для описания поведения животных при локальном обогреве из азбуки поведения [1] были выбраны индексы пищевой и двигательной активности как наиболее информативные [3, 4]. Применение ***ИФА*** позволило произвести интегрированную количественную оценку поведения животных, рассматривая его как функцию времени.

Результаты вычислений по (1) приведены в таблице 1 (хронометраж поведения молодняка животных). На основании табл. 1 ***ИФА*** при заполнении ягнятами устройств комбинированного обогрева $ИФА_{УКО}$ определим как

$$\boldsymbol{ИФА_{УКО} = ИФА_{ЛУ}+ИФА_{СУ} = 0,53+0,07 = 0,6}. \quad (2)$$

Следовательно, ягнята в 10-дневном возрасте около 60% времени суток проводят в зо-

нах действия устройств локального комбинированного обогрева.

Аналогичные вычисления показали, что ***ИФА*** при обогреве облучателем типа ИКУФ-1 равен 0,3, а при обогреве облучателем типа ОВИ-1 – 0,25.

Циклограммы заполнения ягнятами локальных обогреваемых зон при комбинированном и инфракрасном обогреве показаны на рис. 5. На рисунке отражено суммарное время заполнения животными обогреваемых зон (***ЛУ+СУ***) и время кормления (***Е***).

Полученные результаты можно объяснить большей эффективностью предлагаемых электрообогревателей – более высоким значением $t_{о.п}$, создаваемым для ягнят устройствами комбинированного электрообогрева по сравнению со «светлыми» инфракрасными облучателями, а также отсутствием отпугивающего действия яркого светового потока в связи с применением в комбинированных обогревателях «темных» инфракрасных облучателей (для ягнят как «короткодневных» животных это особенно характерно).

Экспериментальные исследования, проведенные в соответствии с нашими рекомендациями [6] при создании локальных обогреваемых зон для телят при помощи «темных» инфракрасных облучателей, а также для поросят (при помощи установок локального комбинированного обогрева ЭИС-11-И1 «Комби» и комплекта К-С-16), показали аналогичные результаты (табл. 1).

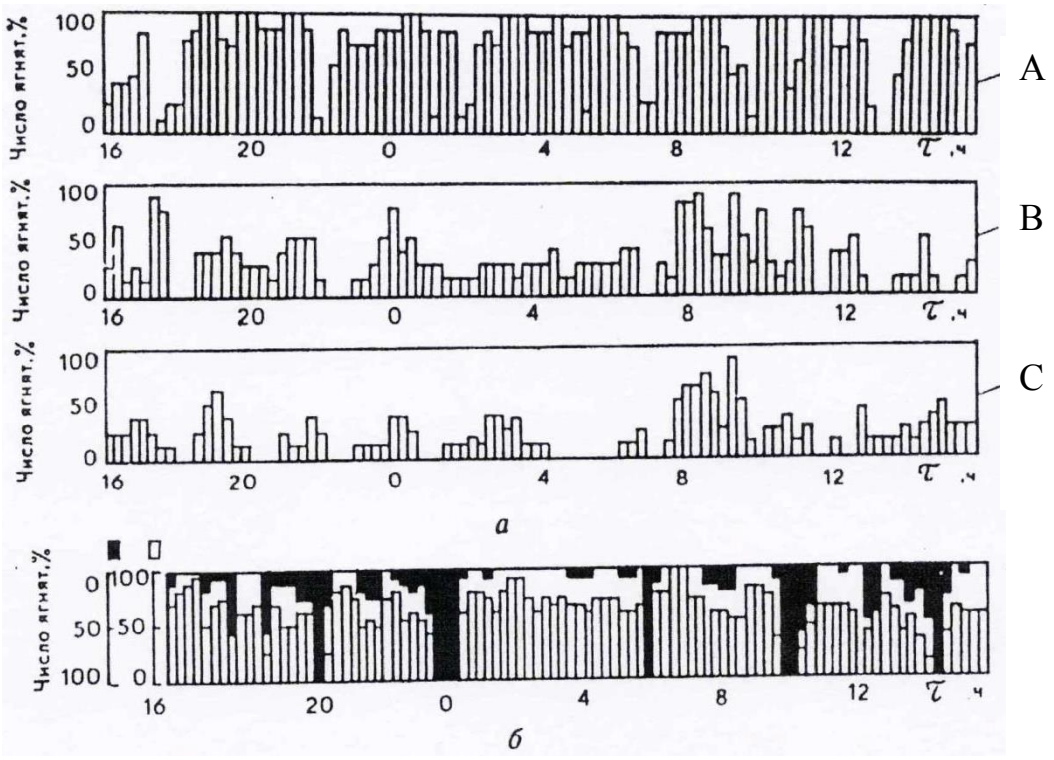


Рис. 5.Суточная циклограмма заполнения ягнятами устройств локального электрообогрева при $t_в$=3 – 7°С

а **- при выращивании с матками:**
А – устройство комбинированного обогрева; В – инфракрасный облучатель типа ИКУФ-1 при высоте подвеса 1000 мм; С – инфракрасный облучатель типа ОВИ-1 с лампой ИКЗ-220-500-1 при высоте подвеса 1300 мм;
б **- при искусственном выращивании с использованием устройств комбинированного обогрева:**
- кормление; - заполнение обогреваемых площадок устройств комбинированного обогрева

Так, визуальные наблюдения за поведением молодняка показали, что телята в возрасте 15 дней, поступившие в цех доращивания, уже в течение первого дня содержания выбрали локальные обогреваемые зоны в качестве мест отдыха. В дальнейшем эта тенденция сохранилась. Телята свободно (не скучиваясь) располагались в обогреваемых зонах, что характеризует доста-

точную площадь обогрева, приемлемую высоту подвеса инфракрасных облучателей и требуемую величину теплового потока от последних, достаточную для обеспечения необходимых тепловых условий при температуре помещения 5...8°С. При этом для телят в возрасте 15 суток

$$ИФА_{ИК}=ИФА_{ЛУ}+ИФА_{СУ}=0,37+0,15=0,52. \quad (3)$$

Таким образом, эффективность способов и устройств локального электрообогрева по сравнению с традиционно применяемыми получила объективное подтверждение с точки зрения поведенческих реакций животных.

Выводы

Поведение животных позволяет не только давать объективную оценку эффективности различных локальных обогревателей, но в некоторых случаях и управлять режимами их работы, включая самих животных в процесс регулирования. Более подробно эта тема раскрыта в [5 – 7].

Литература

1. *Великжанин В.И.* Классификация систем поведения сельскохозяйственных животных // В сб.: Поведение животных в условиях промышленных комплексов. Научные труды ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1979. С. 14-34.
2. *Винников Н.И.* Оценка средств локального электрообогрева ягнят / Н.И. Винников, С.А. Растимешин // Животноводство. 1987. № 3. С. 48-49.
3. *Новицкая Н.И.* Системный анализ поведения коров на молочном комплексе «Ленсоветовский» Ленинградской области / Н.И. Новицкая, Н.А. Шавилова, Г.Р. Сидоренко// В сб.: Поведение животных в условиях промышленных комплексов. Научные труды ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1979. С. 42-52.
4. *Новицкий Б.* Поведение сельскохозяйственных животных. Пер. с польского. – М.: Колос, 1981. – 190 с.
5. *Мурзин В.К.* Локальный электрообогрев поросят-сосунов. Автореф. дис. ... доктора техн. наук. – Челябинск: ЧИМЭСХ, 1989. - 44 с.
6. *Растимешин С.А.* Обоснование параметров локальных электрообогревателей молодняка сельскохозяйственных животных. Дис. … доктора техн. наук. – М.: ВИЭСХ, 1995.
7. *Растимешин С.А.* Энергосберегающие системы и технические средства отопления и вентиляции животноводческих помещений / С.А. Растимешин, С.С. Трунов. – М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2016. – 180 с.

Сведения об авторах:

Растимешин Сергей Андреевич – доктор техн. наук, профессор, e-mail: resurs00@mail.ru,
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

Трунов Станислав Семенович – канд. техн. наук, доцент, e-mail: alla-rika@yandex.ru,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия.

THE BEHAVIOR OF ANIMALS AS THE CRITERION OF EFFICIENCY OF LOCAL SPACE HEATERS

S. Rastimeshin, S. Trunov

The article provides a quantitative assessment and evaluates the effectiveness of different methods and devices for local heating, which received objective evidence from the point of view of behavioral reactions of animals. It is shown that the behavior of animals allows not only to make an objective assessment of the comparative effectiveness of various local heaters, but in some cases to control their modes of operation, including the animals themselves in the regulatory process.

References

1. Velikzhanin V.I. Klassifikacija system povedenija sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh [Classification of systems behavior of farm animals]. In the collection: The behavior of animals in industrial complexes. Scientific proceedings of VASKHNIL. – Moscow, Kolos, 1979. P. 14-34. (In Russian)
2. Vinnikov N.A., Rastimesin S.A. Evaluation of local heating of the lambs. J. *Zhivotnovodstvo*. 1987; 3:48-49. (In Russian)
3. Novitskaya N.A., Avilova N.A., Sidorenko G.R. System analysis of behaviour of cows at a dairy complex Lensovetovskiy Leningrad region. In the collection: The behavior of animals in industrial complexes. Scientific proceedings of VASKHNIL. – Moscow, Kolos, 1979. – P. 42-52. (In Russian)
4. Nowicki B. The behavior of farm animals. Translation from Polish. – Moscow, Kolos, 1981. - 190 ps. (In Russian)
5. Murzin V.K. Local electrical heating of piglets. Abstract of the Thesis ... D. Sc. (Engineering). - Chelyabinsk, CHIMESKH, 1989. – 44 ps. (In Russian)
6. Rastimesin S.A. Justification of parameters of the local radiant heating of young farm animals. The Thesis ... D. Sc. (Engineering). – Moscow, VIESH, 1995. (In Russian)
7. Rastimesin S.A., Trunov S.S. Energy Saving system and technical means of heating and ventilation of livestock buildings. – Moscow, VIESH, 2016. – 180 ps. (In Russian)

Authors:

S. Trunov – Ph. D. (Engineering), professor,
e-mail: alla-rika@yandex.ru,
FSBSI «Federal scientific agro-engineering center VIM», Moscow, Russia.

S. Rastimeshin – D. Sc. (Engineering), professor, e-mail: resurs00@mail.ru,
RGAU-MSHA of K.A.Timiryazev, Moscow, Russia.

• **For citation:** Rastimeshin S.A., Trunov S.S. The behavior of animals as the criterion of efficiency of local space heaters. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 21-25. (In Russian)

УДК 621:365.48

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ В ЗОНАХ ОБОГРЕВА МОЛОДНЯКА ЖИВОТНЫХ ИНФРАКРАСНЫМИ ОБОГРЕВАТЕЛЯМИ

А.В.Кузьмичев
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), г. Москва, Россия

Научные положения статьи найдут применение в теоретических и практических работах при создании новых средств обогрева, разработке алгоритмов и режимов работы систем управления для создания теплового комфорта при обогреве животных, например телят, поросят и др., а также для оценки эффективности использования конкретных типов инфракрасных обогревателей. Приведен новый способ определения и оценки тепловых условий в зонах обогрева и содержания молодняка животных, включающий определение критериев второго условия комфортности, на основе которого описывают температурную обстановку в зоне обогрева, и оценки различных лучистых обогревателей инфракрасного излучения.

Ключевые слова: *гомойотермная зона, термонейтральная зона, условия теплового комфорта, локальный обогрев, температура.*

Статья поступила в редакцию 20.09.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Кузьмичев А.В. Определение и оценка тепловых условий в зонах обогрева молодняка животных инфракрасными обогревателями // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 26-31.

Введение

К настоящему времени существует значительное число исследований, связанных с обоснованием тепловых условий для содержания молодняка животных и методическими положениями для расчета технических средств обеспечения комфортного состояния. Известные методики расчета и выбора технических средств локального обогрева обладают различной достоверностью и точностью описания теплового состояния в зонах обогрева. Недостатком существующих методических положений является отсутствие или недостаточно выраженные требования к неравномерности тепловых потоков, образующихся в результате воздействия радиационной температуры ограждающих конструкций и применения лучистых обогревателей. В результате уже существующие, а также вновь создаваемые локальные обогреватели и средства их автоматизации обладают недостаточной эффективностью. Возникает необходимость в совершенствовании алгоритмов управления и системы сбора информации о состоянии объекта, интегрирование в систему управления обогревом, а также в уточнении и обосновании области возможного применения уже существующих средств обогрева.

Метод исследования.Для описания теплового состояния животных используют два определения условия комфортности. Первое условие комфортности определяет область сочетаний температуры внутреннего воздуха t_v и радиационной температуры помещенияt_r, при которых животное, находясь в зоне отдыха, не испытывает ни перегрева, ни переохлаждения. Второе условие комфортности определяет допустимые температуры нагретых и охлажденных поверхностей, находящихся в непосредственной близости от животных.

Для конкретного возраста и вида животного определяются допустимые границы изменения климатических факторов внешней среды. Температура тела животного в пределах «нижней критической температуры» и «верхней критической температуры» поддерживается постоянной в результате химической терморегуляции. При этом в границах термонейтральной зоны обмен веществ и продуцирование тепла осуществляется в минимальных размерах. Гомойотермная зона $U_г$ включает в себя термонейтральную область $U_н$,

$$t_{т.н} \le U_н \le t_{т.в} \in t_{кр.н} \le U_г \le t_{кр.в},$$

где $t_{н.н}$, $t_{н.в}$ –нижнее и верхнее значения границы температур термонейтральной зоны; $t_{кр.н}$, $t_{кр.в}$– нижняя и верхняя критическая температура гомойотермной зоны.

В области $U_г$ имеет место диапазон значений теплопродукции $Q_ж$ организма животного, часть которой расходуется на поддержания гомеостаза внутренней среды и теплообмен с окружающей средой, основной составляющей которой являются явные теплопотери $Q_{яв}$, и включают в себя потери энергии конвекцией, излучением и кондукцией.

Для конкретного вида и возраста (массы) животного введем условие, определяющее среднюю удельную теплоотдачу с поверхности тела $q_{уд}= Q_{яв}/F_ж$, тогда тепловое состояние организма животного будет соответствовать температурным параметрам зоны $U_г$ при условии $Q_{яв}(t_{кр.н})/F_ж > Q_{яв}/F_ж > Q_{яв}(t_{кр.в})/F_ж$, т.е. организм будет нормально развиваться и адаптироваться к внешним условиям, если средняя удельная теплоотдача $q_{уд}$ не выйдет за указанные границы, это соответствует понятию первого условия комфортности.

Основное требование при проектировании системы микроклимата в животноводческих помещениях заключается в создании таких тепловых условий в зоне обитания животных, которые обеспечат оптимальный тепловой комфорт в зонах отдыха и содержания животных, это соответствует основному обмену в термонейтральной области $t_{н.н} \leq U_н \leq t_{н.в}$. В реальных условиях на организм животного оказывают тепловое воздействие нагретые и охлажденные поверхности, различные обогреватели лучистого, кондуктивного типа и др. Определяющей величиной в этом случае является интенсивность теплоотдачина наиболее невыгодно расположенной и чувствительной части поверхности животного dF_i, на которую оказывают влияние нагретые или холодные поверхности в зоне обитания молодняка.

Уравнение теплообмена на поверхности тела определяется плотностью теплового потока в виде функции координат и времени $q_i=-k\partial T/\partial n|_{гр}$, а также условиями теплоотдачи с поверхности $q_{iот}=\alpha(T_{гр}–T_{ср})$, где α – коэффициент теплоотдачи; $T_{гр}$ и $T_{ср}$ – температура поверхности тела и среды, соответственно. Интегральное выражение $Q_{яв} = \int_F(-k\partial T/\partial n)dF$ определяет суммарный тепловой поток на границе оболочки. Выражение для интенсивности теплоотдачи определим соотношениями

$$[dQ_{яв}/dF]_i \stackrel{def}{=} q_i=\frac{d}{dF}(\int_F(-k\partial T/\partial n)dF)_i$$

и $q_{iот}=\alpha(T_{гр}–T_{ср})$

при условии $q_i=q_{iот}$.

В соответствии с изложенными положениями введем определения теплового комфорта [1, 2]:

- *относительно благоприятной* будет такая общая температурная обстановка в зоне нахождения животных, которая соответствует гомойотермной области температур $t_{кр.н} \leq U_г \leq t_{кр.в}$, при этом отдается все явное тепло, организм животного не испытывает перегрева или переохлаждения, а средняя удельная теплоотдача $Q_{яв}/F_ж$ не превышает предельных значений средней теплоотдачи на границах области $U_г$:

$$Q_{яв}(t_{кр.н})/F_ж > Q_{яв}/F_ж > Q_{яв}(t_{кр.в})/F_ж, \quad (1)$$

где $Q_{яв}(t_{кр.н})$ *и* $Q_{яв}(t_{кр.в})$ – явные тепловыделения животного при нижней критической температуры $t_{кр.н}$ и верхней критической температуре $t_{кр.в}$ гомойотермной области, *Вт;* $F_ж$ – поверхность животного, $м^2$;

- *благоприятной* будет такая общая температурная обстановка в зоне нахождения животных в гомойотермной области температур $t_{кр.н} \leq U_г \leq t_{кр.в}$, при которой отдается все явное тепло, организм животного не испытывает перегрева или переохлаждения, и при этом интенсивность теплоотдачи $q_i= [dQ/dF]_i$ с различных участков тела животного не должна превышать предельных средних значений удельной теплоотдачи на границах гомойотермной зоны $U_г$: $q_i < Q_{яв}(t_{кр.н})/F_ж$ и $q_i > Q_{яв}(t_{кр.в})/F_ж$, аналитическое выражение благоприятного теплового комфорта:

$$\{Q_{яв}(t_{кр.н})/F_ж > Q_{яв}(U_г)/F_ж > Q_{яв}(t_{кр.в})/F_ж\} \wedge \{Q_{яв}(t_{кр.н})/F_ж > q_i > Q_{яв}(t_{кр.в})/F_ж\}; \quad (2)$$

- *комфортной* будет такая общая температурная обстановка в зоне нахождения животных в области термонейтральных температур $t_{н.н} \leq U_н \leq t_{н.в}$, при которой отдается все явное тепло, не испытывая перегрева или переохлаждения, и при этом средняя удельная теплоотдача $Q_{яв}/F_ж$ не превышает предельных значений средней теплоотдачи на границах термонейтральной области $U_н$:

$$Q_{яв}(t_{н.н})/F_ж > Q_{яв}/F_ж > Q_{яв}(t_{н.в})/F_ж,$$

где $Q_{яв}(t_{н.н})$ и $Q_{яв}(t_{н.в})$ – явные тепловыделения животного при нижней температуре $t_{н.н}$ и верхней температуре $t_{н.в}$ термонейтральной зоны, Вт, и при этом интенсивность теплоотдачи $q_i=[dQ/dF]_i$ с различных участков тела животного не должна превышать предельных средних

значений удельной теплоотдачи на границах области $U_г$, и в аналитическом виде выражение теплового комфорта может быть записано:

$$\{Q_{яв}(t_{н.н})/F_{ж} > Q_{яв}(U_н)/F_{ж} > Q_{яв}(t_{н.в})/F_{ж}\} \wedge \{Q_{яв}(t_{кр.н})/F_{ж} > q_i > Q_{яв}(t_{кр.в})/F_{ж}\}; \quad (3)$$

- *оптимально комфортной* будет такая общая температурная обстановка в зоне нахождения животных в области термонейтральных температур $U_н$, при которой отдается все явное тепло, не испытывая перегрева или переохлаждения и при этом средняя удельная теплоотдача $Q_{яв}/F_{ж}$ не превышает предельных значений средней теплоотдачи на границах термонейтральной области $U_н$:

$$Q_{яв}(t_{н.н})/F_{ж} > Q_{яв}(U_н)/F_{ж} > Q_{яв}(t_{н.в})/F_{ж.},$$

а интенсивность теплоотдачи $q_i = dQ_i/dF_i$ с различных участков тела животного не превышает предельных средних значений удельной теплоотдачи на границах области $U_н$, аналитическое выражение оптимального теплового комфорта имеет вид:

$$\{Q_{яв}(t_{н.н})/F_{ж} > Q_{яв}(U_н)/F_{ж} > Q_{яв}(t_{н.в})/F_{ж})\} \wedge \{(Q_{яв}(t_{н.н})/F_{ж} > q_i > Q_{яв}(t_{н.в})/F_{ж})\}. \quad (4)$$

При воздействии лучистых обогревателей в зоне отдыха животных второе условие комфортности должно ограничивать интенсивность теплообмена животного. Система лучистого обогрева должна обеспечивать тепловой баланс таким образом, чтобы элемент поверхности животного на наиболее невыгодно расположенной к излучению части тела, отдавала окружающим поверхностям в зависимости от возраста и вида животного тепловую энергию в пределах, определяемых благоприятной, комфортной и оптимально комфортной температурной обстановкой в зоне обогрева.

Уравнение теплового баланса для элементарной площадки на поверхности животного в наиболее общем виде выражается:

$$q_i = \alpha_{кл}(\tau_{ж} - t_{в}) + C\varphi b_{м\text{-}п}(\tau_{ж} - t_r) - \varepsilon E, \quad (5)$$

где $\alpha_{кл}$ – локальный коэффициент теплоотдачи на рассматриваемой элементарной поверхности dF_i; C – приведенный коэффициент излучения (C=4,65 Вт/м^{2}К^4); φ – коэффициент облученности элементарной поверхности животного на ограждающие конструкции помещения, рад; $b_{м\text{-}п}=0{,}81+0{,}01\tau_{ср}$ – поправочный температурный коэффициент, $\tau_{ср} = 0{,}5(\tau_{ж}+t_r)$; t_r – средняя температура ограждении помещения; ε – коэффициент поглощения излучения; E – вектор энергетической облученности от излучателя или нагретых поверхностей и нормально направленный на рассматриваемую элементарную площадку, Вт/м^2; $\tau_{ж}$ – температура поверхности животного, ^{0}C.

Теплообмен животного с окружающей средой описывается теплофизической моделью среднестатистического расчетного животного, в которой тело животного представляется геометрически правильной формой: цилиндром, сферой или аппроксимирующими поверхностями. Значение локального коэффициента теплоотдачи $\alpha_{кл}$ для рассматриваемых моделей имеет достаточно сложное физическое описание, не позволяющее классифицировать все возможные многочисленные состояния, а зависимость для определения локального коэффициента теплоотдачи для вынужденного и свободного движения воздушной среды относительно модели, соответственно, имеет вид:

$$\begin{aligned} Nu_{\xi(x,y,z)} &= \alpha_{\xi} l/\lambda \\ Nu_{\xi} &= f_1(x/l; y/l; z/l; Re_{\xi}; Gr; P_1; P_2; \ldots) \\ Nu_{\xi} &= f_2(x/l; y/l; z/l; Gr; Pr; P_1; P_2; \ldots) \end{aligned} \quad (6)$$

где l – характерный геометрический размер модели; x/l, y/l, z/l – переменные значения координат в относительной форме; $P_1, P_2 \ldots$ – параметрические числа, выражающие геометрическую конфигурацию модели; Re_{ξ} – число Рейнольдса; Gr – число Грасгофа; Pr – число Прандтля.

Учитывая сложность и неоднозначность в выборе физической модели расчетного животного и в определении значений локального коэффициента $\alpha_{кл}$, а также конвективной теплоотдачи, введем ограничение на рассматриваемое математическое описание теплообмена (5). Примем дополнительные ограничения, позволяющие определить границы области, содержащие в совокупности численные решения уравнения (5) для условий лучистого обогрева:

$$U\{q_i \geq C\varphi b_{м\text{-}п}(\tau_{ж} - t_r) - \varepsilon E\}. \quad (7)$$

Граница области U соответствует условию

$$S_{up}U\{q_i \geq C\varphi b_{м\text{-}п}(\tau_{ж} - t_r) - \varepsilon E\}$$
$$\text{или } q_i = C\varphi b_{м\text{-}п}(\tau_{ж} - t_r) - \varepsilon E. \quad (8)$$

Границы области $U_г$ предельных расчетных значений облученности по выражению (8) для гомойотермной зоны

$$E_{расч.кр.н} = (C\varphi b_{м\text{-}п}(\tau_{ж}(t_{кр.н}) - t_r) - Q_{яв}(t_{кр.н})/F_{ж})/\varepsilon, \quad (9)$$

$$E_{расчкр.в} = (C\varphi b_{м\text{-}п}(\tau_{ж}(t_{кр.в}) - t_r) - Q_{яв}(t_{кр.в})/F_{ж})/\varepsilon, \quad (10)$$

где $\tau_{ж}(t_{кр.н})$ и$\tau_{ж}(t_{кр.в})$ – значения температуры поверхности животного при температуре $t_{кр.н}$ и $t_{кр.в}$; $Q_{яв}(t_{кр.н})$ и $Q_{яв}(t_{кр.в})$ – явные тепловыделения животного при нижней критической температуре $t_{кр.н}$ и верхней критической температуре $t_{кр.в}$ гомойотермной области, Вт.

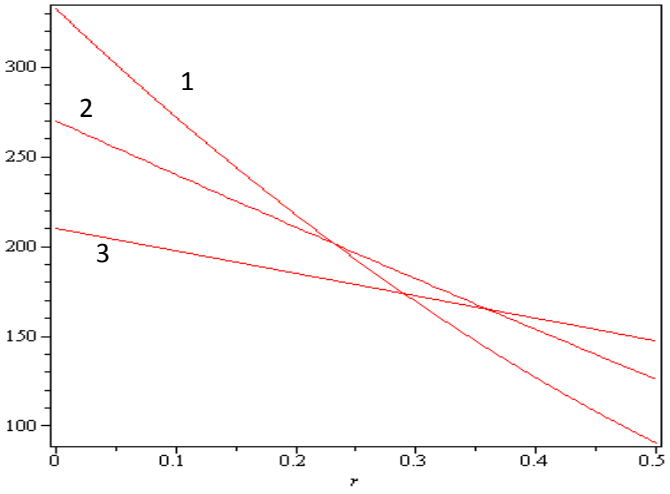
Границы области $U_н$ предельных расчетных значений облученности по выражению (8) для термонейтральной зоны

$$E_{расч.н.н}=(C\varphi b_{м-п}(\tau_{ж}(t_{н.н}) - t_r) - Q_{яв}(t_{н.н})/F_{ж})/\varepsilon, \quad (11)$$

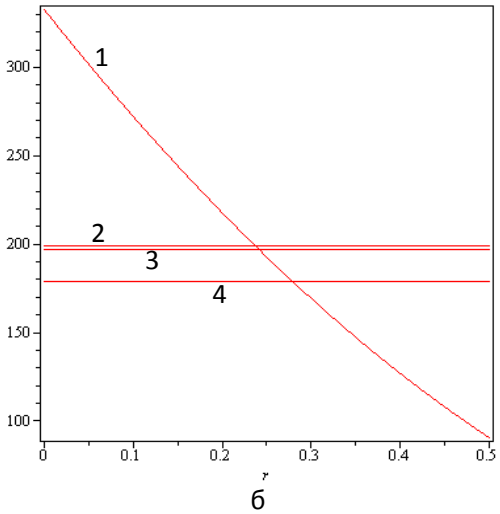
$$E_{расч.н.в}=(C\varphi b_{м-п}(\tau_{ж}(t_{н.в})-t_r)-Q_{яв}(t_{н.в})/F_{ж})/\varepsilon, \quad (12)$$

где $\tau_{ж}(t_{н.н})$ и $\tau_{ж}(t_{н.в})$ –значения температуры поверхности животного при температуре $t_{н.н}$ и $t_{н.в}$ термонейтральной зоны; $Q_{яв}(t_{н.н})$ и $Q_{яв}(t_{н.в})$– явные тепловыделения животного при нижней границе температуры $t_{н.н}$ и верхней границе температуры $t_{н.в}$ термонейтральной зоны, Вт.

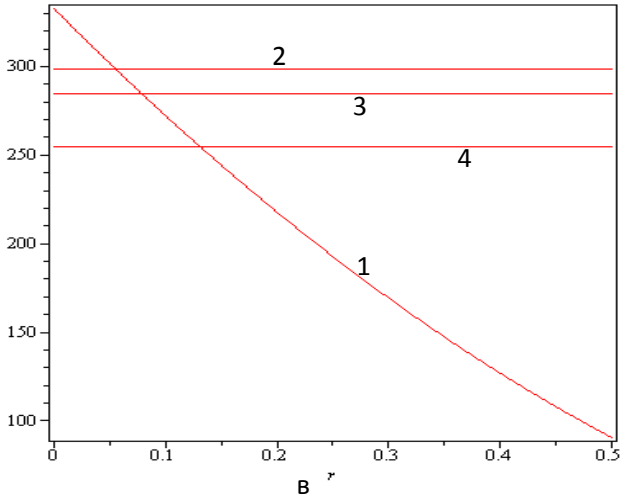
К недостаткам существующих локальных лучистых обогревателей относится значительная неравномерность облучения зоны расположения животных [3]. На рис.1, *а* показаны эпюры распределения энергетической освещенности E_e для трех различных ИК облучателей.



а



б



в

Рис.1: а – распределение на плоскости лучистого потока от излучателей: 1 – ССПО-1-250; 2 – ЭИС-0,25-И1 «Ирис»; 3 – ЛЭО-250 при высоте подвеса 0,7м; б – распределение на плоскости лучистого потока от излучателя:1 – ССПО-1-250; средние значения лучистого потока на плоскости от излучателей: 2 – ССПО-1-250; 3 – ЭИС-0,25-И1 «Ирис»; 4 – ЛЭО-250; в - распределение на плоскости лучистого потока от излучателя: 1 – ССПО-1-250; нормированная функция облученности по рассматриваемой поверхности: 2 – ССПО-1-250, 3 – ЭИС-0,25-И1 «Ирис»; 4 – ЛЭО-250

Как правило, выбор технических параметров локальных установок ИК-обогрева проводится по максимальному значению облученности или по усредненному параметру $E_{e\,ср} = \sum_i E_i\ \Delta A_i/A$ (рис.1, б). Очевидно, что данные характеристики не дают объективной оценки степени неравномерности распределения энергетического потока по всей поверхности $E_{e.min}/E_{e.max}$($E_{e.min}$ $и$ $E_{e.max}$ – минимальное и максимальное значение облученности на обогреваемой поверхности A), и более обосновано введение дополнительной нормированной функции облученности по рассматриваемой поверхности (рис.1, в):

$$E_{енорм}=(1/A)\ (\int_A\ E_e^2\ (A)dA)^{0.5}. \quad (13)$$

Введенное выражение (13) определяет необходимое условие для сравнения различных установок при выборе конкретного типа обогрева животных по степени неравномерности распределения лучистого потока в зонах отдыха.

Сформулируем достаточные условия, позволяющие осуществлять выбор по параметрам теплового состояния животных на основе определений теплового комфорта (1) – (4).

Из выражений (9) – (12) определяют $E_{расч.кр.н}$, $E_{расч.н.н}$, $E_{расч.н.в}$, $E_{расч.кр.в.}$. На основе аналитических зависимостей [3] или по результатам измерения интенсивности излучения $E_{изм.}$ создаваемые радиационными обогревателями не менее, чем в двух или более точках в пределах обогреваемой площади, заданной конкретными нормами технологических параметров для конкретного вида и возраста животных. Причем учитывают нормальную составляющую вектора интенсивности излучения $E_{изм}$ к площади обогрева и по результатам измерения определяют распределение интенсивности излучения $E_{изм.}$ в зоне обогрева [2]. Соотношение

$$E_{расч.tкр.н} \leq E_{изм.min} \leq E_{изм.max} \leq E_{расч.tкр.в} \quad (14)$$

определяет благоприятную тепловую обстановку для содержания животных,

где $E_{изм.min}$– минимальное значение измеренной интенсивности излучения $E_{изм}$ на обогреваемой площади; $E_{изм.max}$–максимальное значение измеренной интенсивности излучения $E_{изм}$ на обогреваемой площади.

Соотношение

$$E_{расч.tнн} \leq E_{изм.min} \leq E_{изм.max} \leq E_{расч.tнв} \quad (15)$$

определяет оптимально комфортную температурную обстановку для содержания животных.

Соотношения:

$$E_{изм.min} \leq E_{расч.tкр.н} < E_{изм.max} \leq E_{расч.tкр.в}, \quad (16)$$

$$E_{изм.min} \leq E_{расч.tкр.н} \leq E_{расч.tкр.в} \leq E_{изм.max}, \quad (17)$$

$$E_{расч.tкр.н} \leq E_{изм.min} \leq E_{расч.tкр.в} \leq E_{изм.ma} \quad (18)$$

определяют относительно благоприятную температурную обстановку для содержания животных.

Наибольшую трудность при проведении расчета по приведенным выражениям заключается в определении границ гомойотермной зоны для разных возрастных групп и видов животных. Если термонейтральные зоны для разных животных рассматриваются и достаточно широко представлены в научных источниках, то попытки осуществить поиск и провести анализ с использованием этого показателя натолкнулись на фрагментарность или отсутствие данных по значениям критических температур. В качестве исходных данных возможно использование предельных значений температурных параметров, приводимых в рекомендациях по нормативному микроклимату для различных видов животных, в специальных нормативных документах.

Выводы

Сформулированы положения, определяющие условия теплового комфорта для молодняка животных при использовании лучистых обогревателей. Сформулированы необходимые и достаточные условия для сравнения различных установок при выборе конкретного типа обогрева животных.

Литература

1. *Кузьмичев А.В.*Метод определения и оценки тепловых условий в зонах обогрева и содержания животных / А.В. Кузьмичев, Д.А. Тихомиров // Вестник ВИЭСХ. 2016. Вып. 1(22). С. 34-41.
2. Патент РФ № 2608065. Способ определения и оценки тепловых условий в зонах обогрева и содержания молодняка животных /А.В. Кузьмичев, Д.А. Тихомиров, И.А. Кузьмичев, Г.В. Кошелев.// БИ. 2017. №2.
3. *Кузьмичев А.В.* Теплоэнергетические показатели ИК облучателей для молодняка животных / А.В. Кузьмичев, А.К. Лямцов, Д.А. Тихомиров // Светотехника. 2015. №3. С. 57-58.

Сведения об авторе:
Кузьмичев Алексей Васильевич – научный сотрудник, e-mail: alkumkuzm@mail.ru,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия.

DEFINITION AND ASSESSMENT OF THERMAL CONDITIONS IN ZONES OF HEATING OF YOUNG GROWTH OF ANIMALS BY INFRARED HEATERS

A. Kuz'michev

The article pertains to agriculture, to stock-breeding in particular, and scientific positions can be used in theoretical and practical work when making the new facilities of the heating, development algorithm and state of working managerial system for making the heat comfort when heating animal, also, estimations to efficiency of the use the concrete types of the sources of the infrared heaters. The technical result is reached in new way of the determination and estimations of the heat conditions in zone of the heating and contents of the saplings animal, including determination of the criterion of the second condition of the heat comfort, on base which the warm-up situation in zone of the heating, and estimation of different heaters of the infrared radiation is described. The Broughted graphs of the distribution to energy luminosity of the irradiated platform for three different IK installation by power 250 W are discussed. On the grounds of incorporated criterion of the heat comfort benchmark analysis on estimations of efficiency of the use IK installation for calfs is made.

Keywords: heat exchange, condition of the heat comfort, temperature.

References

1. Kuz'michev A.V., Tihimirov D.A. Metod opredeleniya i ocenki teplovyh uslovij v zonah obogreva i soderzhaniya zhivotnyh [Method of definition and assessment of thermal conditions in zones of heating and keeping of animals].J. *Vestnik VIESH.* 2016; 1(22): 34-41.(In Russian)
2. Patent № 2608065, RF. Sposob opredeleniya i ocenki teplovyh uslovij v zonah obogreva i soderzhaniya molodnyaka zhivotnyh [Way of definition and assessment of thermal conditions in zones of heating and maintenance of young growth of animals] / A.V. Kuz'michev, D.A. Tihomirov, I.A. Kuz'michev, G.V. Koshelev.*Bulletin of inventions*, 2017; 2.(In Russian)
3. Kuz'michev A.V., Lyamcov A.K, Tihomirov D.A. Teploehnergeticheskie pokazateli IK obluchatelej dlya molodnyaka zhivotnyh [Heat power indicators of IK of irradiators for young growth of animals]. J. *Svetotehnika*. 2015; 3: 57-58.(In Russian)

Author:
A.Kuz`michev – research associate,
e-mail: alkumkuzm@mail.ru,
FSBSI «Federal scientific agro-engineering center VIM», Moscow, Russia.

• **For citation:** Kuz`michev A.V. Definition and assessment of thermal conditions in zones of heating of young growth of animals by infrared heaters. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 26-31. (In Russian)

УДК 347.77

СВЧ СУШКА И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СЫПУЧИХ КОРМОВ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ИЛИ ПО ХОЗЯЙСТВЕННОМУ ПРИЗНАКУ

А.В. Дубровин
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия

Предложено технологически (производственно) оптимальное (при наилучших результатах кормления поголовья) управление СВЧ обеззараживанием и сушкой сыпучих кормов для животных и птицы. Также предложено хозяйственно (экономически) наилучшее (в том числе с учётом энергетических затрат для СВЧ воздействия на кормосмесь и затрат на транспортировку кормов в установке для обеззараживания) управление СВЧ обеззараживанием и сушкой сыпучих кормов. Следует искусственно сформировать по величине аргумента дозы облучения функциональные зависимости затрат от потерь продуктивности животных и птицы из-за заражённости кормов микрофлорой в отсутствие облучения или при его малых уровнях. Необходимо знать зависимости затрат от потерь продуктивности животных и птицы из-за чрезмерно сильного облучения, которое взаимодействует с клеточной структурой биомассы сыпучих кормов. В зависимости от массы, температуры и относительной влажности сыпучих кормов корректируется режим облучения. Достигаются технологически или экономически оптимальные и энергосберегающие режимы автоматизированных СВЧ сушки и обеззараживания сыпучих кормов. При этом обеспечивается высокая точность СВЧ сушки и обеззараживания различных масс сыпучих кормов, поскольку производится контроль их массы в потоке в единицу времени и соответствующее регулирование режима облучения данного вида сыпучих кормов. Осуществляется полная автоматизация процесса технологически или экономически наилучшей энергосберегающей СВЧ сушки и обеззараживания сыпучих кормов.

Ключевые слова: *информационные технологии, автоматизация технологических процессов, эффективность производства, технико-экономический параметр.*

Статья поступила в редакцию 16.07.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Дубровин А.В. СВЧ сушка и обеззараживание сыпучих кормов по технологическому или по хозяйственному признаку // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 32-40.

Постановка проблемы в общем виде. Предлагаемое научно-техническое относится к области сельского хозяйства, к технологиям СВЧ обеззараживания и сушки сыпучих кормов, комбинированных кормов и кормовых смесей для животных и птицы в животноводстве и птицеводстве и может быть использовано в отраслях промышленного животноводства и птицеводства, при переработке кормов, а также в отрасли кормопроизводства в сельском хозяйстве.

Анализ последних исследований и публикаций. Известны способ и устройство экономичной транспортировки птичьих яиц магистральным транспортёром птицефабрики. Устанавливается такое значение скорости движения ленты транспортера, при котором обеспечивается наименьшая на данный момент времени сумма затрат от расчетной потери стоимости поврежденных при транспортировке яиц и на электроэнергию для электропривода транспортера [1]. Недостатками известного технического решения является невозможность его прямого использования при технологически или экономически оптимальной сверхвысокочастотной сушке сыпучих кормов для животноводства и птицеводства. Известно техническое решение энергосберегающего обеззараживания кормов и продуктов животноводства и птицеводства. Имеется информация о требуемых дозах облучения и о массах обеззараживаемых продуктов. Определяется необходимое напряжение питания ускорителя электронов. В зависимости от массы продукта корректируют режим облучения каждого продукта при поступлении его в зону облучения [2]. Известно техническое решение экономически оптимального и энергетически рационального режима обеззараживания кормов и других продуктов пучками быстрых электронов.

Автоматически определяется экономический минимум суммы стоимостей потерь обеззараживаемой продукции и эксплуатационных энергетических затрат на облучение и на транспортировку кормов и других продуктов сельского хозяйства. По величине аргумента облучённости искусственно формируют функциональные зависимости экономических затрат $З_{прод1}$ от потерь продуктов из-за их заражённости в отсутствие облученности или при её малых уровнях. Также формируют зависимости экономических затрат $З_{ост1}$ от потерь кормов и других продуктов из-за чрезмерно сильного облучения их пучками быстрых электронов, которые взаимодействуют с клеточной структурой биомассы кормов и других продуктов.

Первая из этих зависимостей $З_{прод1}$ нелинейно убывает с ростом облучённости $Р_{обл}$, начинаясь с определённого (заранее известного по результатам измерений санитарно-гигиенических свойств материалов, поступающих на радиационную стерилизационную обработку) уровня зараженности биоматериала.

Вторая зависимость $З_{ост1}$ нелинейно возрастает, начинаясь с минимального значения порога облучённости, достаточного для появления первых необратимых изменений в биологических продуктах растительного и животного происхождения. Допустимый уровень затрат на потери продукции из-за таких изменений её качества определяется в конкретных опытных работах.

Также формируют аналогичные зависимости экономических затрат на электроэнергию для транспортировки продуктов $З_{тран1}$ и для их облучения $З_{облуч1}$ от величины облучённости. Третья зависимость $З_{тран1}$ есть постоянная величина при постоянной скорости движения рабочего органа транспортёра и при неизменной массе продуктов, изменяющаяся по значению пропорционально скорости движения рабочего органа транспортёра и массе продуктов. Четвёртая зависимость $З_{облуч1}$ линейно возрастает с ростом облучённости $Р_{обл}$.

Полученные четыре функции затрат складывают в диапазоне изменения искусственно сформированного сигнала облучённости и определяют минимальное значение этой целевой функции (критерия оптимизации по минимуму суммы указанных затрат) $З\Sigma_1 = З_{прод1} + З_{ост1} + З_{облуч1} + З_{тран1}$. Производится точное и экономически оптимальное, и при этом энергосберегающее, обеззараживание каждого продукта с его массой [3].

Известны способы и устройства технологически и экономически оптимального озонирования движущихся сыпучих кормов для животноводства и птицеводства [4], нормативной, технологически и экономически оптимальной комбинированной инфракрасной и кондуктивной сушки движущихся сыпучих кормов для животноводства и птицеводства [5], определения экономически оптимального избыточного давления воздуха для борьбы с вредными микроорганизмами в воздушной среде птицеводческих и животноводческих помещений [6].

Цель исследований. Создание научно-технических решений автоматизированного управления СВЧ сушкой и обеззараживанием зерна и комбикормов, поступающих на птицефабрики, по экономическому критерию (по хозяйственному признаку).

Первой задачей является повышение точности при автоматизированном поиске и достижении технологически оптимального и энергетически рационального режима СВЧ сушки и обеззараживания сыпучих кормов для животноводства и птицеводства путём определения экономического минимума первой суммы стоимостей потерь продукции животноводства и птицеводства при кормлении поголовья высушиваемыми сыпучими кормами из-за их бактериологической и микробной заражённости и затрат из-за потери их качества в результате их чрезмерного СВЧ облучения и соответствующего перегрева.

Второй задачей является повышение точности при автоматизированном поиске и достижении экономически оптимального и энергетически рационального режима СВЧ сушки и обеззараживания сыпучих кормов для животноводства и птицеводства путём определения экономического минимума второй суммы стоимостей потерь продукции животноводства и птицеводства при кормлении поголовья высушиваемыми сыпучими кормами из-за их бактериологической и микробной заражённости и затрат из-за потери их качества в результате их чрезмерного облучения и перегрева и эксплуатационных энергетических затрат на СВЧ сушку и на транспортировку кормов.

Третьей задачей является энергосбережение при СВЧ сушке и обеззараживании сыпучих кормов и повышение точности сушки сыпучих кормов с заранее установленным для них технологическим диапазоном доз СВЧ, гарантированно обеспечивающим заданное качество СВЧ сушки и обеззараживания.

В результате для режима непосредственного кормления животных и птицы устанавливается такое технологически наилучшее значение мощности СВЧ сушки и обеззараживания сыпучих кормов, при котором обеспечивается наименьшая на данный момент времени сумма затрат от расчётной потери стоимости потерь продукции животноводства и птицеводства при кормлении поголовья высушиваемыми сыпучими кормами из-за их бактериологической и микробной заражённости и затрат из-за потери их качества в результате их чрезмерного облучения и перегрева.

Для режима последующего хранения сыпучих кормов устанавливается такое экономически наилучшее значение мощности СВЧ сушки и обеззараживания сыпучих кормов, при котором обеспечивается наименьшая на данный момент времени сумма затрат от расчётной потери стоимости потерь продукции животноводства и птицеводства при кормлении поголовья высушиваемыми сыпучими кормами из-за их бактериологической и микробной заражённости и затрат из-за потери их качества в результате их чрезмерного облучения и перегрева и эксплуатационных энергетических затрат на СВЧ облучение и на транспортировку сыпучих кормов.

Также в результате при поступлении в зону СВЧ сушки и обеззараживания сыпучих кормов устанавливаются такие количественные значения мощностей СВЧ облучения, которые обеспечивают энергосбережение и повышение точности сушки и обеззараживания сыпучих кормов для животноводства и птицеводства. Таким образом, технический результат заключается в реализации решением заявленного назначения СВЧ сушки и обеззараживания сыпучих кормов для животноводства и птицеводства.

Материал и методика исследований. Известно, при длительном хранении (более 4…5 часов) пророщенного зерна влажностью 50…60% оно начинает покрываться плесенью и гнить. Поэтому его необходимо скармливать, в первые же часы после его проращивания. Для продления срока хранения пророщенного зерна его необходимо высушить до относительной влажности 14% [7]. Известно, что СВЧ излучение поглощается биологическими материалами, вызывая их объёмный нагрев, в результате чего гибнут поселившиеся на этих материалах биологического происхождения, например, на сыпучих кормах, микробы и бактерии, плесень и грибки и т.п. микрофлора. Для того, чтобы наиболее результативно (эффективно) использовать технологически очень удобный подвод СВЧ энергии к сыпучим кормам для их сушки, следует выполнить новую совокупность действий. Задают диапазон требуемых для данного вида высушиваемого сыпучего корма значений дозы облучения, значение которой было установлено заранее при испытаниях по сушке опытных партий сыпучих кормов. Доза облучения есть энергия излучения, которая поглощена единицей массы сыпучих кормов и вызывает их нагрев, сушку и обеззараживание в соответствии с теплопроводными свойствами кормов, конструкции сушильной камеры, излучателей СВЧ энергии.

$$D_{зад} = (Э_{зад}/M_{прод}), \quad (1)$$

где $D_{зад}$ – заданная доза облучения продукта, Дж/кг; $Э_{зад}$ – поглощённая продуктом энергия излучения, Дж; $M_{прод}$ – масса продукта, кг. Весовые коэффициенты в математической модели вида (1) и прочих в целях упрощения описания не показаны.

Заданная энергия поглощённого излучения пропорциональна массе продукта:

$$Э^{погл}_{зад} = D_{зад}M_{прод}. \quad (2)$$

Энергия поглощённого излучения пропорциональна массе продукта:

$$Э^{погл} = DM_{прод}. \quad (3)$$

Энергия, потребная для сушки материала, обратно пропорциональна температуре материала и пропорциональна его относительной влажности. Таких экспериментальных сведений имеется множество, однако отсутствует объединяющее их начало в виде нового способа управления наилучшей сушкой сыпучих кормов по принятым признакам оптимизации.

В этом заключается предлагаемый способ технологически или экономически оптимальной сверхвысокочастотной сушки и обеззараживания сыпучих кормов для животноводства и птицеводства [8]. При подаче продуктов на установку для сушки надо не только знать требуемые для них дозы СВЧ облучения и их массы и затем в зависимости от массы, температуры и относительной влажности сыпучих кормов корректировать режим облучения. В соответствии со способом следует сначала искусственно сформировать по величине аргумента дозы облучения функциональные зависимости затрат от потерь продуктивности животных и птицы из-за их заражённости микрофлорой в отсутствие облучения или при его малых уровнях.

Также необходимо знать зависимости затрат от потерь продуктивности животных и птицы из-за чрезмерно сильного облучения, которое взаимодействует с клеточной структурой биомассы сыпучих кормов для животноводства и птицеводства. Первая из этих зависимостей нелинейно убывает с ростом облучённости, начинаясь с определенного заранее известного по результатам измерений санитарно-гигиенических

свойств материалов, поступающих на СВЧ сушку и обеззараживание, уровня заражённости биоматериала грибками и прочей микрофлорой. Вторая зависимость нелинейно возрастает, начинаясь с минимального значения порога облучённости, достаточного для появления первых необратимых изменений в биологических продуктах растительного происхождения.

Допустимый уровень затрат на потери продукции животноводства и птицеводства из-за таких изменений свойств сыпучих кормов определяется в конкретных опытных работах. Если кормление животных и птицы необходимо производить сразу после сушки сыпучих кормов, то важнейшим признаком эффективности кормления высушенными кормами являются сумма указанных потерь стоимостей продукции животноводства и птицеводства.

Эта сумма двух указанных зависимостей есть первая целевая функция оптимизации, а её минимум соответствует технологически наилучшей дозе СВЧ облучения для достижения наилучшей продуктивности поголовья при всех прочих равных условиях. Для учёта энергетики процесса сушки, что важно для последующего хранения высушенных влажных и при этом обсеменённых бактериями сыпучих кормов, следует также сформировать аналогичные зависимости затрат на электроэнергию для транспортировки сыпучих кормов и для их облучения от величины дозы облучения.

Третья зависимость затрат на транспортировку сыпучих кормов есть постоянная величина при постоянной скорости движения рабочего органа транспортёров и при неизменном массовом расходе сыпучих кормов по времени. Она изменяется пропорционально скорости движения рабочих органов транспортёров и подаче сыпучих кормов.

Четвёртая зависимость затрат на электроэнергию облучения линейно возрастает с ростом дозы облучения. Причём рост энергозатрат на облучение тем больше, чем меньше температура и чем больше относительная влажность подаваемых на сушку и обеззараживание сыпучих кормов. При необходимости экономить энергию на сушку сыпучих кормов следует полученные четыре функции затрат сложить в диапазоне изменения искусственно сформированного сигнала дозы облучения и найти минимум этой второй суммы. Таким образом, производится точная и экономически оптимальная, и при этом энергосберегающая (с рациональным расходованием энергии) сушка и обеззараживание сыпучих кормов для их последующего хранения.

Сущность предлагаемого решения поясняется рис. 1, 2 и 3. Обозначения на рис. 1: $\Delta P_{влажн}$ – стоимость потерь продуктивности только из-за повышенной влажности, руб./ед. времени; $\Delta P_{перегрев}$ – стоимость потерь продуктивности только из-за пересушки (из-за перегрева), руб./ед. времени; $\Delta P_{технол}$ – стоимость суммарных потерь продуктивности животных и птицы из-за некондиционных кормов, руб./ед. времени; $З_{энерг1}$ – затраты на энергию теплового облучения высушиваемых кормов при высокой температуре и низкой влажности подаваемых на сушку кормов, руб./ед. времени; $З_{энерг2}$ – затраты на энергию теплового облучения высушиваемых кормов при низкой температуре и высокой влажности подаваемых на сушку кормов, руб./ед. времени; $З_{эк1}$ – суммарные затраты на сушку и от потерь продуктивности при высокой температуре и низкой влажности подаваемых на сушку кормов, руб./ед. времени; $З_{эк2}$ – суммарные затраты на сушку и от потерь продуктивности при низкой температуре и высокой влажности подаваемых на сушку кормов, руб./ед. времени; $D_{технол}^{опт}$ – технологически оптимальная доза облучения, при которой стоимость потерь продуктивности животных и птицы $\Delta P_{технол}^{мин}$ в результате потребления высушенных кормов наименьшая, Дж/кг; $D_{эк1}^{опт}$ – экономически оптимальная доза облучения $З_{экон1}^{мин}$, при которой сумма стоимости потерь продуктивности животных и птицы в результате потребления высушенных кормов при высокой температуре и низкой влажности подаваемых на сушку кормов и затрат энергии на облучение наименьшая, Дж/кг; $D_{эк2}^{опт}$ – экономически оптимальная доза облучения $З_{экон2}^{мин}$, при которой сумма стоимости потерь продуктивности животных и птицы в результате потребления высушенных кормов при низкой температуре и высокой влажности подаваемых на сушку кормов и затрат энергии на облучение наименьшая, Дж/кг; ΔP_1 – дополнительные потери продуктивности из-за отклонения режима облучения $D_{эк1}^{опт}$ от технологически оптимального $D_{технол}^{опт}$ в результате стремления сэкономить затраты на электроэнергию для сушки $\Delta З_{энерг1}$, руб./ед. времени; ΔP_2 – дополнительные потери продуктивности из-за отклонения режима облучения $D_{эк2}^{опт}$ от технологически оптимального $D_{технол}^{опт}$ в результате стремления сэкономить затраты на электроэнергию для сушки $\Delta З_{энерг2}$, руб./ед. времени; $\Delta P_{технол}(D_{технол}^{опт}) + З_{энерг1}(D_{технол}^{опт})$ – суммарные затраты от потерь продуктивности и на энергию облучения для сушки в технологически наилучшем режиме сушки $D_{технол}^{опт}$ при высокой

температуре и низкой влажности подаваемых на сушку кормов, руб./ед. времени; $\Delta P_{технол}(D_{технол}^{опт}) + З_{энерг2}(D_{техно}^{лопт})$ – суммарные затраты от потерь продуктивности и на энергию облучения для сушки в технологически наилучшем режиме сушки $D_{технол}^{опт}$ при низкой температуре и высокой влажности подаваемых на сушку кормов, руб./ед. времени; $\Delta P_{сушки}$ – наибольший технологический выигрыш при переходе от нормативного управления сушкой в нормативном технологическом диапазоне доз облучения ($D_{технол}^{макс} – D_{технол}^{мин}$) к инновационному точному технологическому управлению режимом сушки $D_{технол}^{опт}$, руб./ед. времени; $\Delta З_{экон1}$ – снижение суммарных потерь продуктивности и затрат на энергию сушки при экономически оптимальном управлении при высокой температуре и низкой влажности подаваемых на сушку кормов по сравнению с технологически наилучшим режимом, руб./ед. времени. Экономия энергии $\Delta З_{энерг1}$ на величину снижения суммарных потерь продуктивности и затрат на энергию сушки $\Delta З_{экон1}$ превосходит собственно стоимость дополнительных потерь продуктивности ΔP_1; $\Delta З_{экон2}$ – снижение суммарных потерь продуктивности и затрат на энергию сушки при экономически оптимальном управлении при низкой температуре и высокой влажности подаваемых на сушку кормов по сравнению с технологически наилучшим режимом, руб./ед. времени; $З_{трансп}$ – затраты на транспортировку кормосмеси в установке для обеззараживания. Экономия энергии $\Delta З_{энерг2}$ на величину снижения суммарных потерь продуктивности и затрат на энергию сушки $\Delta З_{экон2}$ превосходит собственно стоимость дополнительных потерь продуктивности ΔP_2.

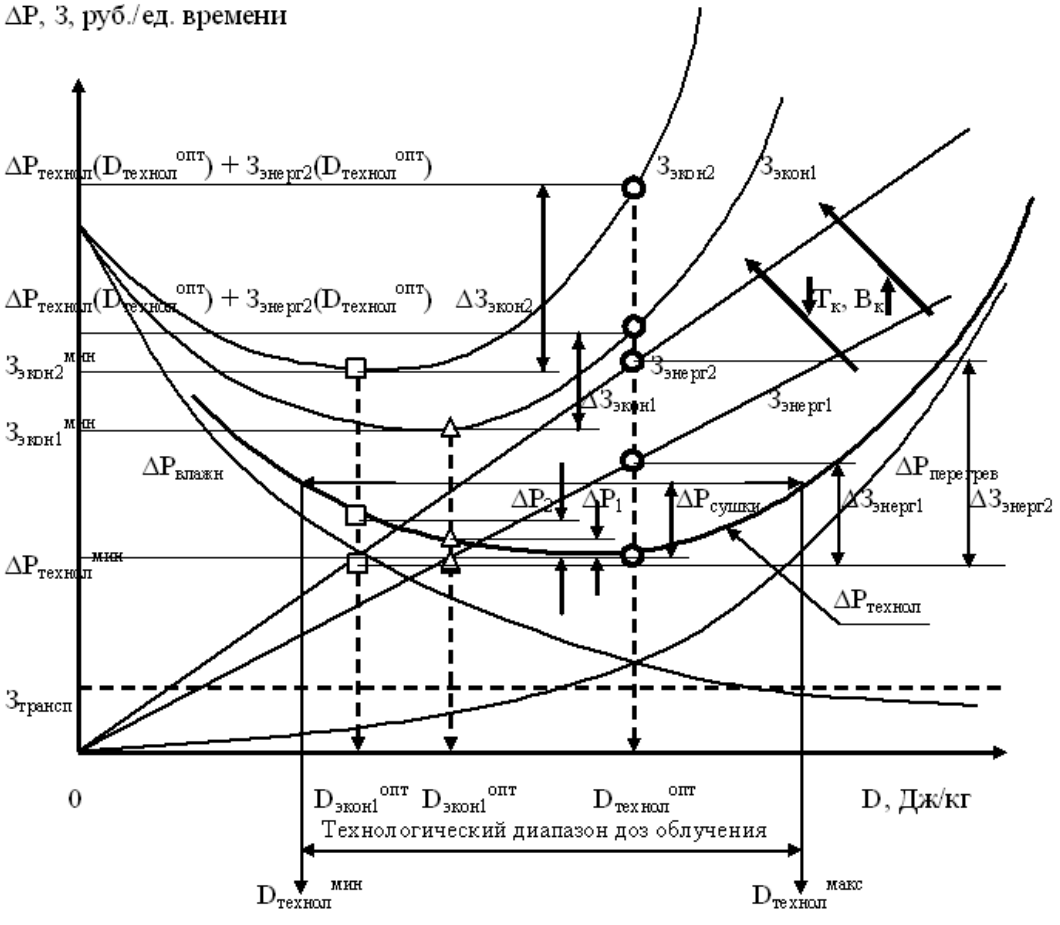


Рис. 1. Иллюстрация осуществления технологически или экономически оптимальной сверхвысокочастотной сушки сыпучих кормов для животноводства и птицеводства:

D – доза облучения высушиваемого материала, дж/кг; ($D_{технол}^{макс} – D_{технол}^{мин}$) – нормативно задаваемый технологический диапазон доз облучения соответствующего материала определённого вида, Дж/кг; Δр – стоимость потерь продуктивности животных и птицы из-за повышенной влажности (микрофлора, грибок и т.п.) и из-за пересушки (потери витаминов и влаги, разрушение белковых молекул и т.п.), руб./ед. времени; З – экономические (хозяйственные) затраты, руб./ед. времени

Устройство (рис. 2) работает следующим образом. Предназначенные для сушки сыпучие корма загружаются на измерительный транспортер, с которого поступают на шнековый транспортёр и на нём в камеру для СВЧ облучения. Винтовая поверхность металлического шнека в значительной степени предотвращает потери СВЧ излучения из камеры для СВЧ сушки.

Блок 9 вычисляет две целевые функции суммарных затрат в зависимости от дозы облучения. Первая из них есть функция суммарных потерь стоимости продуктивности животных и птицы из-за микробов и бактерий в сыпучих кормах при малых дозах облучения и из-за перегрева и пережога сыпучих кормов при больших дозах облучения. Вторая функция отражает суммарных потери стоимости продуктивности животных и птицы и эксплуатационные энергетические затраты на облучение сыпучих кормов виде общей суммы затрат.

Блок 10 определяет наименьшее значение выбранной, с помощью органа выбора критерия оптимизации режима сушки 13, целевой функции суммарных затрат, то есть вырабатывает соответствующее этому минимуму оптимальное значение режима сушки по дозе облучения.

При расчётах учитываются температура поступающих на сушку сыпучих кормов с помощью датчика 11 и относительная влажность поступающих на сушку сыпучих кормов с помощью датчика 12. Поэтому с изменением этих входных характеристик сыпучих кормов функционально изменяются как зависимости стоимостей потерь продуктивности и эксплуатационных затрат на сушку, так и положения технологически и экономически наилучших режимов сушки по величине дозы облучения в виде сигнала требуемого значения дозы облучения на выходе блока 10.

С целью сопоставления взаимного положения, выходного поперечного сечения измерителя расхода 2 и оси симметрии СВЧ волновода в камере СВЧ сушки, производится временная задержка в блоке управляемой временной задержки 15. Сигнал заданного расстояния от выходного поперечного сечения измерителя расхода поступающих на сушку сыпучих кормов до оси симметрии СВЧ волновода в камере сушки с соответствующего выхода блока задатчиков 3 делится в блоке 15 на сигнал скорости движения рабочего органа измерителя расхода 2 с выхода датчика скорости 1. Поэтому сигнал с выхода измерителя расхода 2 задерживается на время T, с:

$$T = S/V, \qquad (4)$$

где S – заданное в блоке задатчиков 3 расстояние по ходу сыпучего корма от выходного поперечного сечения измерителя расхода 2 до направления оси СВЧ волновода в камере СВЧ сушки, м;

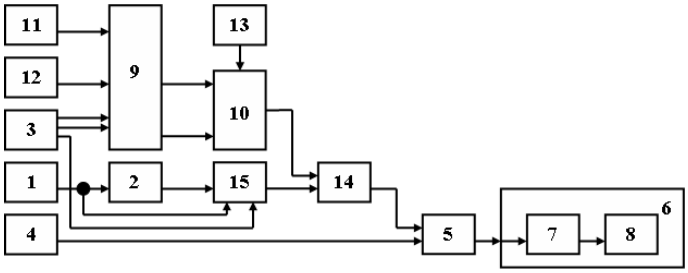


Рис. 2. Функциональная схема устройства технологически и экономически оптимальной сверхвысокочастотной сушки сыпучих кормов для животноводства и птицеводства:

1 – датчик скорости движения поступающих на сушку сыпучих кормов в рабочих органах транспортёров; 2 – измеритель расхода поступающих на сушку сыпучих кормов; 3 – блок задатчиков значений искусственного сигнала облученности в диапазоне изменения дозы облучения от нуля до её предельного значения, наименьшей и наибольшей технологической дозы облучения, сигналов времени, расстояния от выходного поперечного сечения измерителя расхода поступающих на сушку сыпучих кормов до оси симметрии СВЧ волновода в камере сушки, наименьшей и наибольшей дозы облучения, сигналов развёртки по дозе облучения во времени, удельных региональных цен на продукцию животноводства и птицеводства, на сыпучие корма и на электроэнергию, констант и коэффициентов математических моделей управления режимом мощности облучения сыпучих кормов; 4 – измеритель мощности облучения; 5 – регулятор мощности облучения; 6 – облучатель сыпучих кормов; 7 – СВЧ-магнетрон или СВЧ-клистрон; 8 – СВЧ волновод в камере сушки; 9 – блок вычисления двух целевых функций суммарных затрат или блок вычисления первой функции суммарных потерь продуктивности животных и птицы и второй функции суммарных потери продуктивности и затрат на сушку сыпучих кормов; 10 – блок определения наименьшего значения выбранной целевой функции суммарных затрат (или блок оптимизации режима сушки по дозе облучения); 11 – датчик температуры поступающих на сушку сыпучих кормов; 12 – датчик относительной влажности поступающих на сушку сыпучих кормов; 13 – орган выбора критерия оптимизации режима сушки; 14 – элемент умножения; 15 – блок управляемой временной задержки

V – измеренная скорость движения рабочего органа измерителя расхода 2 или собственно скорость перемещения сыпучего корма, м/с.

Таким образом, производится деление заданного в блоке задатчиков 3 расстояния на измеренную датчиком скорости 1 скорость движения сыпучего корма. Получается задержка времени сигнала расхода сыпучего корма, равная времени движения сыпучего корма от измерителя расхода 2 до волновода 8. Умножение сигнала необходимой технологически или экономически оптимальной дозы облучения на задержанный по времени запаздывания поступления поперечного сечения «трубки сыпучего корма» в зону СВЧ облучения сигнал расхода сыпучего корма с выхода измерителя расхода сыпучего корма 2 в зону СВЧ сушки, т.е. умножение требуемого наилучшего значения энергии облучения единицы массы корма на массу корма в единицу времени в элементе умножения 14 даёт на его выходе сигнал требуемого с помощью органа выбора критерия оптимизации режима сушки 13 соответствующего оптимального значения мощности СВЧ излучения в момент времени достижения измеренным в измерителе 2 расходом сыпучего корма места размещения СВЧ волновода 8 в камере СВЧ сушки:

$$D^{опт}(Дж/кг)\times M_{прод}(кг/ед.\ времени) = Э^{погл}_{уд.\ в\ ед.\ времени}{}^{опт}(Дж/ед.\ времени) \div P_{обл}{}^{опт}\ (Вт). \quad (5)$$

Остаётся это заданное значение мощности (5) сравнить с измеренным значением в виде выходного сигнала измерителя мощности облучения 4 произвести регулирование режима СВЧ облучения посредством регулятора мощности облучения 5 и облучателя сыпучих кормов на основе СВЧ магнетрона или СВЧ клистрона. Излучающие волноводы системы этих электронных приборов выходят в камеру СВЧ сушки сыпучих кормов 16, в которую посредством шнека 17 загружаются предназначенные для СВЧ сушки сыпучие корма (рис. 3). Во входном бункере поступающих на СВЧ сушку сыпучих кормов 18 производятся измерения физического состояния сыпучих кормов, посредством датчиков их температуры 9 и относительной влажности 10. В выходной бункер выходной бункер высушенных сыпучих кормов 19 поступают сыпучие корма, высушенные по выбранному технологическому для непосредственного кормления или по экономическому для последующего хранения критерию эффективности производства, т.е. СВЧ сушки.

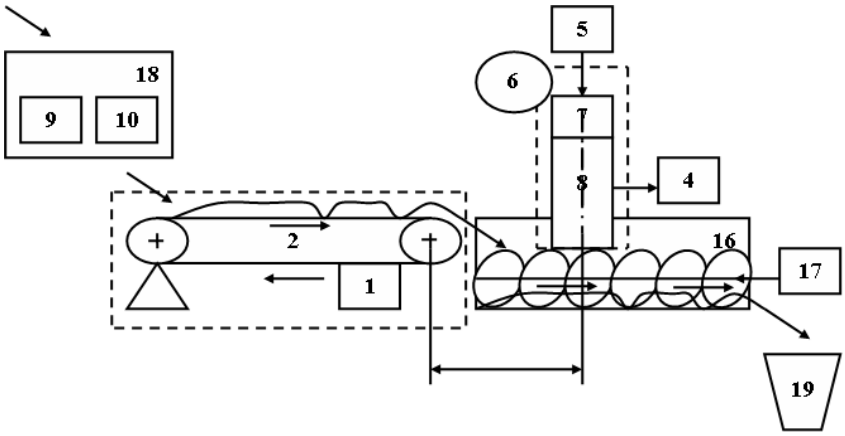


Рис. 3. Общая схема расположения технических средств технологически и экономически оптимальной сверхвысокочастотной сушки сыпучих кормов для животноводства и птицеводства:

1 – датчик скорости движения поступающих на сушку сыпучих кормов в рабочих органах транспортёров; 2 – измеритель расхода поступающих на сушку сыпучих кормов; 4 – измеритель мощности облучения; 5 – регулятор мощности облучения; 6 – облучатель сыпучих кормов; 7 – СВЧ магнетрон или СВЧ клистрон; 8 – СВЧ волновод; 16 – камера для СВЧ сушки с металлическими или с металлизированными изнутри стенками; 17 – металлический шнек; 18 – входной бункер поступающих на СВЧ сушку сыпучих кормов; 19 – выходной бункер высушенных сыпучих кормов

Таким образом, достигаются технологически и экономически оптимальные и энергосберегающие автоматизированные СВЧ сушка и обеззараживание сыпучих кормов для животноводства и птицеводства. При этом обеспечивается высокая точность СВЧ сушки и обеззараживания различных масс сыпучих кормов, поскольку производится контроль их массы в потоке в единицу времени и соответствующее регулирование режима облучения данного вида

сыпучих кормов. Осуществляется полная автоматизация процесса технологически или экономически наилучшей энергосберегающей СВЧ сушки и обеззараживания сыпучих кормов для животноводства и птицеводства [9].

Литература

1. Патент РФ № 2414396. Способ и устройство экономичной транспортировки птичьих яиц магистральным транспортером птицефабрики / Дубровин А.В. и др. // БИ. 2011. №8.
2. Патент РФ №2521712. Способ и устройство энергосберегающего обеззараживания кормов и продуктов животноводства и птицеводства / Дубровин А.В. и др. // БИ. 2014. №19.
3. Патент РФ №2533585. Устройство экономичного и энергосберегающего обеззараживания кормов и продуктов животноводства и птицеводства / Дубровин А.В. // БИ. 2014. №11.
4. Патент РФ №2608532. Способ и устройство технологически и экономически оптимального озонирования движущихся сыпучих кормов для животноводства и птицеводства / Дубровин А.В. // БИ. 2017. №2.
5. Патент РФ № 2621140. Способ и устройство нормативной, технологически и экономически оптимальной комбинированной инфракрасной и кондуктивной сушки движущихся сыпучих кормов для животноводства и птицеводства / Дубровин А.В. // БИ. 2017. №16.
6. Патент РФ № 2613453. Способ и устройство определения экономически оптимального избыточного давления воздуха для борьбы с вредными микроорганизмами в воздушной среде птицеводческих и животноводческих помещений / Дубровин А.В. // БИ. 2017. №.8.
7. *Вендин С.В.* и др. Определение параметров сушилки пророщенного зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. №1. С. 8-10.
8. Патент РФ № 2624199. Способ и устройство технологически и экономически оптимальной сверхвысокочастотной сушки сыпучих кормов для животноводства и птицеводства / Дубровин А.В. // БИ. 2017. №19.
9. *Дубровин А.В*. Основы автоматизированного управления технологическими процессами в птицеводстве по экономическому критерию. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – 544 с.

Сведения об авторе:

Дубровин Александр Владимирович – доктор техн. наук, профессор, Лауреат Золотой медали им. И.А. Будзко Отделения сельскохозяйственных наук РАН за выдающиеся работы по энергетике, электрификации и автоматизации сельского хозяйства,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), г. Москва, Россия,
e-mail: dubrovin1953@mail.ru

MICROWAVE DRYING AND DISINFECTION OF LOOSE FODDER ON TECHNOLOGICAL OR ECONOMIC GROUNDS

A. Dubrovin

Technologically (production) optimal (the best results of feeding livestock disinfected and dried forage, that is, when higher livestock productivity) control of microwave disinfection and drying of feed for animals and poultry is offered. Also, the economic (cost) best (including taking into account the energy costs for the implementation of microwave exposure on the fodder mix and taking into account the cost of transportation of feed in the plant for disinfection) control of microwave disinfection and drying of bulk animal feeds and poultry is proposed. One needs artificially generate the value of the argument of the doses of radiation the functional dependence of the cost from loss of productivity of animals and poultry due to feed microflora in the absence of irradiation or when its levels are low. It is necessary to know the dependence of expenses from losses of productivity of animals and poultry due to excessive radiation that interacts with the cell structure of the biomass bulk feed. Depending on the mass, temperature and relative humidity of bulk of feed the mode of exposure is adjusted. Technologically or economically optimal and energy-saving modes of automated microwave drying and disinfection of the bulk feed have been achieved. This ensures high precision of microwave drying and disinfection of the different masses of bulk feed, as the control of mass flow per unit time and the corresponding regulation of the mode of radiation of the bulk feed is provided. Full automation of the process provides technologically or economically the best energy saving of microwave drying and disinfection of loose fodder.

Keywords: information technologies, automation of technological processes, production efficiency, technical and economic parameter.

References

1. RF patent 2414396. Method and device economical transportation of bird eggs of the trunk conveyor of poultry / A.V. Dubrovin, etc. *Bulletin of inventions*. 2011; 8. (In Russian)
2. RF patent 2521712. Method and device for energy saving disinfection of feed and products of livestock and poultry / A. V. Dubrovin, etc. *Bulletin of inventions.* 2014; 19. (In Russian)
3. RF patent 2533585. The device is economical and energy-saving disinfection of feed and products of livestock and poultry / A. V. Dubrovin. *Bulletin of inventions.* 2014; 11. (In Russian)
4. RF patent 2608532. Method and device technologically and economiccally optimal ozonation moving bulk feed for livestock and poultry / A.V. Dubrovin. *Bulletin of inventions*. 2017; 2. (In Russian)
5. RF patent 2621140. Method and device regulatory, technological ski and economically optimal combination of infrared and conductive drying bulk feed for livestock and poultry / A.V. Dubrovin. *Bulletin of inventions*. 2017; 16. (In Russian)
6. RF patent 2613453. Method and device for determining an economically optimal excess air pressure to combat harmful microorganisms in the air of poultry and livestock buildings / A.V. Dubroin. *Bulletin of inventions*. 2017; 8. (In Russian)
7. Vendin S. V. et al. Opredelenie parametrov sushilki proroshhennogo zerna [Determination of parameters of drying sprouted grains]. J. *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva*. 2015; 1: 8-10. (In Russian)
8. RF patent 2624199. Method and device technologically and economically optimal microwave drying of bulk feed for livestock and poultry / A.V. Dubrovin. *Bulletin of inventions.* 2017; 19. (In Russian)
9. Dubrovin A.V. Osnovy avtomatizirovannogo upravlenija tehno-logicheskimi processami v pticevodstve po jekonomicheskomu kriterij [Fundamentals of automated control of technological processes in poultry themselves on the economic criterion]. Ed. 2nd, processed and added. – Moscow, VIESH, 2014. 544 ps. (In Russian)

Author:

A. Dubrovin – D. Sc. (Engineering), Prof., the Winner of the Gold medal of I.A. Budzko of Department of agricultural sciences of the Russian Academy of Sciences for outstanding works on power, electrification and automation of agriculture; e-mail: dubrovin1953@mail.ru,

FSBSI «Federal scientific agro-engineering center VIM», Moscow, Russia.

• **For citation:** Dubrovin A.V. Microwave drying and disinfection of loose fodder on technological or economic grounds. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 32-40. (In Russian)

УДК 620.193:631.2

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНЦИЙ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Д.В. Александров, А.В. Соколов
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия

В статье представлено описание области применения катодной электрохимической защиты в сельском хозяйстве. Показаны принципы эффективного метода борьбы с коррозией, основанного на замедлении коррозионных реакций вследствие протекания тока между защищаемым объектом и специальным анодным терминалом, расположенным рядом с защищаемым объектом. Проведен предварительный расчет потерь металла от коррозии водопроводной трубы без защитных материалов и покрытий. Приводится описание разработанной во ФГБНУ ФНАЦ ВИМ станции катодной защиты «ЛЗГ-01С», представлены преимущества станции в сравнении с аналогичным оборудованием, а также подробное описание ее подключения и эксплуатации.

Ключевые слова: *электрохимическая защита от коррозии сельскохозяйственных объектов водоснабжения, резонансная однопроводная система повышенной частоты, катодная защита, коррозия.*

Статья поступила в редакцию 25.07.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Александров Д.В., Соколов А.В. Применение станций катодной защиты в сельском хозяйстве // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 41-46.

Среди всех отраслей, согласно статистике, наибольшие потери от коррозии несут топливно-энергетический комплекс (ТЭК), сельское хозяйство, химическая и нефтехимическая отрасли. Так, потери металла от коррозии составляют: в ТЭК–30%, химии и нефтехимии – 20 %, сельском хозяйстве – 15%, металлообработке – 5 %.[1] Примеры потерь металла от коррозии приведены ниже (рис. 1).

Металлоёмкость сельскохозяйственных объектов всего в 3-5 раз ниже металлоёмкости объектов тяжёлой промышленности. В 2002 г. из всего металлофонда РФ, составляющего 1,6 млрд. т, на долю сельского хозяйства приходилось 150 млн. т; до 80% техники и сооружений требуют защиты от коррозии [1].

Наиболее эффективным способом борьбы с коррозией является электрохимическая защита (ЭХЗ). Метод основан на замедлении коррозионных реакций вследствие протекания тока между защищаемым объектом и специальным анодным терминалом расположенным рядом с защищаемым объектом.

Протекторная и токовая ЭХЗ имеют одинаковый принцип работы – источник тока (контактная разность потенциалов или внешний источник) создаёт избыток электронов в металле, которые тормозят отрыв ионов металла, то есть тормозят коррозию.

Рис. 1. Пример внутренней и внешней коррозии водопроводных труб [2]

Станции катодной электрохимической защиты предлагается использовать для защиты сельскохозяйственных объектов (агрономия, животноводство, мелиорация, растениеводство и др.) [1, 3]:

- сооружения и здания (защита металлоконструкций, каркасов, металлической арматуры железобетона);
- жилые и другие здания (наиболее подверженные коррозии части: фундаменты, крыши, трубы);
- продуктопроводы (газ и др.);
- водопроводные трубы и все оборудование системы водообеспечения: водонапорные башни, регулирующие ёмкости, водокачки и др.;
- тепловые контуры домов и их оборудование (водонагреватели, котлы, трубы и др.);
- скважины и их оборудование (системы водоочистки);
- подземные подвальные хранилища и сооружения;
- колодцы; мосты; системы мелиорации;
- теплицы – сооружения (объекты) хранения коррозионных веществ (или находящиеся в контакте с ними): морской воды, минеральных кислот, щелочей, удобрений и др.;
- специальные сооружения – вышки связи и др.;
- канализационные системы и отстойники;
- речные (морские) сооружения: волнорезы, дамбы, плотины, причалы (пристани), сооружения рыбного хозяйства и др.

Современные системы, нуждающиеся в ЭХЗ

Электрохимическая защита вставок на полиэтиленовых водопроводах на линейной части и участков соединений полиэтиленовых газопроводов со стальными вводами в дома.

Стальные водопроводы, реконструируемые методом санации с помощью полимерных материалов.

Стальные водопроводы, реконструируемые методом протяжки полиэтиленовых труб, подлежат защите на тех участках, где стальная труба необходима как защитный футляр (под автомобильными, железными дорогами и др.).

Стальные футляры трубопроводов под автомобильными дорогами, железнодорожными и др. путями при бестраншейной прокладке (прокол, продавливание и другие технологии, разрешенные к применению) должны быть защищены средствами ЭХЗ, при прокладке открытым способом — изоляционными покрытиями и ЭХЗ. В качестве футляров рекомендуется использовать трубы с внутренним защитным покрытием. При защите трубы и футляра средствами ЭХЗ труба и футляр соединяются через регулировочную перемычку.

Общие принципы эффективного метода борьбы с коррозией: катодной электрохимической защиты (КЭХЗ) следующие.

Электрохимическая катодная защита основана на наложении отрицательного потенциала на защищаемую деталь. Положительный терминал от внешнего источника тока соединен с анодом, расположенным рядом с защищаемым объектом, отрицательный терминал соединен с самим защищаемым объектом (с помощью катодного тока снижают значение электрического потенциала труба-грунт до значения -0,85 / -1,2 В).

В настоящее время разработано и эксплуатируется множество промышленных образцов станций катодной защиты (СКЗ): УКЗВ, КСЭР и др.

Средний шаг монтажа СКЗ: 8 – 25 км, средняя мощность СКЗ: 0,5-5 кВт. Расход электроэнергии 60 – 100 Вт/км.

Использование ЭХЗ продлевает срок службы металлоконструкции в несколько раз, не менее чем в 4 раза (до 30 лет и более) [1].

Потери массы стали из-за коррозии подчиняются следующему закону:

$$C = A \times t \times n, \qquad (1)$$

где C – потеря массы стали из-за коррозии (учитывается максимальная глубина коррозии); t – время выдержки; A, n – коэффициенты, определяемые гидрохимическими параметрами окружающей среды.

Наиболее часто эта формула применяется для случая коррозии металла в почве, но она также применима к водной и атмосферной коррозии с соответственным изменением коэффициентов [4].

Скорость коррозии может быть описана уравнением:

$$R = \frac{K(m_b - m_a)}{A(\Delta t)\rho}, \qquad (2)$$

где R – скорость проникновения коррозии, мм/год; A – площадь, подверженная коррозии, см^2; m_b и m_a –начальная и конечная масса металла, г; Δ t –время выдержки, ч; ρ – плотность металла (сплава), гм/см^3; K –коэффициент преобразования единиц измерения.

Примером скорости коррозии служит коррозия водопроводных труб. Скорость коррозии углеродистой стали (в отсутствии ингибиторов коррозии) в системах оборотного водоснабжения (Ново-Уфимский НПЗ) составила 0,18 – 0,24 мм/год [1].

Таким образом, на любом сооружении, подверженном подземной атмосферной или водной коррозии и имеющем площадь поверхности около 1000 м^2 (например, магистральный трубопровод протяженность около 300 м) ежегодно коррозия уничтожает до 0,24 м^3 (7800 кг/м^3 × 0,24 м^3 = 1872 кг) металла. Но общие потери значительно больше. Например при коррозийном разрушении моста потери складываются из:

- прокорродировавшего металла;
- всего выведенного из строя металла и работ по восстановлению моста;
- экономического ущерба из-за нарушения движения через мост.

Даже без учета дополнительных косвенных потерь из-за коррозии:

- стоимость потерянного металла на участке длиной 15 км

15 км × (1872 кг / 0,3 км) = 93600 кг;

- стоимость стали

50 руб./кг × 93600 кг ~ 5 млн. руб.

- стоимость электроэнергии ЭХЗ, обслуживающей участок длиной 15 км (расход электроэнергии 75 Вт/км)

3[руб./кВт·ч] × [15км×0,075×(365×24ч)кВт·ч] = = 3[руб./кВт·ч] × 13140 [кВт·ч] ~ 30 тыс. руб.

Этот расчет относится к полностью открытой для коррозии трубе. Конечно, в реальности коррозия будет снижена защитными материалами и покрытиями, и происходить коррозия будет только в месте их разрушения. Но пропорционально снизится и потребление электроэнергии станцией катодной защиты – поэтому результат не изменится.

Оценка скорости коррозии соответствует наиболее распространённым видам стали, как показано ниже.

Принятая в СССР и в России количественная оценка коррозии следующая [5, 6]: скорость общей коррозии оценивают по убыли металла с единицы площади *К*, например в *г/м^2·ч*, или по скорости проникновения коррозии, т. е. по одностороннему уменьшению толщины нетронутого металла *П*, например в *мм/год*. При равномерной коррозии *П* = 8,75*К*/ρ, где ρ – плотность металла, *г/см^3*. При неравномерной и местной коррозии оценивается максимальное проникновение. По ГОСТ 13819–68 установлена 10-балльная шкала общей коррозионной стойкости металлов (табл. 1). В особых случаях коррозия может оцениваться и по другим показателям (потеря механической прочности и пластичности, рост электрического сопротивления, уменьшение отражательной способности и т. д.), которые выбираются в соответствии с видом коррозии и назначением изделия или конструкции [7].

Таблица 1
10-балльная шкала для оценки общей коррозионной стойкости металлов [7]

Группа стойкости	Скорость коррозии металла, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
Весьма стойкие	Свыше 0,001 до 0,005	2
	Свыше 0,005 до 0,01	3
Стойкие	Свыше 0,01 до 0,05	4
	Свыше 0,05 до 0,1	5
Пониженно стойкие	**Свыше 0,1 до 0,5**	**6**
	Свыше 0,5 до 1,0	**7**
Малостойкие	Свыше 1,0 до 5,0	8
	Свыше 5,0 до 10,0	9
Нестойкие	Свыше 10,0	10

Большинство железных сплавов и сталей, использующихся в промышленном и агропромышленном комплексах, относятся к средней группе «Пониженно стойкие».

Разработанная нами энергосберегающая станция катодной защиты ЛЗГ-01С обладает следующими преимуществами по сравнению с аналогичным оборудованием [8]:

- устройство может быть выбрано на заданную мощность, что устраняет лишние затраты на неиспользуемую мощность;
- возможность монтажа СКЗ, удалённых от источника питания 380/220 В (благодаря совместимости с резонансной однопроводной системой электропередачи (РОС) [9]);
- устройство может быть выбрано на любую заданную малую мощность, что невозможно для стандартных мощностных рядов промышленного оборудования;
- устройство может быть выбрано для условий питания от любого источника (постоянный ток 24-120 В, 220 / 380 В, переменный ток 50 Гц, 1 кВ РОС 5-15 кГц).

Энергосберегающая СКЗ состоит из источника пониженного напряжения 0-50 В и блока управления и обратной связи по выходному току, выходному напряжению, защитному потенциалу [10]. Также система содержит кабели, систему электродов. Технические характеристики энергосберегающей СКЗ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики энергосберегающей СКЗ

Объекты, защищаемые от коррозии	объекты водоснабжения с.х.
Мощность одной системы СКЗ, Вт	250,0
Диапазон регулировки выходного напряжения, В	5 – 50
Максимальный выходной ток, А	5
Защитный потенциал	0,75 – 2,00
Напряжение сети, В	220
Диапазон рабочих температур, °С	-20 – +40
Уровень регулировки порога максимального напряжения, %	25 – 100
Масса системы СКЗ, кг	0,42

Схема разработанной нами системы катодной защиты представлена ниже (рис. 2).

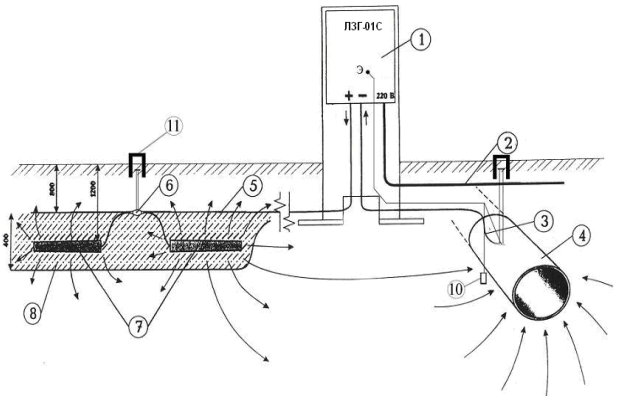


Рис. 2. Схема рабочей системы СКЗ:

1 - СКЗ ЛЗГ-01С; 2 - линия питания; 3 - подвод защитного тока (минус); 4 - защищаемый объект; 5 - анодный кабель (плюс); 6 - соединитель анодных электродов (заземлителей); 7 - анодные электроды (заземлители); 8 -коксовая обсыпка (наличие зависит от условий на объекте); 10 - электрод сравнения; 11 - контактное устройство (только для систем с количеством анодов более одного)

Принцип работы системы СКЗ

Блок управления задает максимальный уровень напряжения, и затем система обратной связи по току и защитному потенциалу электрода сравнения стабилизирует выходной ток для достижения заданного потенциала на электроде сравнения. Схема построена на базе промышленного ШИМ контроллера [11]. Контроллер управляет обратноходовым понижающим преобразователем с гальванической изоляцией и несколькими обратными связями (по току и напряжению) также с гальванической изоляцией. На высоковольтной (сетевой стороне) имеются цепи контроля входного сетевого напряжения, а также тока в цепи трансформатора. Блок оборудован защитными предохранителями как в выходной цепи, так и по сетевому входу. Защитное заземление подведено к средней точке входного фильтра.

На блоке управления (рис. 3) установлены следующие сигнальные индикаторы (рис. 4):

«Сеть» – показывает наличие питания 220 В;

«СКЗ включена» – показывает наличие тока в выходной цепи;

«Вкл/откл» –переключатель; принудительно включает/отключает систему СКЗ.

Рис. 3. Внешний вид СКЗ

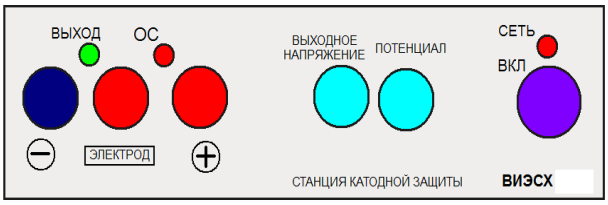


Рис. 4. Элементы передней панели блока СКЗ

Внутри блока управления расположены следующие клеммы (рис. 5):

«Вход 220 В» – для подключения входного напряжения от электрической сети;

«Выход 0-50 В» – для подключения системы электродов к блоку управления;

«Вход электрода сравнения» – для подключения электрода сравнения к блоку управления.

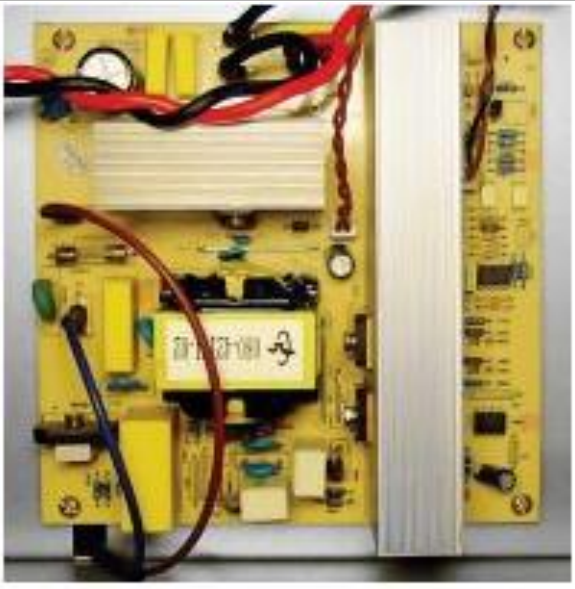


Рис. 5. Внешний вид главной платы СКЗ

Станция катодной защиты подключается к защищаемому объекту следующим образом (рис. 6):

- система электродов подключается к понижающему преобразователю напряжения ACDC 220В/(0-50В)
- клемма "минус" - соединяется с катодом (защищаемым металлическим объектом);
- клемма "плюс" - соединяется с защитным анодным заземлителем;
- клемма "электрод" - соединяется с электродом сравнения;
- кабель сетевой - подсоединяется к однофазной сети 220В.

Стандарт сети – TNS.

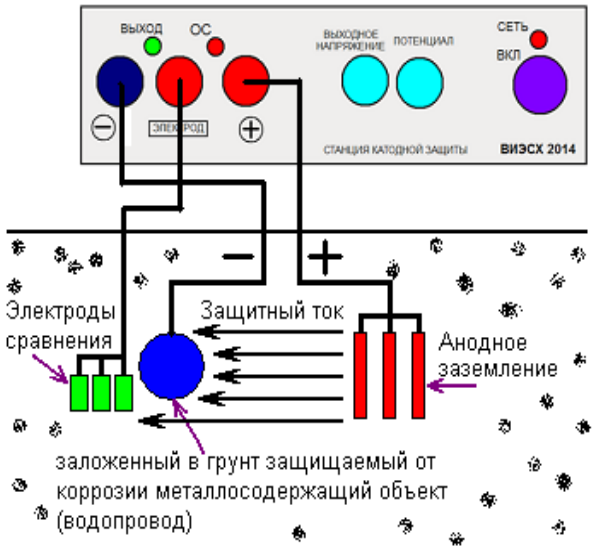


Рис. 6. Схема подключения СКТ

Выводы

Разработанная нами система станции катодной защиты применяется для сельскохозяйственных объектов и отличается энергосбережением, автоматическим поддержанием режимов и отсутствием избыточной мощности. Применение ее в сельском хозяйстве позволит продлить срок службы водогазопроводов, контуров заземления и колодцев.

Литература

1. *Александров Д.В.* Применение систем электрохимической защиты в сельском хозяйстве / Д.В. Александров, Л.Ю. Юферев // Инновации в сельском хозяйстве. 2012. № 1(1). С. 15-20.
2. Chem1 Electrochemistry Electrochemical corrosion. [Электронный ресурс] Режим доступа:. URL: http://www.chem1.com/acad/webtext/elchem/ec7.html. 2012.
3. *Александров Д.В.* Энергосберегающая система защиты от коррозии металлоконструкций сельскохозяйственных объектов / Д.В. Александров, Л.Ю. Юферев // Вестник ВИЭСХ. 2016. № 1(22). С. 44-52.
4. *Александров Д.В.* Расчёт параметров и экономическая эффективность системы катодной защиты сельскохозяйственных объектов / Д.В. Александров, Л.Ю. Юферев // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 3(13). С. 44-52.
5. *Акимов Г.В.* Основы учения о коррозии и защите металлов. М.: Машгиз, 1946.
6. *Томашов Н.Д.* Теория коррозии и защита металлов. М.: Издательство Академии наук СССР, 1959.
7. Коррозия металлов — ТехЛиб [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://tehlib.com/storitel-ny-e-materialy/stal-ny-e-konstruktsii/korroziya-metallov/ 2011.
8. *Александров Д.В.* Сравнительный анализ устройства катодной защиты ЛЗГ-01С с серийными аналогами // Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 4(9). С. 82-85.
9. *Александров Д.В.* Возможность применения резонансной системы электропитания для катодной защиты / Д.В. Александров, Л.Ю. Юферев // Инновации в сельском хозяйстве. 2012. № 2(2). С. 46-53.
10. *Юферев Л.Ю.* Экспериментальные модели резонансных систем электрической энергии / Л.Ю. Юферев, Д.С. Стребков, О.А. Рощин. – М.: ООО «Оригинальная компания», 2010.
11. *Юферев Л.Ю.* Исследование резонансной системы передачи электроэнергии на повышенной частоте / Л.Ю. Юферев, О.А. Рощин, Д.В. Александров, А.В. Соколов // International Scientific Journal Life and Ecology. 2014. № 1. С. 80.

Сведения об авторах:
Александров Даниил Владимирович – аспирант, e-mail: daniilalex@gmail.com,
Соколов Александр Вячеславович – канд. техн. наук, e-mail: alexndr.v.sokolov@gmail.com,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ),
Москва, Россия

APPLICATION OF CATHODIC PROTECTION STATIONS IN AGRICULTURE

D. Aleksandrov, A. Sokolov

Description of the ope ration of cathodic electrochemical protection and the field of its application are considered in this article. The principle of an effective method for controlling corrosion is shown. It is based on the slowing down of corrosion reactions when a current flows between the protected object and a special anode terminal which is located next to the protected object. Areas of application of cathodic protection in agriculture are discussed. Preliminary calculation of corrosion on a water pipe without protective materials and coatings is given. Description of the cathodic protection station "LZG-01C" developed in FSAC VIM is presented. The advantages of the station are compared with similar equipment, as well as a detailed description of the connection and operation.

Keywords: electrochemical protection against corrosion of agricultural water supply facilities, resonant single-wire high frequency system, cathodic protection, corrosion.

References

1. Aleksandrov D.V., Yuferev L.Yu. Application of electrochemical protection systems in agriculture. *J. Innovacii v sel'skom hozjajstve.* 2012; 1(1): 15-20. (In Russian)
2. Chem1 Electrochemistry Electrochemical corrosion [Electronic resource] [2012]. URL: http://www.chem1.com/acad/webtext/elchem/ec7.html (In English)
3. Aleksandrov D.V., Yuferev L.Yu. Energy-saving system of corrosion protection of metal structures of agricultural objects. J. *Vestnik VIESH*. 2016; 1(22): 44-52. (In Russian)
4. Aleksandrov D.V., Yuferev L.Yu. Calculation of parameters and economic efficiency of the system of cathodic protection of agricultural objects. J. *Innovacii v sel'skom hozjajstve*. 2015; 3(13): 44-52. (In Russian)
5. Akimov G.V. Osnovy uchenija o korrozii i zashhite metallov [Fundamentals of the theory of corrosion and protection of metals]. Moscow, Mashgiz, 1946. (In Russian)
6. Tomashev N.D. Teorija korrozii i zashhita metallov [Theory of corrosion and protection of metals]. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1959. (In Russian)
7. Corrosion of metals - TehLib [Electronic resource] [2011]. URL: http://tehlib.com/storitel-ny-e-materialy/stal-ny-e-konstruktsii/korroziya-metallov/ (In Russian)
8. Aleksandrov D.V. Comparative analysis of the cathodic protection device LZG-01S with serial analogues. J. *Innovacii v sel'skom hozjajstve.* 2014; 4(9): 82-85. (In Russian)
9. Aleksandrov D.V., Yuferev L.Yu. Possibility of using a resonant power supply system for cathodic protection. J. *Innovacii v sel'skom hozjajstve*. 2012; 2(2): 46-53. (In Russian)
10. Yuferev L.Yu., Strebkov D.S., Roshchin O.A. Jeksperimental'nye modeli rezonansnyh sistem jelektricheskoj jenergii [Experimental models of resonant systems of electrical energy]. Moscow, Original company, 2010. (In Russian)
11. Yuferev L.Yu., Roshin O.A., Aleksandrov D.V., Sokolov A.V. Investigation of the resonance system of electric power transmission at an increased frequency. *International Scientific Journal Life and Ecology*. 2014; 1: 80. (In Russian)

Authors:
D. Aleksandrov – post-graduate student,
e-mail:daniilalex@gmail.com
A. Sokolov – Ph.D. (Engineering),
e-mail:alexndr.v.sokolov@gmail.com
«Federal scientific agroengineering center VIM»

• **For citation:** Aleksandrov D.V., Sokolov A.V. Application of cathodic protection stations in agriculture. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 41-46. (In Russian)

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 621.383

СПЕКТР ЗААТМОСФЕРНОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АМ-0 КАК ЭТАЛОННЫЙ КРИТЕРИЙ ЧИСЛОВОЙ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ СВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ С ТЕМПЕРАТУРОЙ НАГРЕТОГО ТЕЛА В ЗАКОНАХ СМЕЩЕНИЯ ВИНА И СТЕФАНА-БОЛЬЦМАНА

Б.А. Никитин, В.В. Харченко, В.А. Гусаров
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия

На основе экспериментальных спектральных данных заатмосферного солнечного излучения АМ-0 уточнена температура поверхностного слоя Солнца по длине волны λ_0 = 0,47 мкм, соответствующей максимальной интенсивности солнечного излучения. Эта температура в соответствии с законом смещения Вина оценена величиной 6166 град. К. Коэффициент пропорциональности между частотой электромагнитного излучения в максимуме его интенсивности экспериментально (по данным спектра солнечного излучения) и теоретически оценён величиной a =1,03519 Гц/град.К. Коэффициент пропорциональности σ в законе Стефана-Больцмана, связывающий полную мощность излучения нагретого тела, по данным спектра АМ-0 оценён величиной 0,9783 Вт/м^2·град^4. Тот же коэффициент σ, рассчитанный по выведенному аналитическому выражению, теоретически определён величиной 1,02352 Вт/м^2·град^4. Некоторое различие величины коэффициентов σ, полученное экспериментально и теоретически, объясняется наличием на пути движения электромагнитного излучения от Солнца к Земле околосолнечной атмосферной массы.

Ключевые слова: *электромагнитное излучение, спектр нагретого тела, максимальная интенсивность спектра.*

Статья поступила в редакцию 05.09.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Никитин Б.А., Харченко В.В., Гусаров В.А. Спектр заатмосферного солнечного излучения АМ-0 как эталонный критерий числовой оценки коэффициентов связи параметров излучения с температурой нагретого тела в законах смещения Вина и Стефана-Больцмана // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 47-49.

В конце девятнадцатого века М. Планк хотел вывести теоретическую функцию спектрального излучения нагретого тела и найти объяснение двух простых экспериментально установленных зависимостей, а именно закона смещения Вина и закона Стефана-Больцмана [1].

Закон смещения Вина гласит, что частота γ_0 электромагнитного излучения, соответствующая наиболее яркому участку спектра нагретого тела, пропорциональна абсолютной температуре T этого тела:

$$\nu_0 = a \cdot T, \qquad (1)$$

где ν_0 – частота; T – температура; a – коэффициент связи параметров ν_0 и T.

Из выражения (1) следует, что величинаa определяется:

$$a = \frac{\nu_0}{T} = \frac{\text{Гц}}{\text{град}} \ . \qquad (2)$$

В работе [1], посвященной анализу вывода числового значения постоянной Планка h, числового значения коэффициента a, связывающего частоту электромагнитного излучения в области максимальной интенсивности спектра с температурой нагретого тела, не приводится.

Учитывая то обстоятельство, что частота электромагнитного излучения обратно пропорциональна длине волны этого излучения, коэффициентa можно представить в виде:

$$a = \frac{c}{\lambda_0 T} \qquad (3)$$

где c – скорость света; λ_0 – длина волны в области максимальной интенсивности излучения; T – температура нагретого тела.

Знаменатель выражения (3) в литературе [2] известен как константа Вина [2].

$$K_B = \lambda_0 \cdot T = 2{,}898 \cdot 10^{-3} \text{м}^{-1} \text{(град. К)}. \qquad (4)$$

С учётом вышеприведённых выражений (3) и (4) итоговое выражение (2) трансформируется в

$$a = \frac{c}{\lambda_0 T} = \frac{c}{K_\text{B}} = 1{,}03519 \cdot 10^{+1} \frac{\text{Гц}}{\text{град}}. \qquad (5)$$

Из выражения (5) следует, что по известной величине длины волны наиболее яркого участка спектра излучения нагретого тела представляется определить температуру T этого тела. Из анализа табличных данных спектра излучения АМ-0 (заатмосферного) следует, что длина волны максимальной интенсивности излучения λ_0составляет величину 0,47 мкми представлена на рис. 1.

Это обстоятельство позволяет оценить температуру светящейся поверхности Солнца.

$$T_{\text{Солнца}} = \frac{c}{\lambda_0 a} = 6166 \text{ град. К}. \quad (6)$$

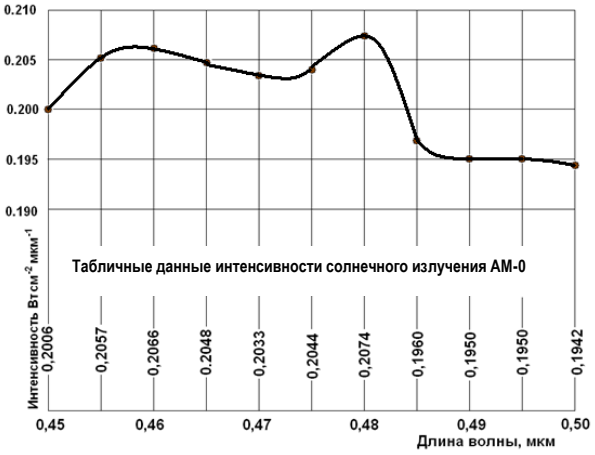


Рис. 1. Графическое уточнение длины волны электромагнитного излучения максимальной интенсивности солнечного излучения АМ-0

Второй, указанный выше закон Стефана-Больцмана гласит, что интегральное значение по всему спектру излучения мощности излучения нагретого тела пропорциональночетвёртой степени его температуры T

$$\int_0^\infty P_\lambda d\lambda = \sigma \cdot T^4, \quad (7)$$

где σ – искомый коэффициент связи мощности излучения и температуры.

Величина этого коэффициента определяется при известных значениях мощности излучения и температуры T

$$\sigma = \frac{\int_0^\infty P_{\lambda \cdot d\lambda}}{T^4} \frac{\text{Вт}}{(\text{град К})^4}. \quad (8)$$

Исходя из того обстоятельства, что температура излучающей поверхности Солнца определена согласно выражению (6), а интегральное полное значение мощности светового излучения известно как солнечная радиация на расстоянии одной астрономической единицы, определено спектром АМ-0 в виде (3, 5)

$$P_{полн.} = 1553 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}. \quad (9)$$

Эмпирическое значение коэффициента σ определяется:

$$\sigma = \frac{1{,}553 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}}{(6{,}166 \text{ град.К})^4} = 0{,}9783 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2(\text{град.К})^4}. \quad (10)$$

Теория Планка позволяет выразить величину σ через известные постоянные, а именно постоянную Планка h, постоянную Больцмана К, скорость света и безразмерную константу тонкого взаимодействия электромагнитного излучения и вещества a, котораябыла известна физикам уже в начале двадцатого века [3].

$$a = 0{,}085442 \ . \quad (11)$$

Следует отметить, что квадрат обратной величины a по Р. Фейману представляет собой число 137,03597 и назван проклятым таинственным числом в квантовой электродинамике [4].

Путём введения перечисленных выше известных физических констант теоретическое значение коэффициента σ в законе Стефана-Больцмана приобретает вид:

$$\sigma_{\text{теор.}} = \frac{a^2}{\pi^2} \cdot \frac{K_Б^4}{h^3 \cdot c} = 1{,}02352 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Дж}}{\text{с}\cdot\text{м}^2}, \quad (12)$$

где $\frac{a}{\pi^2}$– безразмерный множитель в составе σ; $\frac{K_Б^4}{h^{3\cdot c^2}}$ – соотношение физических констант, обеспечивающее требуемую размерность коэффициента σ.

Сравнительный анализ величин $\sigma_{\text{теор.}}$ и $\sigma_{\text{эксп.}}$ показывает весьма хорошее совпадение:

$$\frac{\sigma_{\text{теор.}}}{\sigma_{\text{эксп.}}} = 1{,}04622. \quad (13)$$

Насколько меньшее значение коэффициента $\sigma_{\text{эксп.}}$ относительно величины $\sigma_{\text{теор.}}$ следует объяснить влиянием на спектр солнечного излучения космического мусора на пути движения фотонов от Солнца к земле.

К составу космического мусора следует отнести испускаемые Солнцем в процессе термоэмиссии потоки электронов и других частиц, а также присутствующие в околосолнечном пространстве межзвёздных газовых скоплений, в том числе самой солнечной атмосферы.

Это обстоятельство позволяет объяснение сдвига (покраснения) спектров излучения далёких от нашей солнечной системы галактик и не списывать это явление на эффект Доплера.

Литература

1. *Шерф Х.Г.* Квантовая метрология и фундаментальные константы// Энциклопедия Кольера. Раздел Планка постоянная. М., 1973.
2. *Раушенбах Г.* Справочник по проектированию солнечных батарей. М.:Энергоатомиздат, 1983. С. 268-271.
3. *Фейман Р.* КЭД – странная теория света и вещества. Библиотека Квант. Вып. 66. М.: Наука, 1988.С. 114.
4. *Никитин Б.А.* Сравнительные спектральные характеристики солнечного излучения с учётом величин атмосферных масс / Б.А. Никитин, В.А. Майоров, Л.М. Лукашик// Гелиотехника. Ташкент, 2016. №3. С.3-5.

Сведения об авторах:

Никитин Борис Андреевич – канд. техн. наук,
Харченко Валерий Владимирович – доктор техн. наук, профессор,
e-mail: kharval@mail.ru,
Гусаров Валентин Александрович – канд. техн. наук,e-mail: cosinys50@mail.ru,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), г. Москва, Россия.

SPECTRUM OF AM-0 SOLAR RADIATION OUTSIDE OF ATMOSPHERE OF AS THE REFERENCE CRITERION IN A NUMERICAL EVALUATION OF THE COEFFICIENTS OF COUPLING OF IRRADIATION PARAMETERS WITH THE TEMPERATURE OF THE HEATED BODY IN THE LAWS OF THE WIEN DISPLACEMENT AND STEFAN-BOLTZMANN

B. Nikitin, V. Kharchenko, V. Gusarov

Based on the experimental spectral data of the atmospheric solar radiation AM-0, the temperature of the surface layer of the Sun is refined over the wavelength λ_0 = 0.47 μm corresponding to the maximum intensity of solar radiation. This temperature in accordance with the law of displacement of wine is estimated at 6166 degreesK.The coefficient of proportionality between the frequency of electromagnetic radiation at the maximum of its intensity is experimentally (according to the data of the solar radiation spectrum) is theoretically estimated by the value a = 1.03519 Hz / deg. K. The coefficient of proportionality σ in the Stefan-Boltzmann law, which relates the total radiation power of a heated body according to the AM-0 spectrum, is estimated at 0.9973 $W/m^2 \cdot deg^4$.The same coefficient σ, calculated from the derived analytical expression, is theoretically determined by the value of 1.02352 $W/m^2 \cdot deg^4$. A certain difference in the value of the coefficients σ, obtained experimentally and theoretically, is explained by the presence of a near-solar atmospheric mass on the path of electromagnetic radiation from the Sun to the Earth.

Keywords: solar radiation**,** electromagnetic radiation spectrum of heated bodies, the maximum intensity of the spectrum.

References

1. Sherf H.G. Quantum metrology and fundamental constants. In the book: Encyclopedia Kolyera. Planck's section constant. Moscow, 1973.(In Russian)
2. Raushenbakh G. Spravochnik po proektirovaniju solnechnyh batarej [Reference book on design of solar batteries]. Moscow, Energoatomizdat, 1983. P. 268-271.(In Russian)
3. Feyman R. KED – strannaja teorija sveta i veshhestva [KED – the strange theory of light and substance]. Quantum library. Release 66. Moscow, Science, 1988. P. 114.(In Russian)
4. Nikitin B.A., Mayorov V. A., Lukashik L.M. Comparative spectral characteristics of sunlight taking into account sizes of atmospheric masses. J. *Geliotehnika* [Solar technology]. Tashkent, 2016; 3: 3-5.(In Russian)

Authors:

B. Nikitin – Ph. D. (Engineering),
V. Kharchenko – D. Sc. (Engineering), prof.,
V. Gusarov – Ph. D. (Engineering),
e-mail: cosinys50@mail.ru,
FSBSI "Federal scientific engineering center VIM", Moscow, Russia.

• **For citation:** Nikitin B. A., Kharchenko V. V., Gusarov V. A. Spectrum of AM-0 solar radiation outside of atmosphere of as the reference criterion in a numerical evaluation of the coefficients of coupling of irradiation parameters with the temperature of the heated body in the laws of the Wien displacement and Stefan-Boltzmann. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 47-49. (In Russian)

УДК 53+52+55

ДВЕ ПОПРАВКИ К ЗАКОНУ КУЛОНА

Л.А. Похмельных
НПО Атмосферные и электрические технологии, Москва, Россия

Показывается, что запись Кулона закона взаимодействия зарядов содержит два дефекта, которые приводят к ошибкам при применении закона в масштабах, отличных от лабораторных. Первый дефект: описание двух разных сущностей – поля и объекта его воздействия – частицы одним параметром – зарядом, второй дефект: неявное постулирование абсолютной прозрачности материи для статического поля, что не совместимо с фактом силового взаимодействия зарядов и масс. На исправленной записи развит математический аппарат электродинамики, включающий изменение теоремы Гаусса и новое условие электродинамического равновесия тел с окружающей средой. Условие равновесия допускает прямую опытную проверку. Первые тесты подтвердили предпочтительность исправленной записи закона центрального взаимодействия.

Ключевые слова: *закон Кулона, дефекты, новая запись, ослабление поля материей, теорема Гаусса, электродинамическое равновесие, заряд земли, заряженность космоса, плотность заряда, солнечный цикл.*

Статья поступила в редакцию 14.09.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Похмельных Л.А. Две поправки к Закону Кулона // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 50-55.

Современная электростатика построена на законе центрального взаимодействия зарядов в записи Кулона

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} Q_1 Q_2 \frac{1}{r^2} . \qquad (1)$$

В лабораторных условиях закон опытно проверен на отклонение радиальной зависимости от обратно квадратичной с большой точностью [1, 2]. В то же время запись Кулона содержит дефекты, которые не позволяют быть уверенными в возможности экстраполяции этой закономерности в другие масштабы, отличающиеся от лабораторного [3, 4, 7].

Дефект 1. В кулоновской записи центральное поле и объект его воздействия – заряженная частица или тело – описываются одним и тем же параметром – зарядом. Согласно записи заряд действует на другой заряд на расстоянии через пустое пространство без поля. Параметр поля отсутствует. Закон был записан Кулоном в соответствии с оставленным в настоящее время принципом дальнодействия. Запись была эмпирической и не претендовала на описание механизма взаимодействия.

С тем же дефектом сто лет ранее Ньютоном был записан закон гравитации. По свидетельству историков Ньютон обращал внимание на странные следствия своей записи – на взаимодействие тел на расстоянии без контакта. Он был убеждён, что на расстоянии не может воздействовать даже Бог. Для объяснения работы закона он заключил, что Бог присутствует везде, в том числе и в телах (прообраз поля).

После введения Фарадеем в XIX веке понятия поля центральные записи законов гравитации и электростатики должны были быть исправлены с учётом взаимодействия зарядов через поля, т. е. при участии в воздействии двух разных сущностей: поля и частицы, но это сделано не было.

Дефект 2. Запись Кулона соответствует представлению об абсолютной прозрачности материи для статического поля. Присутствие материи между взаимодействующими зарядами представлено только постоянным коэффициентом ε – относительной диэлектрической проницаемостью вещества, который отражает поляризационные свойства среды.

Согласно закону сохранения энергии:

- присутствие заряженной частицы должно деформировать поле. Изменение расстояния между источником поля и объектом его воздействия должно сопровождаться изменением потенциальной энергии поля: увеличением или уменьшением – в зависимости от знака заряда частицы;

- деформация поля должна быть пропорциональной числу находящихся в нём одинаково заряженных частиц.

При деформации поля в виде ослабления напряженности E за частицей ослабление однородного поля по оси X за слоем материи ρdx должно быть записано в виде

$$dE = - E \frac{1}{\alpha} \rho \, dx,$$

где ρ – плотность массы среды; α – коэффициент с размерностью г/см^2 или кг/м^2 по физическому смыслу и размерности, равный толщине слоя материи, за которым поле ослабляется в *e* раз.

Ослабленное поле с начальной напряженностью E_o за слоем материи x равно

$$E(x) = E_o \exp\left(- \rho x \frac{1}{\alpha} \right). \qquad (2)$$

Экспоненциальная зависимость при описании ослабления поля материей универсальна. Она не зависит от типа поля (гравитационное, акустическое, поле излучения.)

В выражении закона центрального взаимодействия экспоненциальный множитель должен быть. То, что запись Кулона его не содержит, означает, что подразумевается абсолютная прозрачность материи для статического поля. Это противоречит факту силового взаимодействия элементов материи и закону сохранения энергии.

При графическом представлении записи закона Кулона молчаливо предполагается, что длины силовых линий центральных полей протонов и электронов бесконечны. На этом постулате построена теорема Гаусса. В интегральной форме теорема записывается в виде

$$\oint_S E \, ds = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} 4\pi Q , \qquad (3)$$

где E – напряженность поля на поверхности некоторого ограниченного объёма, содержащего заряд Q .

Согласно теореме заряды, расположенные вне объёма, не создают потока поля через его поверхность, так как бесконечная силовая линия всегда дважды пересекает поверхность объёма. В дифференциальном виде теорема Гаусса выражается зависимостью

$$\mathrm{Div}\, E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} 4\pi q , \qquad (4)$$

где q – плотность заряда в объёме дивергенции.

Согласно выражениям (3), (4) электродинамическое равновесие объёма или тела с окружающей средой определяется равенством нулю заряда и плотности заряда в этом объёме

$$Q = 0, \quad q = 0 . \qquad (5)$$

Эти два равенства означают, что электродинамическое равновесие объёма или тела с окружающей электрически проводящей средой не зависит от плотностей заряда и массы среды.

Соотношения (1), (3), (4), (5) являются базой классической электростатики и электродинамики. Классическая электродинамика удовлетворительно описывает ряд явлений лабораторного масштаба, но приводит к трудностям при описании электрических и электромагнитных явлений других масштабов, в частности электричества атома, атомного ядра, электричества и магнетизма земного шара, электричества земной атмосферы, Солнца и космоса [5].

Запись закона центрального взаимодействия нуждается в поправках, которые делают запись Кулона соответствующей принципу близкодействия и закону сохранения энергии. Поправки заключаются в следующем:

1. Участие во взаимодействии двух различных сущностей: поля и частицы – требует замены произведения двух качественно одинаковых параметров – зарядов – на произведение двух различных параметров, один из которых описывает интенсивность центрального поля одной взаимодействующей частицы (например, параметр *f*), а второй (например, параметр *s*) – эффективную площадь поверхности другой частицы, на которую воздействует внешнее поле;

2. Силовое взаимодействие материи, означающее непрозрачность материи для статического поля, требует введения в запись экспоненциального множителя с аргументом в виде слоя материи, пройденного полем.

С учётом этих поправок кулоновская запись закона центрального электрического взаимодействия произвольно заряженных частиц или тел должна быть заменена на

$$F_{1,2} = f_1 s_2 \frac{1}{r^2} \exp\left(- \rho r \frac{1}{\alpha_e}\right) , \qquad (6)$$

где по величинам, знакам и размерностям

$f_1 s_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} Q_1 Q_2$;

$F_{1,2}$ – сила, с которой частица 1 своим полем воздействует на некоторую эффективную поперечную площадь поверхности частицы 2; α_e – коэффициент ослабления электростатического поля материей; f_1 , s_2 – параметры взаимодействующих объектов, складывающиеся из параметров составляющих их протонов и электронов.

Нейтроны могут рассматриваться как сложные частицы, сформированные из протонов и электронов.

В отличие от записи Кулона выражение (6) отражает механизм воздействия, соответствующий принципу близкодействия. Запись (6) не означает, что при расчётах всегда необходимо переходить на параметры f, s, так как во многих практически важных случаях используется произведение двух параметров, и не важно, из каких множителей оно составлено.

Экспоненциальный множитель должен учитываться в случаях, когда слой материи, разделяющий взаимодействующие заряды, по величине сравним с радиусом экранирования полей материей, определяемым из (6) как

$$r = \frac{\alpha_e}{\rho}\ , \qquad (7)$$

или превышает его. Коэффициент ослабления электростатического поля, соответствующий непрозрачности протона для поля электрона в пределах его радиуса ($8{,}42\cdot10^{-16}$ м), равен

$$\alpha_e = 75 \text{ г /см}^2 = 7{,}5\cdot10^2 \text{ кг/ м}^2.$$

Эта величина означает, что электростатическое поле ослабляется в *e* раз за слоем воды толщиной 75 см или за слоем приземного атмосферного воздуха 560 м.

В отличие от записи Кулона (1) новая запись закона электростатического взаимодействия (6) обладает ценным качеством: она не приводит к бесконечностям при вычислении напряженности или потенциала поля в некоторой точке поверхности бесконечного равномерно объёмно заряженного полупространства. Напряженность поля E, нормальная к поверхности полупространства, и потенциал φ на поверхности оказываются равными

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\ \pi\ \alpha_e\ \frac{q}{\rho}, \qquad (8)$$
$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\,\pi\,\alpha_e^2\,\frac{q}{\rho^2},$$

где q, ρ – плотности заряда и массы в заряженном полупространстве.

При принципиальной непрозрачности материи для поля силовые линии поля становятся конечными и разной длины. В этих условиях любой выделенный объём бесконечной заряженной среды содержит не только источники центральных полей – заряды, но и некоторое конечное число окончаний силовых линий полей. Линии, оканчивающиеся в объёме, создают поток поля даже при отсутствии зарядов в объёме. С учётом этого выражение, аналогичное теореме Гаусса, приобретает вид

$$\oint_s E\,ds = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\,4\,\pi\,\rho\,V\left(\frac{q_v}{\rho_v} - \frac{q_o}{\rho_o}\right), \qquad (9)$$

где V – выделенный объём, а отношения плотностей зарядов и масс в объёме и окружающей среде обозначены символами «v» и «o» соответственно; ρ – плотность массы в среде измерения.

Выражение (9) отличается от теоремы Гаусса содержанием члена, описывающего параметры окружающей среды. В дифференциальной форме теорема связи потока поля через поверхность объёма приобретает вид

$$\text{Div } E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\,4\pi\rho\left(\frac{q_v}{\rho_v} - \frac{q_o}{\rho_o}\right). \qquad (10)$$

Из выражений (9) (10) следует, что величина и направление потока напряженности поля через замкнутую поверхность некоторого объёма зависят не только от величины и знака заряда в объёме, но и от присутствия зарядов и масс за его пределами. Условие электродинамического равновесия объёма или тела с окружающей средой приобретает вид

$$\frac{q_v}{\rho_v} = \frac{q_o}{\rho_o}. \qquad (11)$$

Отличие этого нового условия равновесия от классического условия (5) допускает опытную проверку. Экспериментальное устройство, позволяющее это сделать, состоит из некоторой электрически проводящей массы M, полностью окруженной электрически проводящим экраном. (рис. 1) [8].

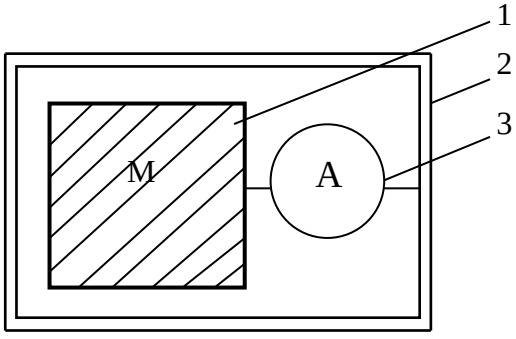


Рис. 1. Экспериментальное устройство:
1 – электрически проводящая масса; 2 – экран;
3 – измерительный прибор

Между массой и экраном измеряется электрический ток или разность потенциалов. Устройство помещается в атмосферу с изменяющимся отношением плотностей заряда и массы q_o/ρ_o в радиусе экранирования полей материи (7).

Согласно закону Кулона, теореме Гаусса и классическому условию электродинамического равновесия (5) при полной экранированности массы изменение отношения q_o/ρ_o в окружающей среде не приводит к потере элек-

тродинамического равновесия массы относительно экрана. Разность потенциалов и электрический ток между массой и экраном не возникают. Заряженность или нейтральность массы относительно экрана полностью определяются избыточным зарядом изолированной массы и не зависит от электрического состояния окружающей среды.

В отличие от этого согласно исправленному выражению закона центрального взаимодействия (6) и вытекающему из него условию электродинамического равновесия объёма или тела массой M со средой (11) изменение отношения плотностей заряда и массы в окружающей среде в радиусе экранирования (7) должно сопровождаться потерей электродинамического равновесия массы и всего устройства относительно среды, и между массой и экраном должен наблюдаться электрический ток, пропорциональный величине массы и скорости изменения отношения плотностей заряда и массы в окружающей среде

$$I = M \frac{d}{dt} \frac{q_o}{\rho_o}. \qquad (12)$$

Первая опытная проверка следствий традиционной и новой теорий была выполнена в 1981 г. При проверке использовался вывод новой теории атмосферного электричества о различии отношения плотностей заряда и массы на разных высотах земной атмосферы.

Устройство помещалось в салоне самолёта и имело электрический контакт с корпусом самолёта. Самолёт играл роль дополнительного экрана. Самолёт выполнял полёты на разных высотах в различное время суток.

Опыты показали, что при изменении высоты полёта ток в цепи устройства не остаётся нулевым, как этого требует классическая электродинамика, а является функцией высоты полёта и времени суток. Ток был максимален у земной поверхности и экспоненциально уменьшался с высотой. При помещении устройства открыто на земной поверхности наблюдались суточные вариации разности потенциалов и тока. Наблюдалась вековая компонента тока. Днём суммарный ток был больше, чем ночью.

Наблюдающиеся токи в цепи между массой и экраном свидетельствуют о справедливости новой записи закона центрального взаимодействия и о дефектности записи Кулона. Ввиду важности следствий для физики микро- и макромиров выполненные опыты нуждаются в проверке и подтверждении другими группами исследователей.

Некоторые следствия и выводы

Из нового условия электродинамического равновесия тел со средой (11) следует ряд новых теоретически и практически важных следствий:

1) в электрически нейтральном состоянии относительно окружающей среды любое электрически проводящее тело содержит объёмный заряд, мгновенная величина которого связана с плотностью заряда окружающей среды по закону (11);

2) при исследовании электрической заряженности протяженных сред может быть использовано принципиально новое устройство для измерения вариаций плотностей заряда и массы [4, 7, 8];

3) земной шар заряжен в объёме, а не по поверхности, как считается в традиционной грозовой гипотезе атмосферного электричества;

4) факт существования вертикального электрического поля хорошей погоды в земной атмосфере свидетельствует об отсутствии в нашу эпоху электродинамического равновесия земного шара относительно окружающей космической среды. Наблюдаемый ток – это ток разрядки Земли в постоянной времени $1{,}4 \cdot 10^3$ лет;

5) расчётная величина отрицательного объёмного заряда Земли ($1{,}4 \cdot 10^{14}$ Кл) [4, 7] позволяет рассматривать дипольное геомагнитное поле как следствие вращения отрицательно объёмно заряженного земного шара, неоднородного по плотности массы. Измеряемый ток через атмосферу соответствует наблюдаемой скорости ослабления геомагнитного диполя ($7 \cdot 10^{-4}$ в год);

6) космос электрически заряжен. Отношение плотностей заряда к массе в космосе не постоянно и меняется циклически. Существуют циклы изменений этого параметра с различной длительностью – от 22-х до миллионов лет. Наблюдение циклов у Солнца означает существование волн этого параметра, исходящих повидимому из центра нашей Галактики. Периоды волн $T_г$ определяются плотностью массы в космической среде ρ_o в месте формирования волн [6] из условия

$$T_г = 4\frac{\alpha_e}{c\rho_o}\ , \qquad (13)$$

где c – скорость света;

7) из соотношения (13) следует, что 22-летний цикл соответствует плотности массы в центре нашей галактики на 7 порядков выше, чем оцениваемая плотность массы в солнечной системе, а именно

$$\rho_o = 1{,}4\cdot10^{-17}\ г/\ см^3\ ;$$

8) циклические галактические волны параметра q/ρ с 22-летним периодом являются причиной цикличности Солнца и главным источником восполнения его энергии. Это касается всех звёзд. Солнечный цикл – это цикл электрической перезарядки Солнца в разности потенциалов между Солнцем и галактической волной. Солнечная корона – это коронный электрический разряд у солнечной поверхности;

9) смены полярности геомагнитного диполя в истории Земли предстают следствием изменения абсолютного знака заряда Земли в процессе изменения значения параметра q/ρ в космической среде;

10) наблюдаемый ток через атмосферу является током современной разрядки земного шара;

11) вековые похолодания и потепления на Земле являются следствием нерегулярности прихода и амплитуд галактических волн параметра q/ρ в 22-летнем периоде, из-за которой мощность излучения Солнца непостоянна;

12) метеорологические процессы являются следствием электрического состояния атмосферы, в частности электрической заряженности воздуха;

13) обосновывается технология коррекции погоды методом ионизации атмосферы с наземных установок (технология ELAT) [4, 7];

14) Современное глобальное потепление предстаёт следствием непреднамеренной ионизации атмосферы континентальными сетями высоковольтных ЛЭП.

Последний вывод позволяет считать общепринятое представление о парниковом эффекте как главной причине глобального потепления ошибочным.

Приведённые следствия допускают прямые или косвенные опытные проверки.

Построения приводят к выводу о том, что отношение плотностей заряда и массы во вселенной q/ρ является важнейшим параметром, определяющим термодинамические и электрические процессы в ближнем и дальнем космосе, в земных недрах и в атмосфере.

Литература

1. *Williams E.R., Faller J.F, Hill H.E.* New Experimental Test of Coulomb's Law. Phys. Rev. Let. 26. 721. 1971.
2. *Fulcher L.P.* Improved result for the accuracy of Coulomb's law. A review of the Williams, Faller and Hill experiment // Phys Rev A. 33. No 1. 1986. C. 759 – 761.
3. *Pokhmelnykh L.A.* Geo-cosmic electric relations in electrostatic with E–field screening by matter // Proceedings of I[st] Int. Cong. on Geo-Cosmic Relations. Amsterdam.1989./ Geo-cosmic relations; the earth and its macro-environment. Pudoc. Wageningen. 1990. C. 327-335.
4. *Похмельных Л.А.* Фундаментальные ошибки в физике и реальная электродинамика. М.: "ООО Маска". 2012. С. 43 - 69. (http://www.physlev.pro)
5. Там же. С. 82 – 100.
6. Там же. С. 176 -178.
7. *Pokhmelnykh L.A.* Fundamental errors in physics, electric universe and weather correction by air ionization. Moscow: OOO Maska, 2014. – 318 c. (http://www.physlev.pro)
8. А.С. СРРР № 999178. Устройство для измерения вариаций плотности объемного заряда в среде / Похмельных Л.А. – 1982.

Сведения об авторе:

Похмельных Лев Александрович – канд. физ.-мат. наук, научный руководитель ООО НПО «Атмосферные и электрические технологии», Москва, Россия, e-mail: levpokh@rambler.ru

---

TWO AMENDMENTS TO THE COULOMB'S LAW

L. Pokhmelnykh

It is shown that the record of the Coulomb law contains two defects, leading to errors when using it in the scale different from the laboratory one. The first defect is a description of two different entities - field and object of its impact – particles by the same parameter – charge. The second defect is implicit postulation of absolute transparency of matter for a static field, that is not compatible with the fact of power interaction of charges and masses. On a new record is developed mathematical

apparatus of electrodynamics, including the changed Gauss's theorem and new condition of the electrodynamic equilibrium of bodies with the environment. The equilibrium condition allows direct experimental verification. The first tests confirmed the preference for a new record of Coulomb's law.

Keywords. Coulomb's law, defects, new record, gauss's theorem, electrodynamic equilibrium, earth, field attenuation by matter, cosmos, charge density, sun, discharge, solar cycle.

References

1. Williams E.R., Faller J.F, Hill H.E. New Experimental Test of Coulomb's Law. Phys. Rev. Let. 26. 721. 1971. (In English)
2. Fulcher L.P. Improved result for the accuracy of Coulomb's law. A review of the Williams, Faller and Hill experiment. *Phys. Rev.* A. 33. 1986; 1: 759 – 761. (In English)
3. Pokhmelnykh L.A. Geo-cosmic electric relations in electrostatic with E–field screening by matter. *Proceed. of Ist Int. Cong. on Geo-Cosmic Relations*. Amsterdam, 1989; Geo-cosmic relations; the earth and its macro-environment. Pudoc. Wageningen. 1990. P. 327-335. (In English)
4. Pokhmelnykh L.A. Fundamental errors in physics and real electrodymamics. Moscow, OOO "Maska", 2012. P. 43-69. (http://www.physlev.pro) (In Russian)
5. Ibid. P. 82 – 100. (In Russian)
6. Ibid. P. 176 -178. (In Russian)
7. Pokhmelnykh L. A. Fundamental errors in physics, electric universe and weather correction by air ionization. Moscow. OOO "Maska", 2014. 318 ps. (http://www.physlev.pro) (In English)
8. AC № 999178, USSR. Device for measurements of charge density variation in medium. / Pokhmelnykh L.A. 1982. (in Russian)

Author:
L. Pokhmelnykh - Ph. D. (physical and mathematical),
Chief scientist of the OOO NPO «Atmospheric and electric technologies» (OOO NPO AET)
e-mail: levpokh@rambler.ru

• **For citation:** Pokhmelnykh L.A. Two amendments to the Coulomb's law. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 50-55. (In Russian)

УДК 631.1:631.17

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМАМ МЕХАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА

Ю.А. Иванов, П.И. Гриднев
Всероссийский научно-исследовательский институт механизации животноводства (ФГБНУ ВНИИМЖ), Москва, Россия

На основании анализа отечественного и зарубежного опыта развития сельскохозяйственного производства, тенденций в производстве продукции животноводства, целевых индикаторов Доктрины продовольственной безопасности, состояния с использованием земельных ресурсов России, требований по защите окружающей среды от загрязнения сформированы основные направления исследований для получения новых знаний и закономерностей функционирования предприятий по производству органической продукции животноводства – одного из условий возрождения сельских поселений и обеспечения населения страны высококачественными продуктами питания, снижающими порог заболеваемости. Реализация предложенных результатов позволит достичь целевых показателей Доктрины продовольственной безопасности России, улучшить условия жизнедеятельности человека и общества в целом, предотвратить загрязнение окружающей среды и падение плодородия почв, оптимизировать систему районирования предприятий по производству продукции животноводства, повысить интеллектуальный уровень сельского населения, улучшить социально-экономическую ситуацию сельских поселений. Для этого необходимо добиться чёткой гармонизации отраслей сельского хозяйства. Органическое производство продукции животноводства невозможно без органического растениеводства. Для этого, прежде всего, необходимо исключить возможность строительства животноводческих объектов без решения проблемы утилизации навоза в виде органического удобрения. Органическое производство продукции послужит отправной точкой развития сельских поселений, обеспечит защиту окружающей среды от загрязнения, сохранение и увеличение плодородия почв. Россия в состоянии более чем на 30 млн. га пашни организовать производство высококачественного сырья для продуктов питания. Возможный валовый объём органической продукции сельского хозяйства оценивается примерно в 700 млрд. рублей, в том числе экспорт на 300 млрд. рублей. Дополнительно может быть создано до 100 тыс. рабочих мест с высоким уровнем дохода.

Ключевые слова: *плодородие почв; органическая продукция; экологическая безопасность; новые технологии и комплекты машин.*

Статья поступила в редакцию 25.10.2017 **Принято к публикации 01.12.2017**

• **Для цитирования:** Иванов Ю.А., Гриднев П.И. Направления развития фундаментальных исследований по проблемам механизации производства продукции животноводства / // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 56-61.

Постановка задачи

Научные исследования по проблемам механизации производства продукции животноводства направлены на создание необходимых условий для эффективного функционирования предприятий отрасли. На каждом этапе развития научно-технического прогресса приходится решать различные вопросы с необходимостью увязки текущей обстановки в стране и мире. В настоящее время перед Россией стоит важнейшая проблема обеспечения жителей страны высококачественными продуктами питания, в том числе животного происхождения. Не менее важны проблемы снижения негативного воздействия животноводства на окружающую среду, а также сохранения и увеличения плодородия почв. С учётом высказанного должны формироваться направления развития фундаментальных исследований по проблемам механизации производства продукции животноводства.

Цель исследований. На основании отечественного и зарубежного опыта развития сельскохозяйственного производства сформировать основные направления исследований по получению новых знаний и закономерностей функционирования предприятий по производству

органической продукции животноводства – одного из условий возрождения сельских поселений и обеспечения населения страны высококачественными продуктами питания, снижающими порог заболеваемости.

Результаты и обсуждения. В соответствии с ФЗ № 127 «О науке и государственной научно-технической политике» фундаментальные научные исследования – это экспериментальная и теоретическая деятельность, направленная на получение новых знаний об основных закономерностях строения, функционирования и развития человека, общества и окружающей среды [1]. Как видим, на первом месте стоит человек. Для его жизнедеятельности и развития необходимы продукты питания. Продовольственная безопасность России, как отмечается в соответствующей доктрине, является одним из главных направлений обеспечения национальной безопасности страны. Пороговые значения для оценки состояния продовольственной безопасности страны в общем объёме товарных ресурсов внутреннего рынка определены следующими показателями производства [2]:

- зерна – не менее 95%;
- сахара – не менее 80%;
- мяса и мясопродуктов (в пересчете на мясо) – не менее 85%;
- молока и молокопродуктов (в пересчете на молоко) – не менее 90%.

Для достижения планируемых объемов производства продовольствия основные усилия должны концентрироваться на следующих направлениях:

- повышение плодородия почв, урожайности сельскохозяйственных культур, увеличение объемов производства продукции растениеводства;
- ускоренное развитие животноводства;
- создание новых технологий глубокой переработки продовольственного сырья;
- увеличение темпов развития структурно-технологической модернизации агропромышленного комплекса;
- развитие системы подготовки квалифицированных кадров;
- повышение эффективности государственной поддержки товаропроизводителей.

С целью формирования здорового типа питания планируется развитие фундаментальных и прикладных научных исследований по медико-биологической оценке безопасности новых источников пищи, внедрение инновационных биотехнологий, технологий органического производства пищевых продуктов и продовольственного сырья [3 – 5].

В соответствии с медицинскими нормами каждый человек в год должен потреблять основных продуктов питания:

- молока и молокопродуктов в пересчете на молоко – 340 кг;
- мясопродуктов – 76 кг, в том числе:
  - говядины – 20-30 кг;
  - баранины – 2-4 кг;
  - свинины – 8-16 кг;
  - птицы – 30-38 кг;
  - конины, оленины – 1-3 кг и др.

Принимая во внимание динамику изменения численности населения страны, которая за шесть последних лет увеличилась почти на четыре миллиона, ежегодно необходимо производить:

- молока и молокопродуктов в пересчете на молоко – 49,8 млн. т;
- мясопродуктов – 11,14 млн. т.

По данным Министерства сельского хозяйства за последние годы показатель самообеспеченности страны по мясу составил 82, а по молоку – 77,5%.

За счет чего возможно обеспечить достижение 100%-й самообеспеченности страны продуктами животноводства? Решая эту проблему, необходимо помнить о том, что за 20 последних лет площадь пашни сократилась на 13,5% и составила 114 млн га, из которых примерно 20,5 млн га зарастают лесом или заболачиваются. Практически повсеместно наблюдается снижение плодородия почв [6]. Занятость на сегодняшний день в сельскохозяйственных предприятиях составляет 1,5 млн. человек, что в семь раз меньше чем в начале 1990 года. С вступлением в ВТО, в соответствии с Постановлением правительства №1029 от 28 сентября 2015 г., резко возросли экологические требования к предприятиям по производству продукции животноводства, как к источникам выбросов в атмосферу парниковых газов и аммиака [7 – 9]. Только из-за неэффективного использования удобрительных ресурсов навоза страна ежегодно имеет упущенную экономическую выгоду, оцениваемую примерно в 165,0 млрд. руб., (табл. 1) [10].

Еще одним важным моментом неэффективного использования удобрительных ресурсов навоза является падение плодородия почв из-за сокращения содержания гумуса. По результатам многолетних наблюдений потери гумуса в почвах России достигли 30%, а ущерб от этих потерь для различных типов почв оценивается от 81,4 до 739,2 тыс. руб./га, табл. 2 [10, 11]

Таблица 1

Экономическая оценка эффективности функционирования систем утилизации навоза

Наименование показателей	Количество, млн. т	Стоимостная оценка, млрд. руб.
Неиспользуемый навоз	150 – 200	22,0 - 26,0
Недобор урожая в пересчете на зерно	7,5 – 9,2	35,0 – 40,0
Выброс в атмосферу CO_2 (парниковый газ)	18 – 19	14,5 – 15,0
Плата за размещение неиспользуемого навоза	150 – 200	39,7 – 84,5
	ВСЕГО:	≈ 165,0

Таблица 2

Оценка ущерба от потерь гумуса пахотных земель

Тип почвы	Запасы гумуса в 20 см слое, т/га	Потери гумуса, т/га	Ущерб от потерь гумуса, тыс. руб./га
Подзолистые и дерново-подзолистые	53,0	10,6 – 15,9	116,6 – 174,9
Серые лесные	109,0	21,8 – 32,7	239,8 – 359,7
Чернозёмы типичные	224,0	44,8 – 67,2	492,8 – 739,2
Темно-каштановые	99,0	19,8 – 29,7	217,8 – 326,7
Серозёмы	37,0	7,4 – 11,1	81,4 – 122,1

Плодородие почв – это не только богатство сегодняшнего дня, это и богатство будущего.

Что же надо сделать с учетом всех вышеизложенных факторов, чтобы обеспечить продовольственную безопасность страны, сохранить и преумножить богатство нашей окружающей среды? При решении данной проблемы необходимо учитывать мировой опыт развития производства продуктов питания. Если прирост численности населения сохранится, то в ближайшие годы она составит 9,7 млрд. человек при росте калорийности потребляемых продуктов питания с 1970 года на 20%.

Мировое потребление мяса достигло 279 млн. т, производство молока – более 700 млн. т. Лидеры по продуктивности коров получили показатели на уровне 10,5 тыс. литров на голову в год. Затраты на дальнейшее повышение продуктивности заметно увеличатся.

За последние 45 лет продовольственная индустрия значительно снизила риски голода, площади пашни, занимаемые генномодифицированными растениями, увеличились до 180 млн. га. В России это производство под запретом, у нас достаточно угодий и возможностей для производства натуральных продуктов питания, потребление которых способствует укреплению здоровья.

Основные потребители органических продуктов питания в 2013 г. представлены в табл. 3.

Практически все эти страны имеют наиболее высокие расходы на производство продуктов питания, так в Швейцарии они достигают 221, а во Франции 73 € на душу населения в месяц [9].

Таблица 3

Стоимость потребленных органических продуктов питания в 2013 году, млрд. долл. США

Страна	Стоимость потребленных органических продуктов питания, млрд. долл. США
США	26,7
Германия	8,3
Франция	4,8
Китай	2,7
Канада	2,6
Италия	2,2
Швейцария	1,8
Швеция	1,1
Япония	1,1

В России еще нет законов о производстве органических продуктов питания и достоверных данных по потреблению.

С учетом отмеченного выше, перспективным направлением решения данной проблемы для России является переход на органическое

производство продукции сельского хозяйства. Мировой рынок чистых продуктов на сегодня оценивается примерно в 100 млрд. долл. США и растет на 20-25% в год. Россия в состоянии занять до 12% производства органических продуктов. При этом рентабельность сельскохозяйственного производства значительно возрастет, высококачественные продукты питания будут способствовать укреплению здоровья населения, [4, 5, 9, 12 – 14].

Реализация данного направления потребует разработки принципиально новых технологий и комплектов машин для:

- производства всех видов кормовых культур;
- приготовления кормов для различных групп животных;
- максимальной реализации генетического потенциала содержания животных с системой глобальной идентификации поголовья;
- сокращения выбросов в атмосферу аммиака и парниковых газов;
- интеллектуальных систем управления технологическими процессами и качеством продукции, учитывающих различные природно-климатические особенности зон расположения объектов производства;
- биохимических способов производства кормового и пищевого белка, в том числе на основе биогаза, получаемого методом анаэробного сбраживания навоза;
- экологически безопасного производства высококачественных органических удобрений на основе навоза, в том числе для многопрофильных предприятий.

Реализация данных направлений позволит установить закономерности функционирования технологий и комплектов технических средств с интеллектуальными системами управления технологическими процессами и качеством производимой органической продукции животноводства с учетом влияния природно-климатических особенностей зон расположения предприятий.

Результаты исследований по данной тематике решают фундаментальные задачи, поскольку позволяют обеспечить продовольственную безопасность страны, улучшить условия жизнедеятельности человека и общества в целом, снизить загрязнение окружающей среды, увеличить плодородие почв, оптимизировать систему районирования производства продукции животноводства, повысить интеллектуальный уровень сельского населения и создать условия для улучшения социально-экономической ситуации в сельских поселениях [11-13].

Прогнозы развития производства мясной и молочной продукции показывают, что главенство в этом направлении пока останется за ЕС и США. Однако быстрый рост потребности в экологически чистой органической продукции и огромный потенциал России при соответствующем направлении развития позволит ей войти в число основных поставщиков высококачественной продукции растениеводства и животноводства, в том числе для мощнейших рынков Юго-Восточной Азии [14 – 16].

Выводы

1. В ближайшие годы основные фундаментальные исследования по проблеме механизации животноводства целесообразно сосредоточить на установлении новых знаний и закономерностей функционирования технологических процессов животноводческих предприятий: содержания животных; кормления, доения, микроклимата, ветеринарного обслуживания, систем утилизации навоза, воспроизводства стада.

2. Органическое производство продукции животноводства невозможно без органического растениеводства. Необходимо добиться чёткой гармонизации отраслей сельского хозяйства. Исключить возможность строительства животноводческих объектов без решения проблемы утилизации навоза в виде органического удобрения.

3. Органическое производство продукции сельского хозяйства может послужить отправной точкой развития сельских поселений, обеспечит защиту окружающей среды от загрязнения, сохранение и увеличение плодородия почв. Россия в состоянии более чем на 30 млн га пашни организовать производство высококачественного сырья для продуктов питания. Возможный валовый объём органической продукции сельского хозяйства оценивается примерно в 700 млрд. руб., в том числе экспорт на 300 млрд. руб. Дополнительно может быть создано до 100 тыс. рабочих мест с высоким уровнем дохода.

Литература

1. Федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике». ФЗ №127 от 23 августа 1996. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant. (дата обращения: 03.02.2017).
2. Указ Президента Российской Федерации «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации». № 120 от 30 января 2010 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/902195504 (дата обращения: 10.03.2017).

3. Стратегия развития механизации и автоматизации животноводства на период до 2030 года. М.: Росинформагротех, 2015. –149 с.
4. *Полушкина Т.М.* Устойчивое развитие сельских территорий через становление органического сельского хозяйства // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2016. №6. С. 22-33
5. *Полушкина Т.М.* Органическое сельское хозяйство в системе устойчивого развития сельских территорий // Проблемы территорий и практика управления. Международный журнал. 2016. № 3. С. 133-142.
6. За 20 лет площадь пашни в России сократилась на 13,5% - эксперт / [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.aif.ru/money/314637 (дата обращения: 01.03.2017).
7. Постановление Правительства РФ «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий». от 28.09.2015 № 1029 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://Consultant.ru/document/cons_doc_LAW_186693/ (дата обращения: 10.02.2017).
8. *Аварский Н.Д.* Рынок органической продукции России: современное состояние и потенциал развития / Аварский Н.Д. и др. // Экономика сельского хозяйства России. 2014. № 5. С. 29-37.
9. *Гусев А.А.* Эколого-экономическая эффективность органического земледелия // Экономика природопользования. 2013. № 1. С. 5-10; №2. С. 3-16.
10. *Гриднев П.И.* Ресурсосберегающие экологически безопасные системы утилизации навоза / П.И. Гриднев, Т.Т. Гриднева, Ю.Ю. Спотару. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2016. – 97 с.
11. *Кирюшин В.И.* Наследие В.Р. Вильямса и современные проблемы агропочвоведения // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2014. Выпуск 1. С. 5-15.
12. *Кирюшин В.И.* Проблемы экологизации земледелия в России (Белгородская модель) // Достижения науки и техники в АПК. 2012. №12. С. 3-9.
13. *Кирюшин В.И.* Цена экологической устойчивости сельскохозяйственного ландшафта // Известия Оренбургского аграрного университета. 2004. Том 4. № 41. С. 9-12.
14. Nachhaltiger Ackerbau: Effizienz steigern/ Image pflegen, Ressourcen schonen. Christen O und andere / DLGA Merkblatt № 369/ 2013/ S. 34. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.nachhaltige-landwirtschaft.info/fileadmin/pdf/dig-merkblatt_369.pdf (дата обращения: 10.02.2017).
15. *Christen O.* Nachhaltigkeit für die Landwirtschaft – von der Theorien in der praktische Umsetzung / 250 Jahre Leipziger Ökonomische Societat 1764 bis 2015 / O. Christen, K. Reinsberg, E. Schulze, W. Merbach. Leipzig, 2014. Mitteilung Agrarwirtschaften. 2015. Heft № 26. С. 75-78. (дата обращения: 20.02.2017)
16. World Populationen Prospects. Key Findings and Advance Tables. The 2015 Revision. United Nations. New York. 2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf (дата обращения: 22.02.2017).

Сведения об авторах:

Иванов Юрий Анатольевич - академик РАН, директор,

Гриднев Павел Иванович – доктор техн. наук, зам. директора по научной работе,

ФГБНУ ВНИИМЖ, Москва, Россия,

e-mail: vniimzh@mail.ru

THE DIRECTIONS OF LIVESTOCK INDUSTRY MECHANIZATION PROBLEMS' FUNDAMENTAL RESEARCH DEVELOPMENT

Yu. Ivanov, P. **Gridnev**

Based on the domestic and foreign experience of agriculture production development, trends in livestock productivity, targets, food security Doctrine indicators' analysis, the status with the Russian land resources using, environment protection requirements from polluting, are formed the main directions of research to obtain enterprises functioning's new knowledge and regularities for the organic livestock products workings – one of the condition of the rural settlements revival and population with quality food provision, reducing the morbidity threshold. Implementation of the proposed results allows target's indicators of Russian food security Doctrine to achieve; the conditions of human life and society as a whole to improve; environmental pollution and decline of soil fertility to prevent; the products system of livestock enterprises release to optimize; the rural population intellectual level to promote; the rural settlements' socio-economic situation to improve. This requires a clear harmonization of agriculture. Organic livestock production is not possible without organic crop production. For this, first of all it is necessary to exclude the possibility of livestock facilities construction without the manure utilization as organic fertilizer' problem solution. Organic food production will serve as a rural communities development starting point, ensure the environment protection from pollution, the preserve and increase of soil fertility. Russia can more than 30 million hectares of arable land organize for high quality raw materials for food productivity. The agriculture organic production possible total volume is estimated at about 700 billion rubles,

including 300 billion rubles of export. Additionally it can be created up to 100 thousand jobs with high level of income.

Keywords: soil fertility; organic products; ecological safety; new technologies and sets of machines.

References

1. Federal'nyj zakon «O nauke i gosudarstvennoj nauchno-tehnicheskoj politike». [Science and state scientific and technical policy about]. №127–FZ. 23.08.1996. Electronic resource. URL: http://www.consultant. (accessed date: 03.02.2017). (In Russian)
2. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii «Doktrina prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii» [President of the Russian Federation decree on January, 30, 2010, №120. «The Russian Federation food security Doctrine»]. Electronic resource. URL: http://docs.cntd.ru/document/902195504 (date accessed: 10.03.2017). (In Russian)
3. Strategija razvitija mehanizacii i avtomatizacii zhivotnovodstva na period do 2030 goda [The strategy of livestock mechanization and automation development for the period till 2030]. Moscow, Rosinformagrotech, 2015, 149 ps. (In Russian)
4. Polushkina T.M. The rural territories sustainable development through the organic agriculture development. J. *Nacional'nye interesy: prioritety i bezopasnost'*. 2016; 6: 22-33. (In Russian)
5. Polushkina T. M. Organic agriculture in the rural territories sustainable system development. The international journal *Problemy territorij i praktika upravlenija*. 2016; 3: 133-142. (In Russian)
6. For 20 years the Russian arable land area was decreased in 13.5% - expert / [Electronic resource].URL: http://www.aif.ru/money/314637 (accessed date: 01.03.2017). (In Russian)
7. Postanovlenie Pravitel'stva RF «Ob utverzhdenii kriteriev otnesenija ob#ektov, okazyvajushhih negativnoe vozdejstvie na okruzhajushhuju sredu, k ob'ektam I, II, III i IV kategorij» [RF Government Resolution from 28.09.2015 № 1029 "The approval criteria of objects reference that have a negative impact on the environment, for I and II, III and IV categories objects about"]. Electronic resource.URL: http://Consultant.ru/document/cons_doc_LAW_186693/ (accessed: 10.02.2017). (In Russian)
8. Avarsky N.D. and all. The Russian organic products' market: current state and potential of development. J. *Jekonomika sel'skogo hozjajstva Rossii*. 2014; 5: 29-37. (In Russian)
9. Gusev A. A. The organic land farming ecology-and-economic efficiency. J. *Jekonomika prirodopol'zovanija*. 2013; 1: 5 – 10; 2: 3 – 16. (In Russian)
10. Gridnev P.I. The resource-and-saving environmentally safe system of manure utilization / P.I. Gridnev, T.T. Gridnev, Y.Y. Spatary / LAP Lambert Academic Publishing. 2016. 97 p.
11. Kiryushin V.I. V. R. Williams heritage and modern problems of soil science. J, *Izvestija Timirjazevskoj sel'skohozjajstvennoj akademii*. 2014; 1: 5 – 15. (In Russian)
12. Kiryushin V.I Russian arable farming ecologization problems (Belgorod model). J. *Dostizhenija nauki i tehniki v APK*. 2012; 12: 3 – 9. (In Russian)
13. Kiryushin V.I. The price of agricultural landscape ecological stability. J. *Izvestija Orenburgskogo agrarnogo universiteta*. 2004; 4; 41: 9 – 12. (In Russian)
14. Nachhaltiger Ackerbau: Effizienz steigern/ pflegen image, Ressourcen schonen. Kristen O und andere / DLGA Merkblatt. 2013; 369: 34. [Electronic resource]. [URL: http://www.nachhaltige-landwirtschaft.info/fileadmin/pdf/dig-merkblatt_369.pdf (accessed on 10.02.2017). (In English)
15. Christians, O. Agriculture sustainability – theories in the practical implementation / 250 years of the Leipzig Economic Society 1764 to 2015 / Reinsberg, K., Schulze, E., Merbach W., Leipzig, 2014. Communication Agricultural Economies. 2015; 26: 75 – 78. (accessed on 20.02/2017) (In English)
16. The Prospects of The World Population. Key findings and advance tables. The revision 2015. The United Nations. New York. 2015. [Electronic resource]. [URL: ttp://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf (accessed on 22.02.2017). (In English)

Authors:

Yu. Ivanov – RAS academician, director,

P. Gridnev – D. Sc. (Engineering), deputy director on scientific work,

All-Russian scientific research institute of livestock mechanization (VNIIMZ), Moscow, Russia,

e-mail: vniimzh@mail.ru

• **For citation:** Ivanov Yu.A., Gridnev P.I. The directions of livestock industry mechanization problems' fundamental research development. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 56-61. (In Russian)

УДК 631.371:621.311

СОВРЕМЕННОЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРОМ КОРМОВ

В.Ю. Уханова
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия

В данной статье описывается автоматизированная система управления процессом изготовления гранулированных кормов. Система российского производства, может быть использована в хозяйствах разного уровня – мелких, средних и крупных. В условиях современной экономической ситуации не все предприятия могут позволить себе приобретать импортное оборудование или импортные корма. Высокий курс доллара и евро делает такие приобретения очень затратными. Использование отечественного оборудования позволяет снизить уровень финансовых затрат и поддержать российского производителя. Немаловажен и тот факт, что многие отечественные производители оборудования предоставляют бесплатную и круглосуточную техническую поддержку, удобное и недорогое сервисное обслуживание, бесплатное обучение персонала работе на своем оборудовании. Рассмотренная система автоматизированного управления позволяет, в случае необходимости, перевести оборудование для производства гранулированного корма в ручной режим управления. Это очень важно, так как не требует останова процесса гранулирования. Использование гранулированных кормов в процессе содержания животных и птицы – это тоже один из путей оптимизации затрат, так как этот вид кормов дольше хранится, лучше сохраняет полезные свойства, менее других видов кормов подвержен влиянию окружающей среды. Также использование гранулированного корма позволяет полностью автоматизировать процесс кормления. Целью любого фермера является производство качественной конкурентоспособной продукции при условии постоянной оптимизации затрат. Поэтому исследование рынка современного отечественного оборудования для сельского хозяйства, анализ такого оборудования и предлагаемых услуг, информирование фермеров – очень важные на сегодня задачи.

Ключевые слова: *импортозамещение в сельском хозяйстве, отечественное оборудование для сельского хозяйства; автоматизированная система управления процессом гранулирования кормов.*

Статья поступила в редакцию 15.08.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Уханова В.Ю. Современное отечественное оборудование для автоматизированного управления пресс-гранулятором кормов // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 62-65.

Целью любого фермерского хозяйства является производство качественной продукции при условии оптимизации затрат. Это означает, что вопрос сохранения определенного уровня себестоимости продукции очень важен как для крупных, так и для средних и мелких хозяйств. Одним из способов оптимизации затрат для скотоводческих и птицеводческих хозяйств является использование качественного готового рассыпного или гранулированного комбикорма.

Преимущества использования гранулированного комбикорма:

- Удобен для транспортировки;
- Более низкие потери корма при погрузке и разгрузке;

Рис. 1. Внешний вид гранулированного корма [4]

- Менее других видов кормов подвержен влиянию окружающей среды;

- Лучше и дольше хранится по сравнению с другими видами кормов;
- Дольше других видов кормов сохраняет свои полезные свойства;
- Использование гранулированного комбикорма позволяет полностью автоматизировать процесс кормления.

Говоря о несомненной пользе гранул, следует обратиться к анатомии птиц и животных. Считается, что их органы пищеварения совершенно не приспособлены к должной переработке корма в жидком состоянии или состоянии пасты. Исключение из этого правила могут составить, разве что, свиньи. Так, птица рискует получить забивание клюва в том случае, если питается обычным кормом. И, как следствие, возникают проблемы с дыханием. К тому же, согласно наблюдениям специалистов, продуктивность птицы при кормлении гранулами способна увеличиться в среднем на 15%! Цифра эта объясняется тем, что мучнистый корм имеет малый вес и, как следствие, птицы тратят больше энергии на поглощение пищи. При этом гранулы имеют больший вес – это значит, что птицей на кормление тратится меньше энергии, а корма вместе со всеми питательными веществами поглощается больше. Птица уже не выбирает, что проглотить, а употребляет всё вместе с полезными элементами. Следует заметить, что таким образом можно значительно сэкономить и на самом корме.

Что касается животных, то тут имеются свои трудности. Так, жвачным животным крайне сложно языком захватывать мучнистый комбикорм. На первый взгляд, кажется, что ничего страшного не происходит, ведь, хоть и сложно, но процесс поглощения пищи происходит. Однако такой подход чреват: жевательный аппарат не используется должным образом, и желудок принимает пищу не в том виде, в каком она должна поступать. А вот если использовать гранулы, у животного будет хороший аппетит, слизистые оболочки останутся в нераздражённом состоянии и, конечно же, переваривание продукта пройдёт так, как нужно благодаря отличному пережевыванию. Свиньям намного проще переваривать еду, подаваемую в мучнистом состоянии. Однако желательно и их кормить гранулами – тем самым вы сэкономите на еде, предоставив при этом животному тот же самый набор необходимых веществ [1, 2].

Для снижения затрат на закупку и транспортировку кормов, а также для полной уверенности в качестве используемых кормов можно использовать непосредственно в хозяйстве оборудование для гранулирования корма. На сегодня на рынке существует разнообразные предложения подобного оборудования. Например ЛГ-MINI, ЛГ, ЛГА, ЛПКГ-MINI, ЛПКГ, ЛПКГА и ЛГКВО.

Помимо непосредственно установки для производства гранулированного комбикорма возможно использование автоматической системы управления такой установкой.

Создание подобной АСУ возможно с использованием отечественного оборудования.

Сырьем для производства корма могут служить: рожь, пшеница, кукуруза, ячмень, овес, рыбная и костная мука, отруби, травяная мука, овощной жмых и т.д. Мука подается в миксер пресса, увлажняется, разогревается, подготовленная масса подается в кольцевую матрицу пресса, где за счет вращения прессующих роликов происходит гранулирование комбикорма.

Качество гранул зависит от состава исходного сырья, от его способности к сжатию, способности образовывать прочные соединения. Также большое влияние на качество оказывают температура на выходе из миксера, степень загрузки оборудования, число аварийных остановок пресса.

Пресс-гранулятор может состоять из:

- Быстродействующих парового и регулирующих клапанов;
- Датчика температуры;
- Двух электроприводов прессующих роликов;
- Электроприводов миксера и питающего шнека;
- Пневмопривода сборной заслонки;
- Насоса-дозатора жидких добавок с частотным регулированием;
- Дозирующего пневмоклапана.

Управление всеми этими устройствами осуществляется автоматизированной системой управления. Условия эксплуатации АСУ сложные – температура в мешалке достигает 50°С, влажность приближается к 100%. Система АСУ включает в себя: датчики, исполнительные ме-

ханизмы и шкаф автоматики. Шкаф лучше располагать не в непосредственной близости от установки, а удаленно – например в диспетчерской. Для удобства работы оператора в зале, где расположена установка по производству гранулированного корма, можно разместить пульт управления. С помощью данного пульта можно запускать или останавливать установку, наблюдать текущие значения тока и температуры продукта.

Основные комплектующие шкафа автоматики, разработанного ОВЕН:

- Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК 154;
- Модуль дискретного ввода/вывода ОВЕН МДВВ;
- Сенсорная панель;
- Частотный привод.

С помощью контроллера сигналы от датчиков преобразуются в физические величины, обрабатывается полученная информация и производится управляющее воздействие на паровой клапан для поддержания установленной температуры сырья. Также при помощи контроллера поддерживается оптимальная загрузка пресса путем дозирования подаваемой муки. Контроллер формирует предупредительные сигналы аварий, отказов и готовности к работе оборудования.

АСУ имеет два режима работы: ручной и автоматический. Запуск установки осуществляется в ручном режиме. По требованию пользователя для случаев сбоя в работе оборудования или выхода из строя контроллера или модуля система обеспечивает режим ручного управления процессом гранулирования корма. Как только процесс выходит на рабочий режим, оператор переводит управление на контроллер.

Литература

1. Агро-форум. Оптимизация затрат фермерского хозяйства путем гранулирования комбикорма. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://agro-forum.net/threads/3598/ (дата обращения 25.07.2017).
2. Энциклопедия гранулирования кормов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://granuljatory-kormov.blogspot.ru/2015/11/blog-post.html (дата обращения 25.07.2017)
3. Матвеев Ю.А. Импортозамещение на рынке кормовых добавок – химера или реальность? [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://agroinfo.ru/news/importozameschenie-na-rynke-kormovyh-dobavok-himera-ili-realnost (дата обращения 02.08.2017)
4. Сельхозкорма [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://selhozkorma.ru/konservirovanie-kormov/121-konservirovanie-/66-granylirovanie-kormov (дата обращения 02.08.2017)
5. Примеры автоматизации технологических процессов на базе продукции ОВЕН: Каталог. М., 2015.

Сведения об авторе:
Уханова Виктория Юрьевна – канд. техн. наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия, e-mail: prognoz@viesh.ru

---

MODERN DOMESTIC EQUIPMENT FOR AUTOMATED CONTROL OF THE PRESS GRANULATOR FEED

V. Ukhanova

In this article the author describes an automated process control system of manufacturing pelleted feeds. The system of Russian manufacture, can be used in farms at different levels – small, medium and large. In the current economic situation, not all businesses can afford to buy imported equipment or imported feed. The strength of the dollar and the Euro makes such acquisitions very costly. The use of domestic equipment allows to reduce financial expenses and to support the Russian manufacturer. Also important is the fact that many domestic equipment manufacturers provide free and round the clock technical support, easy and affordable service, free training personnel to work with their equipment. Considers the automated control system allows, if necessary, to transfer equipment for production of granulated feed in manual control mode. This is very important as it does not require shutdown of the pelletizing process. The use of pelleted feeds in the process of animals and birds is also one of the ways of cost optimization, as this type of feed has an extended shelf life, better preserves the beneficial properties, less other types of feed exposed to the influence of the environment. Also, the use of granulated feed allows you to automate the process of feeding. The aim of any farmer is the production of quality competitive products with continued cost optimization. Therefore, market research of modern domestic equipment for agriculture, the analysis of such equipment and services, informing the farmers and important tasks.

Keywords: import substitution in agriculture, domestic equipment for agriculture; automated process control system of feed pelletizing

References

1. Agro-forum. Optimizacija zatrat fermerskogo hozjajstva putem granulirovanija kombikorma. [Agro-forum. Optimization of expenses of farm by compound feed granulation]. Electronic resource, access mode: http://agro-forum.net/threads/3598/ (date of the address: 25.07.2017) (In Russian)
2. Jenciklopedija granulirovanija kormov. [Encyclopedia of granulation of forages]. Electronic resource, access mode: https://granuljatory-kormov.blogspot.ru/2015/11/blog-post.html mode (date of the address: 25.07.2017) (In Russian)
3. Importozameshhenie na rynke kormovyh dobavok – himera ili real'nost'? [Import substitution in the market of feed additives – a chimera or reality?] Matveev Yu.A., chairman of the board of directors of "NPTs Agrosistema". Electronic resource, access mode: http://agroinfo.ru/news/importozameschenie-na-rynke-kormovyh-dobavok-himera-ili-realnost (date of the address: 02.08.2017) (In Russian)
4. Sel'hozkorma [Agricultural stern]. Electronic resource, access mode: http://selhozkorma.ru/konservirovanie-kormov/121-konservirovanie-/66-granylirovanie-kormov (date of the address: 02.08.2017) (In Russian)
5. Primery avtomatizacii tehnologicheskih processov na baze produkcii OVEN ["Examples of Automation of Technological Processes on the basis of Production the ARIES"]: catalog. Moscow, 2015 (In Russian)

Author:
V. Ukhanova – Ph. D. (Engineering),
e-mail: prognoz@viesh.ru,
Federal scientific agro-engineering center VIM, Moscow, Russia.

• **For citation:** Ukhanova V.Yu. Modern domestic equipment for automated control of the press granulator feed. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 62-65. (In Russian)

УДК 621.311

НА ПОРОГЕ ЭРЫ БЕСТОПЛИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Д.С. Стребков, академик РАН
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), г. Москва, Россия

Для повышения уровня жизни развивающиеся страны увеличивают производство электроэнергии. Развитие цивилизации сопровождается ростом потребления энергетических ресурсов, что увеличивает антропогенное воздействие на климат и приводит к глобальному потеплению. Важнейшей задачей правительств и международных организаций является структурная перестройка энергетики и переход на новые источники энергии, не использующие ископаемое топливо. Энергетические технологии, определяющие развитие энергетики в XXI веке и переход земной цивилизации на путь устойчивого развития, должны быть основаны на новых физических принципах. Российские ученые предложили в рамках международного проекта построить в XXI веке глобальную солнечную энергосистему, обеспечивающую круглогодично в течение миллионов лет производство и распределение электрической энергии для каждого жителя Земли с переводом в разряд резервных всех существующих электростанций на Земле, использующих ископаемое топливо. Для реализации этого проекта разработаны пять новых технологий, защищенных 300 российскими и 60 международными патентами. В России и в других странах мира разрабатываются автономные генераторы электрической энергии и теплоты, использующие энергию земной коры, воздушной и водной среды, энергию ядерных реакций, электрических и магнитных полей и электрическую энергию атмосферы. Рассмотрено состояние исследований и полученные результаты. XX век был последним веком дешевой энергии. Эпоха дешевой энергии закончилась, и нужны новые энергетические технологии, чтобы обеспечить устойчивое будущее развитие. Человечество сможет объединить и сконцентрировать свои энергетические ресурсы и технологии для создания достойных условий жизни каждому человеку и реализации крупных научно-технических проектов на Земле и в космическом пространстве.

Ключевые слова: *бестопливная энергетика, глобальная энергетическая система, новые источники энергии, новые электрические машины, водородная энергетика.*

Статья поступила в редакцию 25.08.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Стребков Д.С. На пороге эры бестопливной энергетики // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 66-78.

Введение

Практически вся энергия, вырабатываемая генерирующими источниками всех видов, доводится до потребителей по системам передачи и распределения (СПР), где существенная ее часть теряется по техническим и коммерческим причинам. Кроме того, получаемая потребителями энергия используется во многих случаях неэффективно из-за технологического несовершенства энергопотребляющего оборудования и отсутствия соответствующих стратегий рационального энергетического менеджмента.

Вследствие указанных причин технического, организационного и коммерческого характера во многих странах мира до 40-50% производимой энергии полезно не используется. Так, в России в настоящее время неиспользуемый технический потенциал энергосбережения составляет до 420 млн. т усл.т., или 45% от всего уровня потребления энергии в 2015 году.

Кроме того, передача электроэнергии сопровождается существенными потерями, составляющими в мире в среднем 8,8% от её производимого объема. Суммарные потери на передачу электроэнергии в настоящее время в мире превышают объем ее производства в такое стране, как Китай (3433,4 ТВ·ч).

В настоящее время известно о принципиально новых российских технологиях создания глобальной электрической сети с применением однопроводных или беспроводных электропередач реактивного тока, основанных на идеях и опытах гениального ученого Николы Тесла. Эти технологии позволяют не только решать указанные выше проблемы, но и создавать сверхнадежные глобальные системы электроснабжения. На

резонансные методы передачи и применения электрической энергии учеными ВИЭСХ получено более 80 патентов РФ [1].

Экономические критерии перехода на бестопливную энергетику

Индекс среднего уровня жизни зависит от масштабов потребления энергии [2]:

$$I = \frac{PE}{N},$$

где I – индекс среднего уровня жизни; P – суммарная мощность источников энергии; E – средняя эффективность преобразования энергии при производстве продуктов потребления; N – численность населения.

Уровень жизни населения увеличивается с ростом потребления электроэнергии. Рассмотрим это на примере самых богатых и самых бедных стран мира (табл. 1). В табл. 2 представлены данные о потреблении электроэнергии по странам БРИКС и отдельным континентам. 1,2 миллиарда населения Земли (16%) не имеют доступа к электроэнергии.

Обеспеченность электрической энергией в развитых и развивающихся странах отличается в 100-500 раз. Индия отстает от других стран БРИКС по производству электроэнергии в 4-9 раз. Для повышения уровня жизни в развивающихся странах необходимо увеличивать производство электроэнергии, что увеличивает антропогенное воздействие на изменение климата.

Таблица 1

Потребление электроэнергии на душу населения (развитые и развивающиеся страны), кВт·ч/чел.·год

Развитые страны		Развивающиеся страны	
Исландия	52376	Бенин	95
Канада	16406	Гаити	32
Катар	16099	Демократическая республика Конго	99
Кувейт	17876	Мьянма	119
Люксембург	15511	Непал	94
Норвегия	23174	Танзания	92
США	13227	Того	117
Финляндия	15742	Эритрея	57
Швеция	14029	Эфиопия	55

Таблица 2

Потребление электроэнергии на душу населения (страны БРИКС, континенты), кВт·ч/чел.·год

Страны БРИКС		Континенты	
Бразилия	2441	Австралия	10514
Россия	6533	Азия	823
Индия	673	Африка	593
Китай	3312	Средний Восток	3532
ЮАР	4694	Весь мир	2993

Известно, что развитие цивилизации требует систематического роста потребления энергетических ресурсов [3]. Поэтому важнейшей задачей является структурная перестройка энергетики с увеличением доли бестопливной энергетики по примеру Исландии (геотермальная энергетика) и Норвегии (гидроэнергетика).

Новые энергетические технологии, определяющие развитие энергетики в XXI веке и переход современной цивилизации на путь устойчивого развития, будут основаны на новых физических принципах. Земная цивилизация в третьем тысячелетии перейдет на новые источники энергии, не использующие ископаемое топливо. Переход на бестопливную энергетику произойдет не потому, что закончатся разведанные запасы нефти, газа, угля и урана. Существует термин «grid parity» – паритет цен на сетевое электричество. По паритету цен на электроэнергию от сетевой компании бестопливные источники энергии предложат более дешевую электроэнергию и теплоту [4]. В сентябре 2016 г. компаниями Sun Edison и Marubeni предложена рекордно низкая цена в 2,42 цента на кВт·ч солнечной энергии, что на 0,49 цента ниже стоимости предложенной ранее в Чили.

Абсолютно рекордная цена на электроэнергию 1,79 центов/кВт·ч (1 руб./кВт·ч) для тендеров в солнечной энергетике и в топливной энергетике для всех типов электростанций зафиксирована в 2017 г. на аукционе в Саудовской Аравии по строительству СЭС мощностью 300 МВт при стоимости установленной мощности 1000 долл./кВт[1]. Победитель – консорциум Саудовской фирмы Masdar и французской атомной фирмы EDF.

Для рынка более низкие цены на энергоносители являются главными критериями перехода

[1] Источник: http://elektrovesti.net/56297_na-auktsione-solnechnoy-energii-v-saudovskoy-aravii-tsena-upala-nizhe-2-tsentov-eto-rekord

на новые энергетические технологии. Снижение затрат на производство продукции повышает конкурентоспособность товаров и услуг, увеличивает ВВП и уровень жизни населения.

Российские ученые разработали технологию изготовления солнечных модулей со сроком службы 40-50 лет, в два раза больше, чем для зарубежных аналогов [5]. В Германии при сроке службы солнечных модулей 20 лет минимальная цена электроэнергии от солнечных электростанций (СЭС) по действующим контрактам составляет $0,0585 за 1 кВт·ч. АЭС и ТЭС на газовом топливе продают электроэнергию за $0,03/ кВт·ч [4].

Сравним стоимость солнечного электричества в Германии и в Краснодарском крае, г. Анапа при одинаковой стоимости установленной мощности СЭС $800/кВт пиковой мощности. Эксплуатационные расходы принимаем равными 1% от инвестиционных расходов за 1 год (табл. 3).

Таблица 3

Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии от СЭС в Германии и в России при различных сроках службы СЭС

Германия	**Краснодарский край, г. Анапа**
Производство электроэнергии СЭС пиковой мощностью 1 кВт	
800 кВт·ч/кВт · год	1600 кВт·ч/кВт · год
Срок службы 20 лет Амортизационные расходы: $\frac{\$800}{20\ \text{лет}} = \$40/\text{год}$ Эксплуатационные расходы: 1% = $ 8 / год Всего расходов в год: $ 48	
Стоимость электроэнергии $\frac{\$\ 48}{800\ \text{кВт} \cdot \text{ч}} = \$0{,}0588/\text{кВт} \cdot \text{ч}$	Стоимость электроэнергии $\frac{\$\ 48}{1600\ \text{кВт} \cdot \text{ч}} = \$0{,}0294/\text{кВт} \cdot \text{ч}$
Срок службы 40 лет Амортизационные расходы: $\frac{\$800}{40\ \text{лет}} = \$20/\text{год}$ Эксплуатационные расходы: 1% = $ 8 / год Всего расходов в год: $ 28	
Стоимость электроэнергии $\frac{\$\ 28}{800\ \text{кВт} \cdot \text{ч}} = \$0{,}0338/\text{кВт} \cdot \text{ч}$	Стоимость электроэнергии $\frac{\$\ 28}{1600\ \text{кВт} \cdot \text{ч}} = \$0{,}0169/\text{кВт} \cdot \text{ч}$

При сроке службы в 50 лет стоимость 1 кВт·ч в Германии составит $0,0288/кВт·ч, в Анапе $0,0144 / кВт·ч.

В отличие от центральных электростанций, использующих ископаемое топливо, распределённые СЭС имеют нулевые капитальные затраты и нулевые потери на передачу электрической энергии.

Существенный вклад в цену электроэнергии от СЭС вносит плата за землю, поэтому наиболее экономичным решением, исключающим плату за землю, является использование солнечной энергии в программах «Один миллион солнечных крыш» в виде солнечной кровельной панели (солнечной черепицы).

Наши расчеты показали, что реализация программы «Один миллион солнечных крыш в России» в рамках частно-государственного партнёрства без использования бюджетных средств приведет к снижению энергоёмкости ВВП на 1,5%, увеличению ВВП России на 0,3%, снижению выбросов парниковых газов на 284 млн. тонн в год [6] и созданию 100000 новых рабочих мест.

Экологические критерии перехода на бестопливную энергетику

Экологические критерии перехода на бестопливную энергетику являются даже более важными и существенными по сравнению с экономическими, т.к. определяют возможность дальнейшего развития и существования земной цивилизации. Максимальные температуры воздуха в тени в некоторых районах Австралии, Индии, Северной Африки и Ближнего Востока превысили 50^0С и продолжают расти.

Нашими исследованиями показано, что главной причиной глобального потепления является антропогенное воздействие на параметры климата и что существует точка невозврата по изменению климата, когда никакие материальные ресурсы земной цивилизации не смогут остановить переход земной атмосферы в состояние, не совместимое с биологической жизнью [7-11].

Необходимым, но не достаточным условием сохранения земной цивилизации является изменение структуры энергетики и переход на бестопливную возобновляемую энергетику [12]. Достаточным условием сохранения земной цивилизации является изменение радиационного баланса Земли и снижение прихода солнечной радиации на земную поверхность в объеме, равном антропогенному воздействию на изменение климата. Это можно практически осуществить, например, путем увеличения альбедо пустынь и городов, в первую очередь экваториальной области в районах от 30° северной широты до 30° южной широты, а также в Австралии. Увеличение альбедо Земли позволит изменить радиационный баланс Земли, снизить поступление солнечной радиации на поверхность Земли и предотвратить глобальное потепление.

Альбедо характеризует долю суммарной солнечной радиации, отраженной от поверхности Земли. В табл. 4 и 5 приведены данные по альбедо разных поверхностей, а также изменение ρ в течение года для Москвы (среднемесячные значения) [6].

Таблица 4

Альбедо разных поверхностей

Вид поверхности	ρ, о.е.
Свежий снег	0,80
Сухой асфальт	0,70
Сухая штукатурка	0,33-0,50
Лежалый снег	0,46
Сухая растительность	0,33
Сухой бетон	0,35
Сухая почва	0,32
Почва после дождя	0,16
Растительность после дождя	0,15
Вода при $\beta \geq 40°$	0,05
Вода при $\beta < 40°$	0,05-1,0

Таблица 5

Изменение альбедо в течение года для г. Москвы ($\rho_{год}$ = 0,27)

t, мес.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ρ, о.е.	0,71	0,72	0,58	0,2	0,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,26	0,38	0,59

Альбедо Земли составляет 0,06, что связано с низким альбедо морей и океанов, альбедо облаков составляет 0,24 [2]. Средние значения альбедо для пустынь равно 0,32, для городов 0,27.

Предлагается на части пустынь Земли разместить зеркальные отражатели с коэффициентом отражения 0,9. Для сохранения экосистемы пустынь зеркала должны быть установлены над поверхностью Земли на опорах высотой 3-4 м с зазором между зеркалами 10-20% от размеров зеркал, чтобы обеспечить поступление определенного количества солнечной радиации на поверхность пустыни. На экваторе зеркала должны быть установлены горизонтально. Для максимального отражения солнечной радиации в течение года в северном полушарии зеркала должны быть ориентированы на юг под углом α к поверхности Земли:

$$\alpha = \varphi - 10°,$$

где φ - широта местности.

Эта формула справедлива и для южного полушария, но зеркала должны быть ориентированы на север.

Возможные дополнительные опции для зеркальных отражателей включают возможность месячного или сезонного изменения угла наклона к горизонту в соответствии с изменением угла склонения Солнца, поворот зеркал в вертикальное положение в ночное время для увеличения излучения поверхности пустыни в инфракрасном диапазоне. Обратная сторона зеркал может содержать теплопоглощающее покрытие с коэффициентом поглощения 0,9-0,96, что при повороте зеркал на 180° позволит увеличить приход солнечной радиации на поверхность пустыни в зимнее время и в условиях глобального похолодания. Теплопоглощающее покрытие может быть выполнено в виде солнечных фотоэлектрических модулей из кремния с достигнутым в настоящее время КПД 22%.

Рассчитаем количество отраженной солнечной радиации зеркалами при следующих условиях. Площадь зеркал равна 80% и 90% площади пустыни. Коэффициент затенения $К_{зат}$ = 0,8-0,9, альбедо пустыни $\rho_п$ = 0,32, коэффициент отражения зеркал R=0,9. Для условий ясного неба теоретически максимальная величина солнечной радиации на горизонтальную поверхность $Э_{\Sigma}^{Г}$ (сутки) на Земле составляет около 6 кВт · ч/(м^2 · сут.) и соответственно за год – около 2200 кВт·ч/м^2 и относится к широте φ = 0°. Практически же зоны с

указанным максимумом потока солнечного излучения за год разбросаны достаточно неравномерно по территории Земли. Максимум годового потока солнечного излучения на Земле наблюдается: на юго-западе Северной Америки; в северной части Африки (пустыня Сахара); на Аравийском полуострове; на западе центральной части Южной Америки; на Юге Африки и в центральной части Австралии. В указанных регионах Земли годовой поток солнечного излучения достигает 7920 МДж/(м^2 · сут.) [6].

Отраженная солнечная радиация составит:

$Э_{отр}$ = (2200 - (1- $К_{зат}$) ·2200) ·R + (1- $К_{зат}$) ·2200·$\rho_п$.

Для $К_{зат}$ = 0,9 $Э_{отр}$ = 1852,4 кВт· ч/м^2 год.

Для $К_{зат}$ = 0,8 $Э_{отр}$ = 1548,8 кВт· ч/м^2 год.

Коэффициент отражения солнечной энергии составит 0,842 для $К_{зат}$ = 0,9 и 0,704 для $К_{зат}$ = 0,8.

Для пустыни площадью 1 км^2 отраженная зеркалами солнечная энергия составит $2200\cdot10^6\cdot0{,}892= 1852{,}4\cdot10^6$ кВт·ч/км^{2}год при $К_{зат}$ = 0,9 и $1548{,}8\cdot10^6$ кВт·ч/км^{2}год при $К_{зат}$ = 0,8.

Величина антропогенной теплоты в атмосфере за год составляет [6]:

$Э_а=4{,}92\cdot10^{20}$ Дж/год=$1{,}37\cdot10^{14}$ кВт·ч/год .

Установка зеркальных отражателей площадью 1 км^2 в пустынях экваториального пояса позволит вернуть в открытый космос за год $1{,}8524\cdot10^9$ кВт·ч/км^2 год при $К_{зат}$=0,9 и $1{,}5488\cdot10^9$ кВт·ч/км^2 год при $К_{зат}$=0,8. Площадь зеркальных отражателей, необходимая для того, чтобы уменьшить поступление солнечной радиации на величину антропогенного теплового загрязнения Земли, составит:

$$при\ К_{зат}=0{,}9\quad S^1_{зо}=\frac{1{,}37\cdot10^{14}}{1{,}8524\cdot10^9}=73{,}958\cdot10^3 км^2;$$

$$при\ К_{зат}=0{,}8\quad S^1_{зо}=\frac{1{,}37\cdot10^{14}}{1{,}5488\cdot10^3}=88{,}456\cdot10^3 км^2.$$

Площадь пустынь Африки составляет [6]: $S_{аф}=12{,}24\cdot10^6$ км^2.

Необходимая площадь зеркал для предотвращения глобального потепления составит при

$$К_{зат}=0{,}8\quad S_{зо}=\frac{88{,}456\cdot10^3\cdot100}{12{,}24\cdot10^6}=0{,}72\%$$

площади пустыни,

при

$$К_{зат}=0{,}9\quad S_{зо}=\frac{73{,}456\cdot10^3\cdot100}{12{,}24\cdot10^6}=0{,}6\%$$

площади пустыни.

Существуют природные отрицательные обратные связи, способные замедлить процессы саморазогрева климата. Глобальное потепление может привести к катастрофическому увеличению вулканической деятельности и к снижению поступления солнечной радиации на поверхность Земли за счёт поглощения солнечной энергии в атмосфере вулканическими газами.

Таяние ледников и увеличение содержания пресной воды в океанах может изменить направление меридианальных океанских течений, например, Гольфстрима, что приведёт к похолоданию в Европе. На скорость глобального потепления оказывают действие 11-летние циклы солнечной активности.

Киотский протокол и Парижское соглашение об ограничении эмиссии парниковых газов не имеют научного обоснования и не решают проблемы глобального потепления, но являются полезными, так как рекомендуют переход на бестопливную возобновляемую энергетику и ограничивают эмиссию диоксида углерода, который при поглощении водой снижает продуктивность морей и приводит к деградации морской биосферы. Для возврата параметров климата к равновесным значениям пятидесятилетней давности необходимо организовать производство генераторов, использующих энергию окружающей среды с ее охлаждением и передачей избыточной энергии по отношению к равновесному значению в радиационном балансе Земли в оптическом диапазоне в открытый космос [12].

Глобальная солнечная энергосистема

Глобальный подход к бестопливной возобновляемой энергетике был сформулирован в работах [1, 5, 13-15], в которых предложена мировая солнечная энергетическая система с круглосуточным производством электроэнергии, равным мировому энергопотреблению. Энергосистема состоит из трех солнечных электростанций (СЭС) размером 200×200 км каждая, установленных в пустынях Австралии, Африки и Латинской Америки через 120^o по широте местности и соединенных резонансными волноводными линиями передачи электроэнергии на основе технологий Н. Теслы (рис. 1).

Компьютерное моделирование производства электроэнергии в глобальной энергосистеме с учетом метеорологических данных в местах расположения СЭС за весь период наблюдения показало (рис. 2), что производство энергии не зависит от времени года и смены дня и ночи, не требует аккумулирования энергии, при этом все существующие, нефтяные, газовые, угольные и атомные станции могут быть остановлены и переведены в разряд резервных электростанций [15].

Для глобальной солнечной энергосистемы учеными ВИЭСХ разработаны:

1. Резонансные методы получения, передачи и применения электрической энергии без ограничения мощности и расстояния [1];

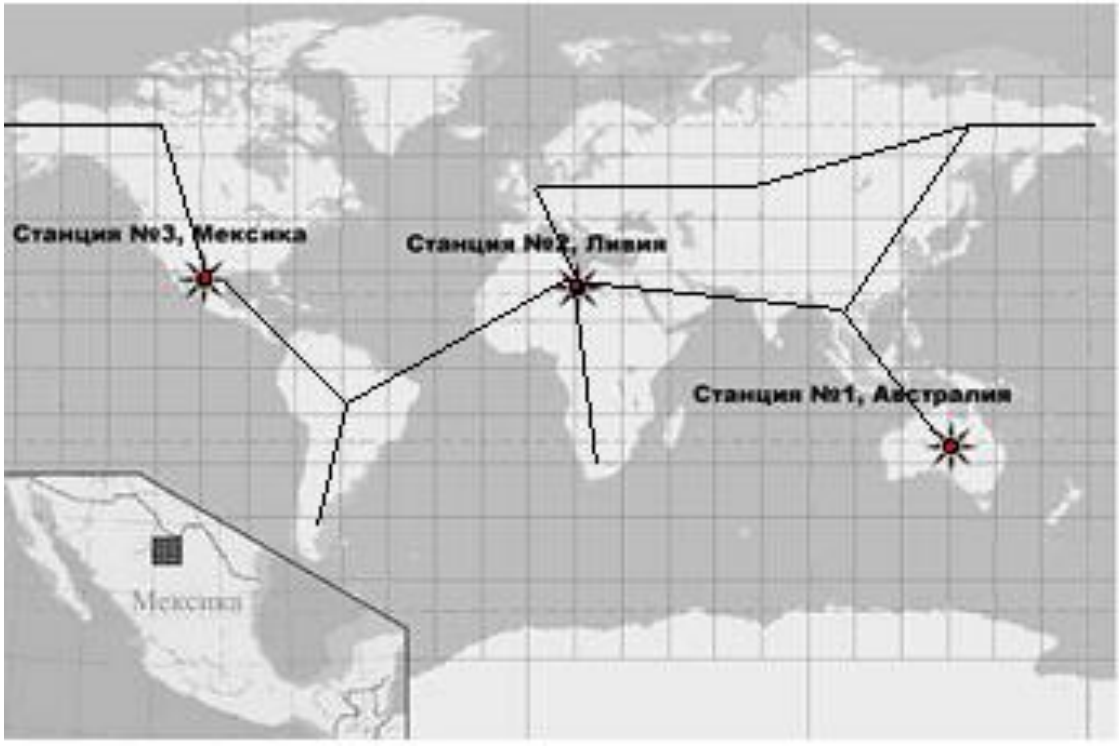


Рис. 1. Глобальная солнечная энергетическая система из трех солнечных электростанций

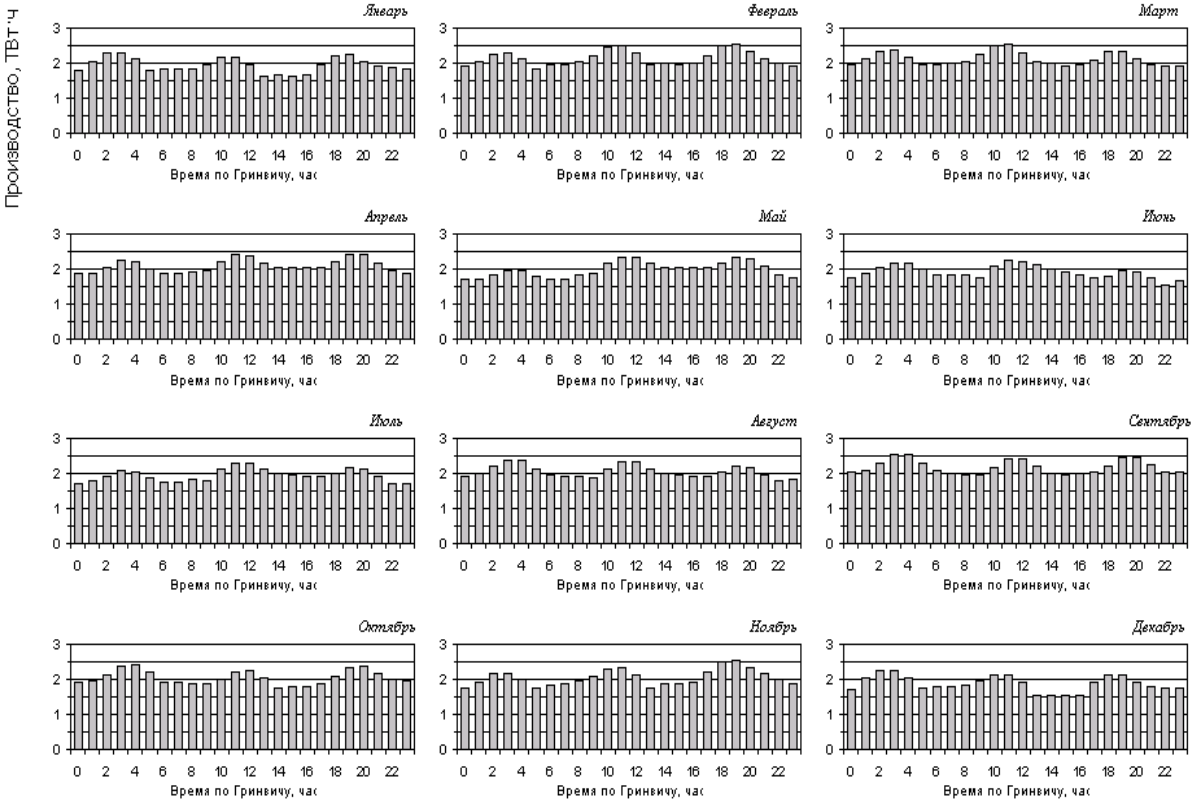


Рис. 2. Производство электроэнергии глобальной солнечной энергосистемой

2. Бесхлорные методы получения солнечного кремния в объеме нескольких миллионов тонн в год [16-17];

3. Новые технологии герметизации солнечных модулей с увеличением срока службы с 20-25 до 40-50 лет [5, 18];

4. Высоковольтные солнечные модули из кремния с КПД 25% с напряжением до 1000 В вместо 12-48 В для планарных солнечных модулей [19];

5. Гибридные кровельные солнечные панели для программы «Один миллиард солнечных крыш» для распределенной национальной и мировой солнечной энергетики [6, 20].

Технологии создания глобальной солнечной энергетической системы защищены 300 патентами РФ и 60 международными патентами

Глобальная солнечная энергетическая система сможет обеспечивать электроэнергией земную цивилизацию в течение миллиардов лет без нарушения радиационного (энергетического) баланса Земли. Мы рассчитываем на создание глобальной солнечной энергосистемы в XXI веке в рамках международного проекта при участии ученых и бизнесменов всех стран мира и поддержке ООН, ЮНЕСКО, МЭА, IRENA и других международных организаций и правительств заинтересованных государств.

Генераторы, использующие энергию окружающей среды

Следующим этапом на пути развития бестопливной энергетики является разработка генераторов, использующих энергию окружающей среды.

По оценке нобелевских лауреатов Фейнмана и Дж. Уиллера, в вакууме, заключенном в объеме лампы накаливания, достаточно энергии, чтобы вскипятить все океаны на Земле. Цель ученых – создание генератора, способного генерировать за счет энергии окружающей среды избыточную энергию, превышающую объем энергии, полученной от источника питания [21].

Термин «физический вакуум» пришел на смену эфирной концепции, которую поддерживали многие выдающиеся ученые. Н. Тесла в 1891 г. в лекции в колледже Колумбии говорил [22]: «Электрические и эфирные явления идентичные…, и эффекты статического электричества – эффекты эфира в движении».

В России и в других странах мира разрабатываются автономные генераторы электрической энергии, использующие тепловую энергию земной коры, воздушной и водной среды, электрическую энергию атмосферы, энергию ядерных реакций, электрических и магнитных полей.

Компактные генераторы на основе ядерных реакций

Корпорация «Локхид Мартин» в 2019 г. обещает показать первый компактный термоядерный реактор [23]. В генераторе Андре Росси [24], патент которого купила в 2014 г. американская фирма Industrial Heat, используется ядерная реакция при температуре 150-500^{o}C и давлении водорода 2-20 бар:

$$Ni + H \Rightarrow Cu + \Delta E.$$

Энерговыделение ΔE = 517 т.н.э на 1 г Ni.

В терминах ядерной физики:

$$_{29}Ni^{62} + {}_{1}p^{1} \rightarrow {}_{29}Cu^{63} + \gamma\ (5.36МэВ).$$

Учитывая, что мировое производство никеля составляет 10^6 тонн в год, при использовании 10^{-4} этого объема возможное годовое производство энергии может составить 51700000000 т.н.э [24].

В России генераторы электрической энергии и теплоты на основе ядерных реакций разрабатываются группами ученых под руководством профессора, д.ф.-м.н. Ю.Л. Ратиса из Самары и профессора, д.ф.-м.н. В.Н. Дубовика из ОИЯИ, г. Дубна, в которую входят И.М. Шахпаронов, А.Г. Леонтьев, В.Ю. Акимов, а также группой к.ф.-м.н. Е.Н. Цыганов из Уфы [25], к.ф.-м.н. Ю.Н. Бажутов, С.М. Годин, к.ф.-м.н. А.И. Черепанов, Д.С. Баранов, В.Н. Зателепин из Москвы и др.

В.М. Дубовик с сотрудниками обнаружил в 1987 г. наличие у бензольных колец так называемых электрических тороидных диполей. Эксперименты показали, что когда низкоэнергетический, но огромной мощности (большие производные по времени и пространственные градиенты) электромагнитный импульс поступает на электрически и пространственно несимметрично сбалансированную микросистему, а это большинство молекул, условия ее равновесного внутреннего кинетического движения будут нарушены. При этом квантовая система перераспределит по своим квантовым степеням свободы принесенную извне энергию и энергию внутреннего движения. В начале 2005 г. группой В.М. Дубовика был найден способ управления этими энергиями. При этом происходит изменение физико-химических свойств вещества на атомном и ядерном уровнях.

Новые электрические машины и движители

В области новых электрических машин и движителей следует отметить разработки к. ф.-м. н. Лиманского В.Г. [26-28], Киреева С.И. [29-31] из ВИЭСХ, к.т.н. Леонова В.С. [32] , д.т.н. Канарёва Ф.М., Зацаринина С.Б. и других российских ученых.

При создании электрических движителей используется теоретически предсказанный и экспериментально подтвержденный в работах [26-28] новый класс сил, пропорциональных градиенту плотности заряда и градиенту плот-

ности массы, а при создании новых электрических машин основное внимание уделяется снижению реакции статора на ротор за счёт создания однонаправленной индуктивной связи между ротором и статором, а также между первичной и вторичной обмотками трансформаторов.

Энергосберегающие методы получения водорода из воды

Известно, что современные электролизеры расходуют 4 кВт·ч электроэнергии на получение одного кубического метра водорода из воды.

В 2008-2012 гг. в России проведены работы по исследованию резонансных методов получения водорода из воды с использованием электродов из железа, алюминия, углерода и нержавеющей стали [33-36]. Было показано, что резонансные технологии позволяют снизить затраты электроэнергии на 1 $м^3$ водорода в 2-10 раз. Большой вклад в развитие энергосберегающих импульсных методов электролиза воды для получения водорода внесли д.т.н. Канарёв Ф.М., Зацаринин С.Б. [37, 38] и Буганов А.О. С использованием научных разработок начато производство в России преобразователей энергии «электролизер-бойлер», вырабатывающих 25 кВт·ч тепла при затратах электрической энергии 2,5 кВт·ч, и работающих на воде электрических генераторов для электромобилей и жилых домов японской фирмой Generax Co Ltd [39].

Использование новых методов получения водорода из воды позволяет создать водородные установки для дизельных генераторов, снижающих потребление дизельного топлива на 40-70%, а в газопоршневых и газотурбинных установках полностью заместить ископаемое топливо.

Использование теплоты окружающей среды для производства электроэнергии

Простейшим примером использования энергии окружающей среды является насос П.А. Радченко для подъема воды из скважины, работающий на разности температур наружного воздуха и воды из скважины [40].

Геотермальные электростанции используют теплоту земной коры для производства электроэнергии при температуре 100-150^oC и КПД 12-16%. Разрабатываются генераторы ЭОС (энергии окружающей среды) на уровень температур 4-30^o С для использования теплоты воздушной и водной среды [41]. Для повышения эффективности предлагаются термодинамические системы, использующие тепловой и теплонасосный цикл в одном агрегате [42].

Другой подход заключается в создании электронного изотермического преобразователя, использующего токи Найквиста и энергию теплового движения электронов в электронных приборах [43].

Предложены резонансные параметрические генераторы, которые усиливают за счет параметрического резонанса существующие на уровне 10^{-7} – 10^{-12} флуктуационные электрические токи в проводниках и выполняют функции генератора и двигателя, т.е. являются обратимыми электрическими машинами [44-47].

Генераторы, использующие энергию атмосферного электричества

Атмосферное электричество – это следствие электрического взаимодействия Земли с Солнцем и космосом. Метеорологические процессы связаны с электрическим состоянием атмосферы. Изменения климата на Земле связаны с изменением характеристик галактических волн плотности заряда с периодом колебаний 22 года. Солнце и Земля имеют объемный заряд. Заряд Солнца меняет знак каждые 11 лет. Магнитные поля Земли, Солнца и планет – следствие объемного заряда – нагрев земных недр осуществляется вихревыми токами объемного заряда в геомагнитном поле [2].

Разработанная технология основана на использовании атмосферного электричества [1, 48]. Известно, что в космических лучах, которые приходят к нам из космоса с солнечным ветром 92% – это протоны, т.е. положительно заряженные частицы, и они заряжают нашу ионосферу положительно, а Земля, в свою очередь, имеет объемный отрицательный заряд. Разница потенциалов между Землей и ионосферой составляет 360000 В, причем днем и ночью изменяется от 400000 до 340000 В. Вариации бывают сезонные и дневные, но важно, что ионосфера Земли – это гигантский конденсатор со средним напряжением 360000 В. Можно сказать, что Земля – это электрическая машина, которая имеет объемный электрический заряд.

Н. Тесла оценил электрический заряд Земли 300000-600000 К, емкость 220000мкФ и электрическое поле 120-160 В/м. Он разработал и первые резонансные генераторы, использующие электрическую энергию атмосферы. С их помощью Н. Тесла передавал электроэнергию, используя землю в качестве провода. Н. Тесла утверждал, что может передать любое количество энергии в любую точку земного шара с КПД более 96%.

Однако в то время, когда он завершал свои работы в этой области, еще не существовало теории параметрического резонанса. Такая теория была разработана только в 30-х годах

прошлого столетия российскими учеными, академиками Мандельштамом и Папалекси. Н. Тесла не знал, что его знаменитые энергетические башни используют параметрический резонанс.

Одна его энергетическая башня была высотой 60 метров, а наверху башни была расположена металлическая сфера или тороид. В электротехнике такая конструкция называется – уединенный конденсатор. Именно этот конденсатор образовывал последовательный резонансный контур с высоковольтной обмоткой трансформатора Тесла. Когда электрогенератор через низковольтную обмотку передает высокочастотные колебания в высоковольтную обмотку, периодически изменяется потенциал сферы. В таких электротехнических режимах взаимодействия Тесла тогда уже получал до 20 миллионов вольт.

Известно, что относительная диэлектрическая проницаемость воздуха больше единицы из-за присутствия паров воды, молекулы которой состоят из атомов водорода и кислорода. Молекулы воды являются электрическими диполями и поляризуются в электрическом поле сферы. Благодаря наличию паров воды в воздухе, когда сфера заряжена положительно, сформированное электрическое поле притягивает диполи молекул воды отрицательной стороной к поверхности сферы, а когда поле меняет знак, диполи молекул воды притягиваются к сфере положительной стороной, т.е. уединенный конденсатор перезаряжается. Перезарядка такого конденсатора происходит благодаря управляемой синхронизированной переориентации поляризованных диполей молекул воды в воздухе.

Вследствие таких процессов меняется и ёмкость уединенного конденсатора, а параметрический резонанс в том и заключается, что в контуре с удвоенной частотой изменяется или индуктивность, или ёмкость. Эти обстоятельства приводят к тому, что в колебательном контуре происходит усиление электрических колебаний.

Параметрический резонанс широко применяется в радиотехнике и физике. Этот же принцип используется в энергетической установке для получения электроэнергии из окружающей атмосферы [49-50].

У земной цивилизации нет будущего на пути крупномасштабного использования ископаемого топлива. Вслед за топливной эпохой наступает эра бестопливной энергетики.

В России нет ни одной специализированной научной организации и научного журнала, работающих в области бестопливной возобновляемой энергетики. В США с 1977 года существует Национальная лаборатория по возобновляемой энергетике (NREL) с бюджетом в 2017 году 458 миллионов долларов, со штатом 2200 сотрудников и выпускается журнал «Солнечная Энергия» (Solar Energy). В СССР в г. Ашхабаде в составе Туркменской академии наук в 1980 г. организован Институт солнечной энергии, который работает до настоящего времени, а в г. Ташкенте с 1965 года выпускается журнал «Гелиотехника», учредителем которого является Академия наук Узбекистана.

Необходимо в составе Российской академии наук в сотрудничестве с Министерством энергетики создать национальную лабораторию, институт, и в перспективе, федеральный научный центр бестопливной (возобновляемой) энергетики и организовать выпуск научного журнала «Бестопливная (возобновляемая) энергия».

Выводы

1. Для повышения уровня жизни развивающиеся страны увеличивают производство электроэнергии. Развитие цивилизации приводит к росту потребления энергетических ресурсов, что увеличивает антропогенное воздействие на климат и приводит к глобальному потеплению.

2. Важнейшей задачей правительств и международных организаций является структурная перестройка энергетики и переход на новые источники энергии, не использующие ископаемое топливо. У земной цивилизации нет будущего на пути крупномасштабного использования ископаемого топлива. Вслед за топливной эпохой наступает эра бестопливной энергетики.

3. Российские ученые предложили в рамках международного проекта построить в XXI веке глобальную солнечную энергосистему, обеспечивающую круглогодично в течение миллионов лет производство и распределение электрической энергии для каждого жителя Земли с переводом в разряд резервных всех существующих электростанций на Земле, использующих ископаемое топливо. Для реализации этого проекта разработаны пять новых технологий, защищенных 300 российскими и 60 международными патентами.

4. Энергетические технологии, определяющие развитие энергетики в XXI веке и переход земной цивилизации на путь устойчивого развития, должны быть основаны на новых физических принципах. В России и в других странах мира разрабатываются автономные генераторы электрической энергии и теплоты, использующие энергию земной коры, воздушной и водной

среды, энергию ядерных реакций, электрических и магнитных полей и электрическую энергию атмосферы. Рассмотрено состояние исследований и полученные результаты.

5. XX век был последним веком дешевой энергии. Эпоха дешевой энергии закончилась, и нужны новые энергетические технологии, чтобы обеспечить устойчивое будущее развитие. Человечество сможет объединить и сконцентрировать свои энергетические ресурсы и технологии для создания достойных условий жизни каждому человеку и реализации крупных научно-технических проектов на Земле и в космическом пространстве.

Литература

1. *Стребков Д.С., Некрасов А.И.* Резонансные методы получения, передачи и применения электрической энергии. 5-е изд. – М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2016. – 520 с.
2. *Похмельных Л.А.* Фундаментальные ошибки в физике и реальная электродинамика. – М.: ООО НПЦ «Маска», 2012. – 353 с.
3. *Идлис Г.Н.* Проблемы поиска внеземных цивилизаций. – М.: Наука, 1981. – С. 210.
4. *Philippe Welter.* Solar electricity for 2,5 cents // Photon International, June 2016. - P. 10-13.
5. *Стребков Д.С.* Новые социоприродные и инновационные энергосберегающие технологии совершенствования электротехники и энергетики как энергетическая модель будущего мира // В книге «Ноосфера – планета разума». Материалы Международной научно-практической конференции. – М.: Техносфера, 2017. – С. 430-455.
6. *Стребков Д.С.* Физические основы солнечной энергетики. – М.: ВИЭСХ, 2017. – С. 159-163.
7. *Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С.* Расчёт параметров климата с учётом антропогенной теплоты // Вестник ВИЭСХ. 2016. № 1(22). С. 94-102.
8. *Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С.* Исследование механизмов и методов предотвращения потепления климата // Вестник ВИЭСХ. 2016. №3(24). С. 84-92.
9. *Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С.* Исследование антропогенного воздействия на изменение климата // Науковий Вісник НаціональногоУнівеситету Біоресурсів іприродокористування України, Київ. 2016. № 240. С.18-30.
10. *Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С.* Исследование возможности регулирования процессов глобального изменения климата // XIII Международная ежегодная конференция «Возобновляемая и малая энергетика - 2016». Сборник трудов / под ред. П.П. Безруких, С.В. Грибкова. М., 2016. – С. 75-89.
11. *Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С.* Исследование природного механизма стабилизации параметров климата // Вестник ВИЭСХ. 2017. Вып. 1(26). С. 81-89.
12. *Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С.* Научное обоснование и способы устранения причины саморазогрева климата. – М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2017. – 84 с.
13. Патент РФ № 2259002, Солнечная энергетическая система / Стребков Д.С., Иродионов А.Е., Базарова Е.Г., заявл. 25.03.2003 // БИ. 2005. № 22.
14. *Strebkov D.S.* The Role of Solar Energy in the Power Engineering of the Future // Thermal Engineering. 2006. Vol. 53. № 3.
15. *Strebkov D.S., Irodionov A.E.* Global Solar Power System // EuroSun, 2014, 14 International Sounenforum. Vol 2. Freiburg, Germany. PSE GmBH, 2004. P. 336-343.
16. Патент РФ № 2329196. Способ получения моносилана и поликристаллического кремния высокой чистоты / Белов Е.П., Заддэ В.В., Стребков Д.С. // БИ. 2008. № 31.
17. Патент РФ № 2554150. Способ и устройство карботермического получения кремния высокой чистоты / Стребков Д.С., Стенин В.В., Курбатов С.М. // БИ. 2015. № 18.
18. *Поулек В., Либра М., Стребков Д.С., Харченко В.В.* Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии. – Москва-Прага: ГНУ ВИЭСХ, 2013. – 324 с.
19. *Стребков Д.С.* Матричные солнечные элементы. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. В 3-х томах. Т. 1 – 120 с., т. 2 – 268 с., т. 3 – 348 с.
20. Патент РФ № 2557272. Кровельная солнечная панель / Стребков Д.С., Кирсанов А.И., Иродионов А.Е., Панченко В.А. // БИ. 2015. №20.
21. *Мазур И.И.* Энергия будущего. – М.: Изд. центр Елима, 2006. С. 530.
22. *Лайн Вильям.* Сверхсекретные архивы Тесла. – М.: Эксмо, 2010. С. 159-160.
23. *Максим Калашников.* Будущее как возмездие. // Завтра, 2017, июль (№1231). С. 1.
24. US Patent № 2011/0005506. Method and Apparatus for carrying out Nickel and Hydrogen Exothermal Reaction / *Andrea Rossi*. Jan.13, 2011. PCT/II2008/00532, PCT Filed Aug. 4, 2009.
25. *Цыганов Е.Н.* Холодный ядерный синтез // Ядерная физика. 2012, т. 75. № 2. С. 174-180.
26. Патент РФ № 2600311. Электрическая машина / Лиманский В.Г. // БИ. 2016. №29.
27. Патент РФ № 2085016. Движитель-генератор / Лиманский В.Г. // БИ. 1997. №20.
28. *Лиманский В.Г.* Электрический движитель нового типа. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://liman777.ru/upload/slimthcory.htm
29. Патент РФ № 2426214. Устройство преобразования силового взаимодействия системы из постоянных магнитов и ферромагнетика в механическую энергию по принципу неоднократного применения / Киреев С.И. // БИ. 2011. № 22.
30. Патент на ПМ РФ № 131919. Низкооборотный генератор электрического поля / Стребков Д.С., Киреев С.И. // БИ. 2013. № 24.

31. Патент РФ № 2558709. Генератор переменного тока с распределенными обмотками / Стребков Д.С., Киреев С.И. // БИ. 2015. № 22.
32. *Leonov V.S.* Quantum Energetics. Vol 1. Theory of Super unifications. Cambridge International Science Publishing, 2010, 745 с.
33. Патент РФ № 2509719. Способ и устройство получения водорода из воды (варианты) / Стребков Д.С., Староверов В.В. // БИ. 2014. № 8.
34. Патент РФ № 2520490. Способ и устройство для получения водорода из воды / Стребков Д.С. // БИ. 2014. №18.
35. Патент РФ № 2515884. Способ и устройство получения газового водородно-кислородного топлива из воды (варианты) / Стребков Д.С. // БИ. 2014. №14.
36. Патент на ПМ РФ № 157092. Автомобильное бортовое устройство для получения водорода / Стребков Д.С., Кожевников Ю.А., Чирков В.Г., Щекочихин Ю.М. и др. // БИ. 2015. № 32.
37. *Канарёв Ф.М.* Физический смысл электрической и тепловой энергии и методы реализации ее эффективности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://kubagro.ru/science/prof.php?kanarev
38. Решение о выдаче патента РФ по заявке № 2010 15180907 (074831) от 18.08.2014. Рекуперационный мотор-генератор / Канарёв Ф.М., Зацаринин С.Б., Шевцов А.А., Скляной И.В.
39. *Канарев Ф.М.* Электролиз воды [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.google.com/search?client=safari&rls=ru-ru&q=Пат.+№+2227817&ieUTF-8&oe=UTF-8
40. *Севостьянов В.П.* Термостатическая энергетика // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2017, март, № 3(183). С. 92-94.
41. *Стребков Д.С., Сорокодум Е.Д.* Принципы экстракции низкопотенциальной энергии из окружающей спокойной среды // Альтернативный киловатт. 2012. № 5(17). С. 44-48.
42. *Стребков Д.С., Сорокодум Е.Д.* Использование низкопотенциальной энергии для производства электрической и тепловой энергии // Труды 8-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве».– М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. Ч. 4. – С. 3-10.
43. *Виноградов Ю.Е., Виноградов С.Ю*. Возможности построения изотермических преобразователей // Труды 7-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. Ч. 1. – С. 452-456.
44. *Стребков Д.С.* Исследование элекромеханических параметрических резонансных генераторов // Вестник ВИЭСХ. 2015. № 4(25). С. 3-9.
45. Патент РФ № 2598688. Параметрический резонансный генератор / Стребков Д.С. // БИ. 2016. № 27.
46. Патент РФ № 2601144. Устройство и способ усиления электрических сигналов (варианты) / Стребков Д.С. // БИ. 2016. № 30.
47. Патент РФ № 2605764. Параметрический резонансный генератор и способ возбуждения в генераторе электрических колебаний / *Стребков Д.С.* // БИ. 2016. № 36.
48. Патент РФ № 2414106. Способ и устройство для использования атмосферного электричества / Стребков Д.С., Некрасов А.И., Рощин О.А., Юферев Л.Ю., Трубников В.З. // БИ. 2011. № 7.
49. *Стребков Д.С.* Найден новый источник «зеленой» энергии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://greenevolution.ru/workshop/innovacionnyj-beskonechnyj-istochnik-zelenoj-energii/
50. Патент РФ № 2639948. Устройство и способ усиления электрических сигналов (варианты) / Стребков Д.С. // БИ. 2017. №36

Сведения об авторе:

Стребков Дмитрий Семенович – академик РАН, профессор, доктор техн. наук,
e-mail: nauka-ds@mail.ru
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия

ON THE THRESHOLD OF THE ERA OF FUEL-FREE POWER ENGINEERING

D. Strebkov

The developing countries increase the production of electricity to improve the standard of living. The development of civilization leads to an increase in energy consumption that increases human impact on the climate and contributes to global warming. The most important task of governments and international organizations, is restructuring energy and the transition to new energy sources that do not use fossil fuels. Energy technologies, determining energy development in the 21st century and the transition of earth civilization on the path of sustainable development must be based on new physical principles. Russian scientists have proposed in the framework of the international project to build in the 21st century global solar energy system, providing year-round for millions of years, the production and distribution of electric energy for every inhabitant of the Earth with the transfer to the category backup all existing power plants on Earth that use fossil fuels. For this project five new technologies have been developed and protected by 300 Russian and 60 international patents. In Russia and other countries Autonomous generators of electric power and heat are under development using the energy from the earth's crust, air and water, energy of nuclear reactions, electric and magnetic fields and the electric energy of the atmosphere. The state of the research and the results is discussed. The twentieth century was the last century of cheap energy. The era of cheap energy is over and we need new energy technologies to provide sustainable future development. The humanity will be able to unite and concentrate its energy resources and technologies to ensure decent living conditions to every person and real-

ization of large scientific and technical projects on Earth and in outer space.

Keywords: fuel-free energy, global energy system, new energy sources, new electric cars, hydrogen energy.

References

1. Strebkov D.S., Nekrasov A.I. Rezonansnye metody polucheniya, peredachi i primeneniya ehlektricheskoj ehnergi [Resonant Methods of Electric Power Generation, Transmission and Application]. Fifth edition. – Moscow, VIESH, 2016. 520 ps.
2. Pohmel'nyh L.A. Fundamental'nye oshibki v fizike i real'naya ehlektrodinamika. – Moscow, OOO NPC «Maska», 2012, 353 ps.
3. Idlis G.N. Problemy poiska vnezemnyh civilizacij [Problems of search of extraterrestrial civilizations]. – Moscow, Nauka, 1981. P. 210.
4. Philippe Welter. Solar electricity for 2,5 cents // Photon International, June 2016. - P. 10-13.
5. Strebkov D.S. Novye socioprirodnye i innovacionnye ehnergosberegayushchie tekhnologii sovershenstvovaniya ehlektrotekhniki i ehnergetiki kak ehnergeticheskaya model' budushchego mira. In the book «Noosfera – planeta razuma». Materials of the International scientific and practical conference. – Moscow, Tekhnosfera, 2017. P. 430-455.
6. Strebkov D.S. Fizicheskie osnovy solnechnoj ehnergetiki [The physical fundamentals of solar power engineering]. – Moscow, VIESH, 2017. P. 159-163.
7. Vinogradov Yu.E., Strebkov D.S. Raschyot parametrov klimata s uchyotom antropogennoj teploty // J. *Vestnik VIESH*. 2016; 1(22): 94-102.
8. Vinogradov Yu.E., Strebkov D.S. Issledovanie mekhanizmov i metodov predotvrashcheniya potepleniya klimata. J. *Vestnik VIESH*. 2016; 3(24): 84-92.
9. Vinogradov Yu.E., Strebkov D.S. Issledovanie antropogennogo vozdejstviya na izmenenie klimata. J. *Naukovij Visnik Nacional'nogo Univesitetu Bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraïni*, Kiïv. 2016; 240: 18-30.
10. Vinogradov Yu.E., Strebkov D.S. Issledovanie vozmozhnosti regulirovaniya processov global'nogo izmeneniya klimata. Materials of the XIII International annual conference «Vozobnovlyaemaya i malaya ehnergetika - 2016». 2016, July 7-8, Moscow, Kongress-centr Ehkspocentra. – P. 75-89.
11. Vinogradov Yu.E., Strebkov D.S. Issledovanie prirodnogo mekhanizma stabilizacii parametrov klimata. J. *Vestnik VIESH*. 2017; 1(26): 81-89.
12. Vinogradov Yu.E., Strebkov D.S. Nauchnoe obosnovanie i sposoby ustraneniya prichiny samorazogreva klimata [Scientific justification and ways of elimination of the reason of self-heating of climate]. – Moscow, FSBSI «Federal scientific engineering center VIM», 2017, 84 ps.
13. Strebkov D.S., Irodionov A.E., Bazarova E.G. Solnechnaya ehnergeticheskaya sistema. Patent RF No. 2259002, it is stated: 25.03.2003, it is published: 2005. BI. No. 22.
14. Strebkov D.S. The Role of Solar Energy in the Power Engineering of the Future. Thermal Engineering, 2006, Vol. 53. No. 3. (In English)
15. Strebkov D.S., Irodionov A.E. Global Solar Power System. EuroSun, 2014, 14 Inter-national Sounenforum. Vol. 2. Freiburg, Germany. PSE GmBH, 2004. P. 336-343.
16. Belov E.P., Zadde V.V., Strebkov D.S. Sposob polucheniya monosilana i polikristallicheskogo kremniya vysokoj chistoty. Patent RF No. 2329196, VIESH, it is published: 2008. BI. No. 31.
17. Strebkov D.S., Stenin V.V., Kurbatov S.M. Sposob i ustrojstvo karbotermicheskogo polucheniya kremniya vysokoj chistoty. Patent RF No. 2554150, it is published: 2015. BI. No. 18.
18. Poulek V., Libra M., Strebkov D.S., Harchenko V.V. Fotoehlektricheskoe preobrazovanie solnechnoj ehnergii [Photovoltaic solar energy conversion]. - Moscow-Praga, VIESH, 2013. 324 ps.
19. Strebkov D.S. Matrichnye solnechnye ehlementy [Matrix solar cells]. Moscow, VIESH. 2010. In 3 volumes. V. 1 – 120 ps., v. 2 – 268 ps., v. 3 – 348 ps.
20. Strebkov D.S., Kirsanov A.I., Irodionov A.E., Panchenko V.A. Krovel'naya solnechnaya panel'. Patent RF No. 2557272, VIESH. it is published: 2015. BI. No. 20.
21. Mazur I.I. Ehnergiya budushchego [Energy of the future]. – Moscow, Publ. center ELIMA, 2006. 530 ps.
22. Lajn Vil'yam. Sverhsekretnye arhivy Tesla [Top secret Tesla archives]. Moscow, Ehksmo, 2010. P. 159-160.
23. Maksim Kalashnikov. Budushchee kak vozmezdie. Newspaper *Zavtra*, 2017, jule (1231). P. 1.
24. Andrea Rossi. Method and Apparatus for carrying out Nickel and Hydrogen Exothermal Reaction. US Patent Application Publication N 2011/0005506 A1, Jan.13, 2011. PCT/II2008/00532, PCT Filed Aug. 4, 2009.
25. Tsyganov E.N. Kholodnyi iadernyi sintez. J. *Iadernaia fizika*. 2012; 75; 2: 174-180.
26. Limanskij V.G. Ehlektricheskaya mashina. Patent RF No. 2600311, it is published: 20.10.2016. BI. No. 29.
27. Limanskij V.G. Dvizhitel'-generator. Patent RF No. 2085016, it is published: 20.07.1997. BI. No. 20.
28. Limanskij V.G. Ehlektricheskij dvizhitel' novogo tipa. Electronic resource. Access mode: http://liman777.ru/upload/slimthcory.htm
29. Kireev S.I. Ustrojstvo preobrazovaniya silovogo vzaimodejstviya sistemy iz postoyannyh magnitov i ferromagnetika v mekhanicheskuyu ehnergiyu po principu neodnokratnogo primeneniya. Patent RF No. 2426214, it is published: 10.08.2011. BI. No. 22.
30. Strebkov D.S., Kireev S.I. Nizkooborotnyj generator ehlektricheskogo polya. Patent PM RF No. 131919, VIESH, 2013. BI. No. 24.
31. Strebkov D.S., Kireev S.I. Generator peremennogo toka s raspredelennymi obmotkami. Patent RF No. 2558709, VIESH. 2015. BI. No. 22.
32. Leonov V.S. Quantum Energetics. Vol. 1. Theory of Super unifications. Cambridge International Science Publishing, 2010, 745 ps.

33. Strebkov D.S., Staroverov V.V. Sposob i ustrojstvo polucheniya vodoroda iz vody (varianty). Patent RF No. 2509719, VIESH, it is published: 2014. BI. No. 8.
34. Strebkov D.S. Sposob i ustrojstvo dlya polucheniya vodoroda iz vody. Patent RF No. 2520490, it is published: 2014. BI. No. 18.
35. Strebkov D.S. Sposob i ustrojstvo polucheniya gazovogo vodorodno-kislorodnogo topliva iz vody (varianty) Patent RF No. 2515884, it is published: 2014. BI. No. 14.
36. Strebkov D.S., Kozhevnikov YU.A., CHirkov V.G., Shchekochihin YU.M. i dr. Avtomobil'noe bortovoe ustrojstvo dlya polucheniya vodoroda. Patent PM RF No. 157092, it is published: 2015. BI. No. 32.
37. Kanaryov F.M. Fizicheskij smysl ehlektricheskoj i teplovoj ehnergii i metody realizacii ee ehffektivnosti. Electronic resource. Access mode: http://kubagro.ru/science/prof.php?kanarev
38. Kanaryov F.M., Zacarinin S.B., Shevcov A.A., Sklyanoj I.V. Rekuperacionnyj motor-generator. Decision on issue of the patent of the RF on the application No. 2010 15180907 (074831), 18.08.2014.
39. Kanarev F.M. Jelektroliz vody. Electronic resource. Access mode: http://www.google.com/search?client=safari&rls=ru-ru&q=Pat.+№+2227817&ieUTF-8&oe=UTF-8
40. Sevost'yanov V.P. Termostaticheskaya ehnergetika. J. *Santekhnika, otoplenie, kondicionirovanie.* 2017; 3(183): 92-94.
41. Strebkov D.S., Sorokodum E.D. Principy ehkstrakcii nizkopotencial'noj ehnergii iz okruzhayushchej spokojnoj sredy. J. *Al'ternativnyj kilovatt.* 2012; 5(17): 44-48.
42. Strebkov D.S., Sorokodum E.D. Ispol'zovanie nizkopotencial'noj ehnergii dlya proizvodstva ehlektricheskoj i teplovoj ehnergii. Proceedings of the 8th International scientific and technical conference "Power Supply and Energy Saving in Agriculture". – Moscow, VIESH, 2012. Vol. 4. P. 3-10.
43. Vinogradov Yu.E., Vinogradov S.Yu. Vozmozhnosti postroeniya izotermicheskih preobrazovatelej // Proceedings of the 7th International scientific and technical conference "Power Supply and Energy Saving in Agriculture". Moscow, VIESH, 2010. Vol. 1. P. 452-456.
44. Strebkov D.S. Issledovanie ehlekromekhanicheskih parametricheskih rezonansnyh generatorov. J. *Vestnik VIESH*. 2015; 4(2): 3-9.
45. Strebkov D.S. Parametricheskij rezonansnyj generator. Patent RF No. 2598688, it is published: 2016. BI. No. 27.
46. Strebkov D.S. Ustrojstvo i sposob usileniya ehlektricheskih signalov (varianty). Patent RF No. 2601144, it is published: 2016. BI. No. 30.
47. Strebkov D.S. Parametricheskij rezonansnyj generator i sposob vozbuzhdeniya v generatore ehlektricheskih kolebanij. Patent RF No. 2605764, it is published: 2016. BI. No. 36.
48. Strebkov D.S., Nekrasov A.I., Roshchin O.A., Yuferev L.Yu., Trubnikov V.Z. Sposob i ustrojstvo dlya ispol'zovaniya atmosfernogo ehlektrichestva. Patent RF No. 2414106, it is published: 2011. BI. No. 7.
49. Strebkov D.S. Najden novyj istochnik «zelenoj» ehnergii. Electronic resource. Access mode: http://greenevolution.ru/workshop/innovacionnyj-beskonechnyj-istochnik-zelenoj-energii/
50. Strebkov D.S. Ustrojstvo i sposob usilenija jelektricheskih signalov (varianty) / Patent RF No. 2639948. 2017. BI. No. 36.

Author:
D. Strebkov – academician of RAS, Professor, Dr. Sc. (Engineering),
e-mail: nauka-ds@mail.ru
FSBSI «Federal scientific agro-engineering center VIM», Moscow, Russia.

• **For citation:** Strebkov D.S. On the threshold of the era of fuel-free power engineering. Vestnik VIESH. 2017; 4(29): 58-70 (In Russian)

УДК 631.371: 621.31

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ РАБОТЕ МАЛЫХ ВЕТРОУСТАНОВОК НА НИЗКИХ СКОРОСТЯХ ВЕТРОВОГО ПОТОКА

С.С. Доржиев, Е.Г. Базарова, Р.А. Серебряков, К.С. Моренко
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия

В статье приведены основные особенности работы ветроприемных устройств при низких скоростях ветрового потока, то есть в режиме дефицита мощности. Рассмотрено понятие эффективного угла атаки лопасти ветроколеса. В процессе работы ветроустановки в широком диапазоне скоростей ветрового потока регулирование угла атаки позволяет значительно повысить величину использования энергии ветра и тем самым КПД всей установки. Таким образом, возможность регулирования угла атаки лопасти является важным фактором, способствующим более широкому использованию малых ветроустановок. Разработка ветроприемных устройств должна быть направлена на повышение эффективности работы ветроприемных устройств на различных скоростях ветрового потока с одинаково высокой продуктивностью выработки электрической энергии.

Ключевые слова: *ветроустановка, ветроприемное устройство, скорость ветрового потока, угол атаки лопасти.*

Статья поступила в редакцию 15.09.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Серебряков Р.А., Моренко К.С. Влияние конструктивных параметров ветроприемных устройств при работе малых ветроустановок на низких скоростях ветрового потока // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 79-82.

Типы ветроприемных устройств (ВПУ)

В настоящее время существуют различные конструкции ветроустановок, которые по типу ветроприемных устройств можно разделить на два основных вида: с горизонтальной осью вращения (крыльчатые) и с вертикальной осью вращения (карусельные, Н-образные турбины). Схематично такие установки показаны на рис. 1.

Конструкция ветроустановки состоит из следующих основных элементов:

- ветроприемное устройство, которое может иметь 2-24 лопасти; ветроприемное устройство с 2-4 лопастями называется малолопастным и обычно имеет высокое значение быстроходности Z=6-9, ветроприемное устройство с числом лопастей, превышающим 4, называется многолопастным и имеет быстроходность в диапазоне Z=1,5-6;

- устройство ориентирования на ветер, которое в маломощных установках представляет собой флюгер и крепится к головке ветроприемного устройства;

- башня, которая служит для подъёма ветроприемного устройства выше препятствий, нарушающих течение воздушного потока и «затеняющих» ветроустановку;

- устройство регулирования частоты вращения вала ветроприемного устройства, которое при необходимости выводит ветроприемное устройство из-под ветра и осуществляет его остановку.

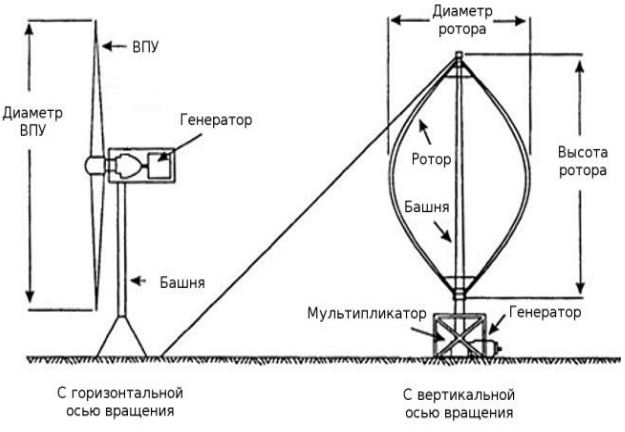


Рис. 1. Схематичное изображение ветроустановок с наиболее распространенными типами ветроприемных устройств

В ветроустановках малой мощности (до 10 кВт) ветроприемное устройство обычно монтируется на валу электрического генератора, поскольку при низких скоростях ветра в диапазоне от 4 м/с до номинальной скорости ветра силы лобового давления на лопасть недостаточно для начала вращения ветроколеса и генератора совместно с промежуточным устройством — мультипликатором [1, 2].

Конструктивные параметры ветроприемных устройств

Согласно существующим исследованиям быстроходные малолопастные ветроустановки в районах со среднегодовой скоростью ветра 4-7 м/с работают в расчётном режиме 150-720 часов в год (2-8%). Конструктивные параметры напрямую зависят от быстроходности ветроколеса, которую можно определить по формуле

$$Z = \frac{\omega R}{V_в}, \quad (1)$$

где Z – быстроходность; R – радиус ВПУ, м; $V_в$ – скорость ветра, м/с.

Коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ) η, который показывает величину потери скорости ветра при прохождении его через плоскость ветроприемного устройства, достигает своего максимального значения при расчётном значении быстроходности и быстро снижается при изменении величины быстроходности.

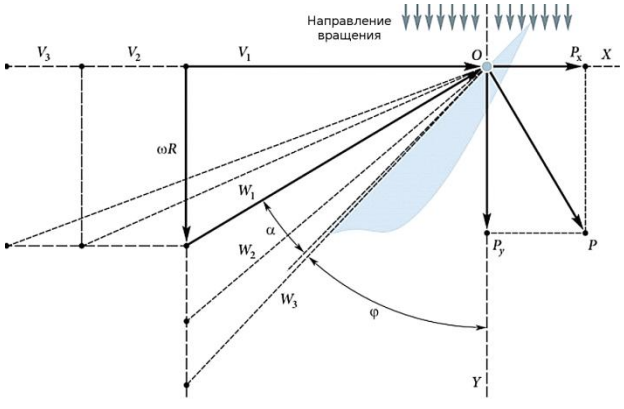


Рис. 2. Схема действия сил воздушного потока на элемент лопасти

Каждый элемент лопасти имеет собственное значение окружной скорости ωR, которое увеличивается по мере удаления от оси вращения. Угол, который лопасть составляет с плоскостью вращения ветроприемного устройства, называется углом заклинивания φ, а угол, под которым ветер набегает на элемент лопасти, называется углом атаки α.

Скорость движения воздуха относительно элемента лопасти W состоит из двух частей: скорости ветрового потока V и скорости вращения ветроприемного устройства ωR; для каждого элемента лопасти эта скорость имеет свою величину и образует своё значение угла атаки.

Любое изменение скорости ветра или окружной скорости элемента лопасти приводит к изменению этого угла, снижению подъёмной силы и увеличению лобового сопротивления, что в свою очередь приводит к снижению КИЭВ, поскольку именно угол атаки определяет величину подъёмной силы.

Рассмотрим понятие эффективного угла атаки, который представляет собой такое значение угла наклона лопасти к направлению встречного потока, при котором нулевая подъёмная сила наблюдается при угле в 0 градусов. При таком условии подъёмная сила пропорциональна углу атаки.

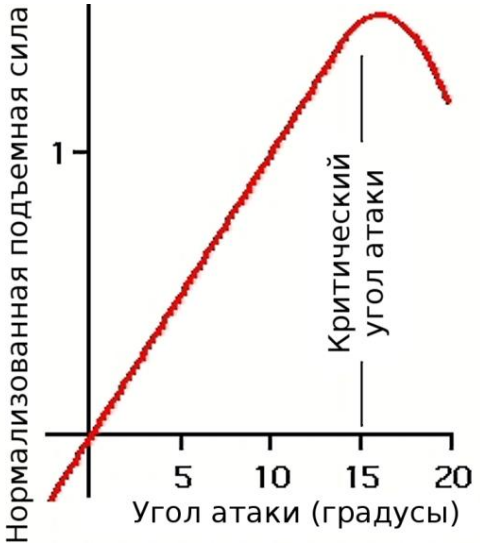


Рис. 3. Зависимость подъемной силы от угла атаки

На рис. 3 показано значение коэффициента подъемной силы, нормализованной по размеру крыла, для типичной лопасти в зависимости от эффективного угла атаки. Подобная взаимосвязь сохраняется для всех лопастей независимо от конструкции, причём на подъёмную силу большее значение оказывает именно угол атаки, чем аэродинамическая форма лопастей. Подъемная сила начинает быстро падать при угле атаки в 15 градусов.

Поскольку скорость вращения ветроприемного устройства имеет оптимальное значение для каждой скорости ветрового потока, для наилучшего использования энергии ветра необходимо изменять быстроходность для скоростей ветра в диапазоне 4-14 м/с [3, 4].

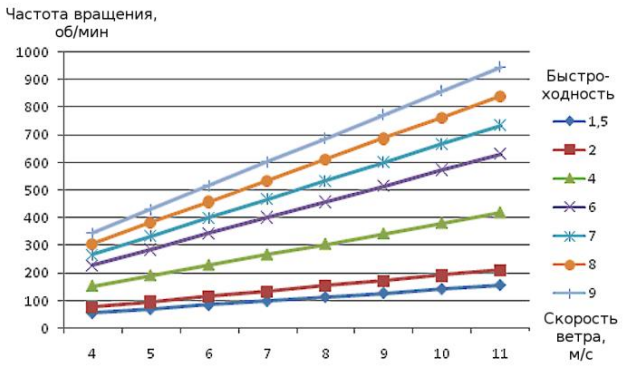


Рис. 4. Частота вращения ветроприемного устройства в зависимости от быстроходности и скорости ветра

На рис. 4 показана зависимость скорости вращения ветроприемного устройства от скорости ветрового потока при нескольких значениях быстроходности в диапазоне 1,5-9 м/с, а на рис. 5 показана зависимость КИЭВ от быстроходности ветроприемного устройства [5–7].

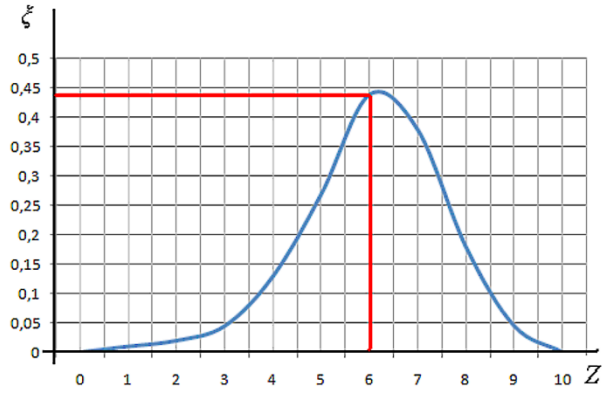


Рис. 5. Зависимость коэффициента использования энергии ветра от быстроходности ВПУ

В ветроустановках, позволяющих регулировать угол атаки лопасти, время работы установки на номинальной частоте вращения больше, таким образом, и количество выработанной энергии будет больше. Такие установки начинают работать на меньшей скорости ветра, чем установки без регулирования.

Если быстроходность отличается от конструктивной, угол атаки отклоняется от оптимального значения, что приводит к снижению подъемной силы и коэффициента использования энергии ветра.

Выводы

Малые ветроустановки не содержат мультипликатора, поскольку при низких скоростях ветра силы лобового давления на лопасть будет недостаточно для начала вращения ветроколеса. Существующие установки в регионах со средними скоростями ветрового потока до 7 м/с работают менее 10% общего времени, а вращение ветроприемного устройства на скоростях ниже номинальной в районах с такими среднегодовыми скоростями ветра занимает 30-40% времени.

В процессе работы ветроустановки в широком диапазоне скоростей ветрового потока регулирование угла атаки позволяет значительно повысить величину использования энергии ветра и тем самым КПД всей установки. Таким образом, использование регулирования угла атаки лопасти является важным фактором, способствующим более широкому использованию малых ветроустановок. Разработка ветроприемных устройств должна быть направлена на повышение эффективности работы ветроприемных устройств на различных скоростях ветрового потока с одинаково высокой продуктивностью выработки электрической энергии.

Литература

1. *Моренко К.С.* Двухроторные электрические генераторы для ветроустановок / К.С. Моренко, Г.В. Степанчук // Вестник аграрной науки Дона. 2011. №2(14). С. 66–73.
2. *Моренко К.С.* Выбор типа ветроэлектрического агрегата для автономного электроснабжения фермерского хозяйства / К.С. Моренко, С.А. Моренко // Электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве: Сборник научных трудов ФГБОУ ВПО АЧГАА. Вып. 8. Т. 1. Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2011. С. 20–24.
3. *Доржиев С.С.* ВЭУ с регулирующим количеством лопастей / С.С. Доржиев, Е.Г. Базарова // Труды Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2010. Ч. 4. С. 224–228.
4. *Доржиев С.С.* Крыло ветродвигателя с изменяемым размахом лопастей / С.С. Доржиев, Е.Г. Базарова // Там же. С. 228–231.
5. *Доржиев С.С.* Современное состояние, проблемы и перспективы развития ветроэнергетики / С.С. Доржиев, Е.Г. Базарова, Р.А. Серебряков // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. №10-1. С. 95–102.
6. *Доржиев С.С.* Работа ветродвигателя в режиме дефицита мощности / С.С. Доржиев, Е.Г. Базарова // Вестник ВИЭСХ. 2016. №4(25). С. 113–115.
7. *Моренко К.С.* Использование низкокачественной электроэнергии ветроэлектростанции с двухроторным генератором / К.С. Моренко, Г.В. Степанчук // Инновации в сельском хозяйстве. 2013. №1(3). С. 63–65.

Сведения об авторах:
Доржиев Сергей Содномович – канд. техн. наук, e-mail: dss.61@mail.ru
Базарова Елена Геннадьевна – канд. техн. наук, e-mail: bazelgen 08@ mail.ru
Серебряков Рудольф Александрович – канд. техн. наук, e-mail: ruds@list.ru;
Моренко Константин Сергеевич — канд. техн. наук, e-mail: morenko-konstantin@yandex.ru
ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

THE EFFECT OF THE CONSTRUCTION PARAMETERS OF THE WIND RECEIVING DEVICES OF SMALL WIND POWER PLANTS WORKING AT LOW SPEEDS OF WIND FLOW

S. Dorzhiev, E. Bazarova, R. Serebryakov, K. Morenko

The main amount of the wind receiving devices of small wind power plants work at low wind speed. The construction parameters of the wind receiving device determine the effectiveness of the wind utilization. The effectiveness of the wind utilization are determined from the speed ratio of the wind receiving device, but the speed ratio is the construction parameter, there is the necessity to adjust the speed ratio for working wind speed of the wind power plant during the operation. The effective attack angle is introduced in the article as angle when lifting force reaches zero at the zero angle value. The speed ratio mentioned above could be adjusted during the work by varying the attack angle, so the effective attack angle is the base angle for this adjusting. Described adjusting of the attack angle could increase the total time of the wind power plant operation by exceeding it on the low wind speed. The result is the increasing the amount of the energy output of the wind power plant, the increasing the effectiveness of the wind flow utilization and the increasing the power factor of the wind power plant as a whole.

Keywords: wind, wind energy, aerodynamics, wind turbine, utilization of wind energy.

References

1. Morenko K.S., Stepanchuk G.V. Two-rotor electric generators for wind turbines. J. *Vestnik of agrarian science of Don*. 2011; 2(14): 66-73.
2. Morenko K.S., Morenko S.A. The choice like windelektric unit for autonomous power supply of farm. *Electric technologies and electric equipment in agricultural production*: Collection of scientific works FGBOU VPO ACHGAA. Issue 8. Vol. 1. Zernograd: FGBOU VPO ACHGAA, 2011. P. 20-24.
3. Dorzhiyev S.S., Bazarova E.G. VJeU s regulirujushhim kolichestvom lopastej [VEU with the regulating number of blades]. Proceedings of the international scientific and technical conference «Power supply and energy saving in agriculture». Vol. 4. Moscow, VIESH, 2010. P. 224-228.
4. Dorzhiyev S.S., Bazarova E.G. Krylo vetrodvigatelja s izmenjaemym razmahom lopastej [A wind turbine wing with changeable scope of blade]. Proceedings of the international scientific and technical conference «Power supply and energy saving in agriculture». Vol. 4. Moscow, VIESH, 2010. P. 228-231.
5. Dorzhiyev S.S., Bazarova E.G. Serebryakov R.A. Sovremennoe sostojanie, problemy i perspektivy razvitija vetrojenergetiki [Current state, problems and prospects of development of wind power]. J. *Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk*. 2016; 10-1: 95-102.
6. Dorzhiyev S.S., Bazarova E.G. Rabota vetrodvigatelja v rezhime deficita moshhnosti [Functioning wind turbine in the mode of power shortage]. J. *Vestnik VIESH*. 2016; 4(25): 113-115.
7. Morenko K.S., Stepanchuk G.V. Ispol'zovanie nizkokachestvennoj jelektrojenergii vetrojelektrostancii s dvuhrotornym generatorom [Use of the low-quality electric power of a wind farm with the two-rotor generator]. J. *Innovacii v sel'skom hozjajstve*. 2013; 1(3): 63-65.

Authors:
S. Dorzhiev – Ph.D. (Engineering),
e-mail: dss.61@mail.ru
E. Bazarova – Ph.D. (Engineering),
e-mail: bazelgen 08@ mail.ru
R. Serebryakov – Ph.D. (Engineering),
e-mail: ruds@list.ru
K. Morenko – Ph.D. (Engineering),
e-mail: morenko-konstantin@yandex.ru
Federal Scientific Agro-engineering Center VIM,
Moscow, Russia

• **For citation:** Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Serebryakov R.A., Morenko K.S. The effect of the construction parameters of the wind receiving devices of small wind power plants working at low speeds of wind flow. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 79-82. (In Russian)

УДК 621:383

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ РЕАЛЬНЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИЕМНИКОВ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.А. Майоров
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия

Одной из важнейших задач при разработке и изготовлении теплофотоэлектрических солнечных модулей является определение энергетических возможностей применяемых теплоносителей для эффективного их использования. В данной работе на основании феноменологической теории сформулированы закономерности, определяющие аналитические зависимости термодинамических параметров от температуры нагрева теплоносителя без детального рассмотрения механизмов этих зависимостей. Аналитическое выражение зависимости динамической вязкости, теплопроводности (в жидкой фазе), давления пара, удельной теплоемкости (в газовой фазе) теплоносителя от температуры нагрева определяется предложенными системами уравнений. Достоверность сформулированных зависимостей основывается на отношениях расчетных термодинамических параметров к табличным для исследуемого теплоносителя. Соотношение табличных значений динамической вязкости и теплопроводности к расчетным, отношения погрешностей (табличной и расчетной) теплопроводности к динамической вязкости воды от температуры нагрева воды (фазового перехода тв/ж) до критической температуры не превышают 3%. Зависимости отношения расчетных значений давления водяного пара к табличным от температуры парообразования до критической температуры не превышает 2-3%, удельной теплоемкости водяного пара от давления и температуры не превышает ±10%, давления от температуры парообразования до критической температуры не превышает ±3%. Эмпирический метод на основании предложенных систем уравнений показал, что зависимости термодинамических характеристик и параметров теплоносителей жидкой и газообразной фаз от температуры имеют сложный логарифмически-степенной характер.

***Ключевые слова**: теплоноситель, термодинамические параметры, динамическая вязкость, теплопроводность, критическая температура.*

Статья поступила в редакцию 20.07.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Майоров В.А. Феноменологическая теория и исследование термодинамических характеристик и параметров реальных теплоносителей для приемников солнечного излучения // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 83-89.

Термодинамические параметры в зависимости от температуры нагрева теплоносителей в жидкой и газовой фазе определяются, как правило, на экспериментальной основе, а результаты приводятся в виде таблиц [1]. Исследователи в тех или иных интервалах температур аппроксимируют в аналитические зависимости табличные данные с определенной точностью для конкретного теплоносителя [2].

В данной работе на основании феноменологической теории [3] сформулированы закономерности, определяющие аналитические зависимости (эмпирическая модель) термодинамических параметров от температуры нагрева теплоносителя без детального рассмотрения механизмов этих зависимостей.

Достоверность сформулированных зависимостей основывается на отношениях расчетных термодинамических параметров к табличным для исследуемого теплоносителя.

Эффективность солнечных установок определяется увеличением температуры нагрева и расхода теплоносителя от солнечного излучения и конструктивными параметрами модулей. В модулях с концентраторами и фотоприемниками с несимметричными профилями и неравномерным распределением освещенности и температуры нагрева теплоносителя по объему системы протока теплоносителя физико-математическая (эмпирическая) модель должна учитывать эти факторы, а также учитывать свойства теплопроводности и вязкости, величины которых зависят от температуры [4].

Определение аналитического выражения зависимости теплопроводности теплоносителя от температуры нагрева λ=f(T)

Аналитическое выражение зависимости теплопроводности теплоносителя от температуры нагрева η=f(T) определяется системой уравнений:

$$T_{ά}=1{,}1T_{пл}(K)ά^{ύ/ά^2};\quad b=\ell og_{[Tпл]}T_{ά};$$
$$d_к=e^{[ά(Tк)]};\quad a^*=(ά\ b)^{[ádк]};\quad \lambda_t=(\lambda_o)^{a^*}, \qquad (1)$$

где $T_{пл}$ – температура плавления (фазового перехода *тв/ж*); ΔT – температура нагрева теплоносителя, С; $T^*=T_{пл}+\Delta T$ – температура нагрева теплоносителя, К; $ά = T_{пл}/T^*$ – отношение температуры плавления (К) к температуре нагрева теплоносителя (К); λ_o – теплопроводность теплоносителя при температуре плавления; λ_t – теплопроводность теплоносителя при температуре нагрева; $ά(T_к)$ – значение коэффициента $ά = T_{пл}/T^*$ при температуре кипения (фазового перехода *ж/пар*) теплоносителя $T^* = T_к$, К.

Для воды ύ=0,96.

Таким образом, вышеприведенная система уравнений приобретает вид:

$$T_{ά}=1{,}1T_{пл}(K)ά^{0{,}96/ά^2};\ b=\ell og_{[Tпл]}T_{ά},$$
$$d_к=e^{[ά(Tк)]};\ a^*=(ά\ b)^{[ádк]};\ \lambda_t=(\lambda_o)^{a^*}. \qquad (2)$$

На рис. 1 представлены зависимости теплопроводности воды (табличные и расчетные) от температуры нагрева λ=f(T).

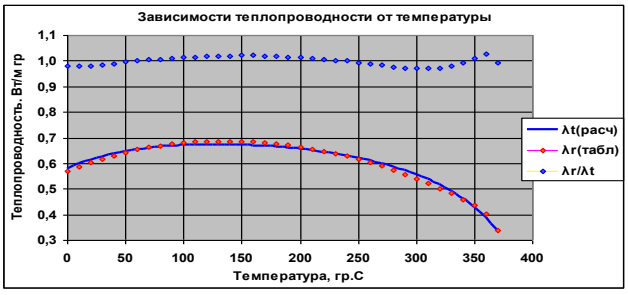


Рис. 1. Зависимости теплопроводности воды от температуры нагрева λ=f(T): λ_o= 0,569 Вт/кг г; $T_{пл}$ – температура плавления 273 К; $T_к$ - температура кипения 373 К (100 °С). Соотношение табличных значений теплопроводности и расчетных (верхний график)

Соотношение табличных значений (показаны точками на нижнем графике) теплопроводности к расчетным в зависимости от температуры нагрева воды от 0, °С - температуры фазового перехода (тв/ж) до 375, °С - критической температуры не превышает 3%.

Определение аналитического выражения зависимости динамической вязкости теплоносителя от температуры нагрева η=f(T)

В солнечных модулях с концентраторами и фотоприемниками с различными профилями и неравномерным распределением освещенности и температуры нагрева теплоносителя по объему расчетная модель должна учитывать эти факторы, а также учитывать свойства *теплопроводности* и *вязкости*, величины которых зависят от температуры.

Аналитическое выражение зависимости динамической вязкости теплоносителя от температуры нагрева η=f(T) определяется системой уравнений:

$$b_η=\log_{[1/(ά)]}ϊ/ά;\quad b^*=ά^{[ϋ-(1/ά)]};$$
$$A^*=ά^{(ó ά)};\quad \eta=\frac{\eta_O A^*}{b^*(b^*+b)^2}, \qquad (3)$$

где $T_{пл}$ – температура плавления, К; ΔT – температура нагрева теплоносителя, С; $T^*=T_{пл}+\Delta T$ – температура нагрева теплоносителя, К; $ά = T_{пл}/T^*$ – отношение температуры плавления к температуре нагрева теплоносителя, К; η_o – динамическая вязкость теплоносителя при температуре плавления; η_t – динамическая вязкость теплоносителя при температуре нагрева.

Для воды ϊ=2,365, ϋ=2,3, ó=9,3.

Таким образом, вышеприведенная система уравнений приобретает вид:

$$b_η=\log_{[1/(ά)]}2{,}365/ά;\ b^*=ά^{[2{,}3-(1/ά)]};$$
$$A^*=ά^{(9{,}3ά)};\ \eta=\frac{\eta_O A^*}{b^*(b^*+b)^2}. \qquad (4)$$

На рис. 2 представлены зависимости динамической вязкости воды от температуры нагрева η=f(T).

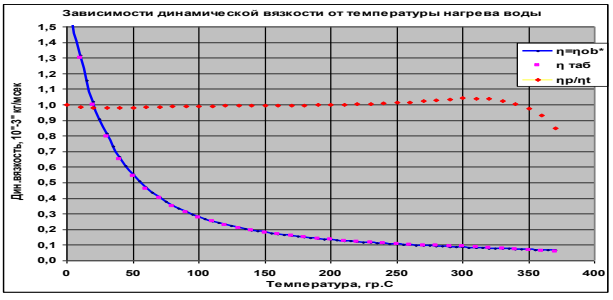


Рис. 2. Зависимости динамической вязкости воды от температуры нагрева η=f(T): η_o= 1752,5 10^{-6} кг/ м сек; $T_{пл}$ - температура плавления 273 К; $T_к$ - температура кипения 373 К (100 °С). Соотношение табличных значений теплопроводности и расчетных (верхний график)

Соотношение табличных значений (показаны точками на нижнем графике рис. 2) динамической вязкости к расчетным в зависимости от температуры нагрева воды от 0 °С – температуры фазового перехода (*тв/ж*) до 375 °С – критической температуры не превышает 3%.

На рис. 3 представлена зависимость отношения погрешностей (табличной и расчетной) теплопроводности к динамической вязкости воды λ/η от температуры нагрева.

Рис. 3. Зависимость отношения погрешностей (табличной и расчетной) теплопроводности к динамической вязкости воды λ/η от температуры нагрева

Зависимость отношения погрешностей (табличной и расчетной) теплопроводности к динамической вязкости воды λ/η от температуры нагрева воды от 0 °С – температуры фазового перехода (*тв/ж*) до 375 °С – критической температуры не превышает 3%.

На рис. 4 представлены зависимости теплопроводности воды λ=f(T), динамической вязкости теплоносителя η=f(T), отношения теплопроводности к динамической вязкости воды λ/η от температуры нагрева воды.

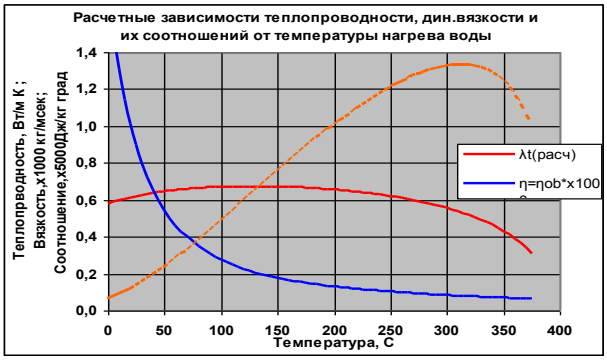


Рис. 4. Расчетные зависимости динамической вязкости теплоносителя η=f(T) – нижний график, теплопроводности воды λ=f(T) – средний график, отношения теплопроводности к динамической вязкости воды λ/η – верхний график от температуры нагрева воды

Представленные расчетные характеристики показывают оптимальное значение теплопроводности воды при температуре 115 °С.

Отношение теплопроводности к динамической вязкости воды λ/η имеет оптимум при 315 °С.

На рис. 5 представлена зависимость прироста отношения теплопроводности к динамической вязкости воды Δ(λ/η) к приросту температуры ΔT от температуры нагрева воды.

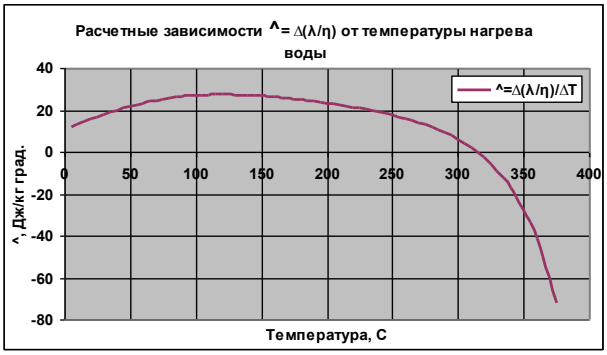


Рис. 5. Зависимость прироста отношения теплопроводности к динамической вязкости воды Δ(λ/η) к приросту температуры ΔT температуры нагрева воды (температурный градиент зависимости отношения теплопроводности к динамической вязкости воды λ/η от температуры нагрева воды)

Представленная расчетная характеристика показывает оптимальные значения температурного градиента зависимости отношения теплопроводности к динамической вязкости воды при 110 °С и нулевое значение при температуре 315 °С.

На рис. 6 представлены зависимости термодинамического коэффициента отношения теплопроводности к динамической вязкости воды (λ/η)/ (λ/η)t при различных температурах t °С (средних) от температуры нагрева воды.

Представленные расчетные характеристики зависимостей отношений теплопроводности к динамической вязкости воды (термодинамического коэффициента) от температуры нагрева воды показывают оптимальные значения при температуре 315 °С и снижаются при увеличении средней температуры теплоносителя в объеме устройства протока теплоносителя ($t_{ср}=t_{вых}$).

Соотношение табличных значений динамической вязкости к расчетным, соотношение табличных значений теплопроводности к расчетным, отношения погрешностей (табличной и расчетной) теплопроводности к динамической вязкости воды λ/η от температуры нагрева воды

от 0 °С – температуры фазового перехода (*тв/ж*) до 375 °С – критической температуры не превышают 3%.

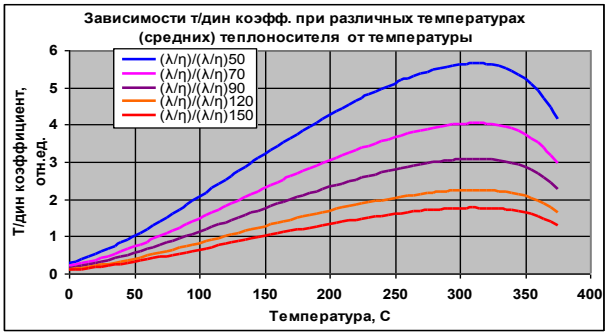


Рис. 6. Расчетные зависимости отношения теплопроводности к динамической вязкости воды λ/η (термодинамического коэффициента) от температуры нагрева воды при различных температурах ($t_{ср}=t_{вых}$): 50, 70, 90, 120, 150 °С

Расчетные характеристики зависимостей отношений теплопроводности к динамической вязкости воды (термодинамического коэффициента) от температуры нагрева воды показывают оптимальные значения при температуре 315 °С и снижаются при увеличении средней температуры теплоносителя в объеме устройства протока теплоносителя ($t_{ср}=t_{вых}$).

Исследование термодинамических характеристик и параметров теплоносителей в газовой фазе для различных температур

Аналитическое выражение зависимости давления пара теплоносителя от температуры нагрева P=f(T) определяется системой уравнений:

$$\mathbf{P}=\mathbf{P}_{кр}[LOGT_oT_{кр}]^{\mathbf{d}};\quad \boldsymbol{\alpha}=T/T_o;$$

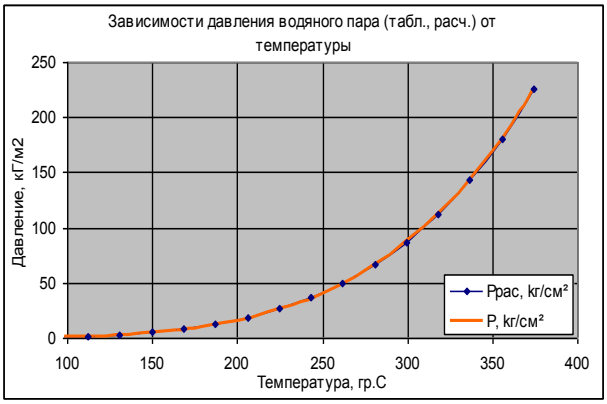
$$\boldsymbol{\beta}=(T_{кр}-T_o)/(T_{кип}-T_o);\quad \boldsymbol{\gamma}=T_{кр}/T_o;$$

$$\mathbf{d}=\boldsymbol{\beta}/LOG\mathbf{a}[\boldsymbol{\gamma}^2/\mathbf{a}]\ , \qquad (5)$$

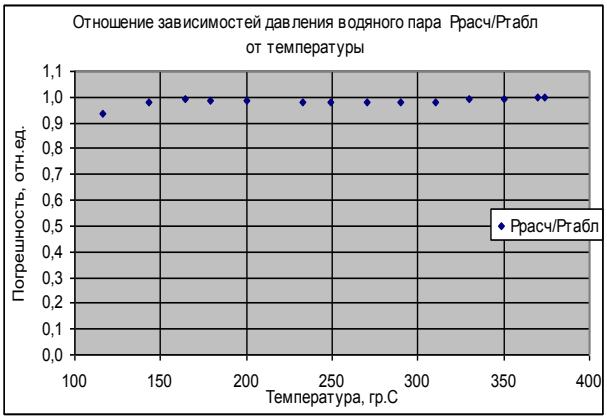
где P – давление при температуре нагрева теплоносителя T, К; $P_{кр}$ – давление при критической температуре нагрева теплоносителя $T_{кр}$, К; T_o – температура плавления теплоносителя, К; $T_{кип}$ – температура кипения теплоносителя, К.

На рис. 7 а,б представлены зависимости давления пара (расчетные и табличные) от температуры нагрева воды.

Зависимость отношения расчетных значений давления к табличным от температуры нагрева воды от температуры парообразования 140 °С до критической $T_{кр}$ (рис. 7, б) не превышает 2 – 3%.



а



б

Рис. 7. Расчетная зависимость давления пара (расчетные и табличные) от температуры нагрева воды (точками показаны табличные значения по Ваграфтику)

Аналитическое выражение зависимости давления жидкого теплоносителя от температуры нагрева P=f(T) (при фазовом переходе) определяется системой уравнений:

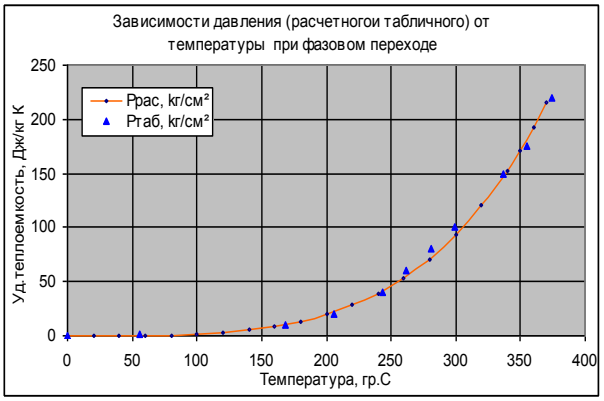
$$\mathbf{P}=\mathbf{P}_{кр}[LOG\alpha(\gamma^2/\alpha)]^{\mathbf{m}},\ \boldsymbol{\alpha}=T/T_o;\ \boldsymbol{\gamma}=T_{кр}/T_o;$$
$$\mathbf{m}=(\boldsymbol{\gamma}^2)^{To/Tкип} \qquad (6)$$

На рис. 8 представлены зависимости давления воды при фазовом переходе (расчетные и табличные) от температуры.

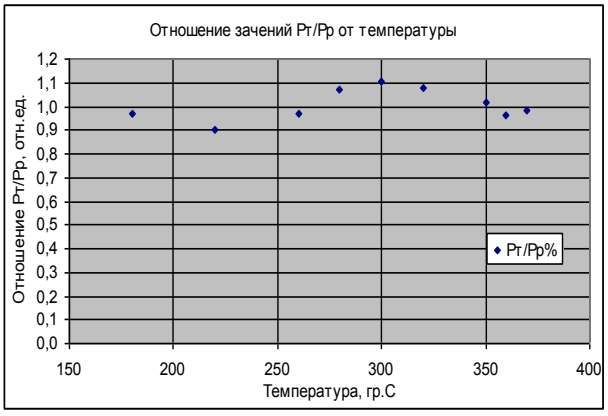
Зависимость отношения расчетных значений давления к табличным от температуры нагрева воды от температуры парообразования 140 °С до критической $T_{кр}$ (рис. 8, б) не превышает ±10%.

Аналитическое выражение зависимости **удельной теплоемкости** пара теплоносителя (при фазовом переходе) от температуры нагрева и давления $\mathbf{C}_{PT}$ =f(T,P) определяется системой уравнений:

$$\mathbf{C}_{PT}=C_{офп}\mathbf{b}^{[T/Tкр]}/\mathbf{a}^{[P/Pкр]};\quad \mathbf{P}=\mathbf{P}_{кр}[LOGT_oT_{кр}]^{\mathbf{d}};$$
$$\mathbf{a}=(\mathbf{T}_{офп}-\mathbf{T}_o)/T_{кр};\ \mathbf{b}=\mathbf{T}_{кр}/\mathbf{T}_{офп}\ , \qquad (7)$$

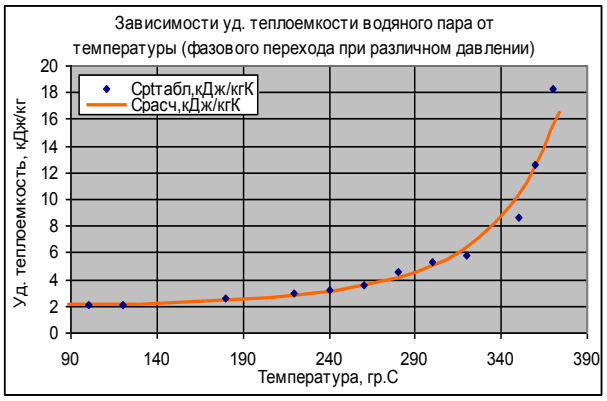


а



б

Рис. 8. Расчетная зависимость давления воды при фазовом переходе (расчетные и табличные) от температуры нагрева воды (точками показаны табличные значения по Ваграфтику)



а

б

Рис. 9. Зависимости удельной теплоемкости водяного пара (расчетные и табличные) от температуры нагрева воды (точками показаны табличные значения по Ваграфтику)

где $C_{офп}$ – теплоемкость теплоносителя при начальной температуре фазового перехода (*жидкость-пар*) $T_{офп}$ и начальном давлении $\mathbf{P}_o$ кДж/кг К; Т – температура плавления теплоносителя, К; Т – температура нагрева теплоносителя, К; $T_{кр}$ – критическая температура теплоносителя, К;

Зависимость величины теплоемкости водяного пара от давления и температуры фазового перехода представлена на рис. 9, а,б.

Приведенная зависимость удельной теплоемкости водяного пара от давления и температуры рассчитывалась при следующих граничных условиях: температура плавления T_o=0 °С, 273°К; критическая температура $T_{кр}$=647,15 К; давление критическое $P(T_{кр})$=225,65 кг/см^2; $\mathbf{T_{офп}}$=373 К; α=0,155; b=1,73.

Зависимость отношения расчетных значений удельной теплоемкости водяного пара от давления и температуры к табличным от температуры нагрева воды от температуры парообразования 100 °С до критической $T_{кр}$ (рис. 9, б) не превышает ±10%.

Надо отметить, что измерения при фазовых переходах менее точны, чем при установившихся процессах, что хорошо видно на рис. 8 и 9.

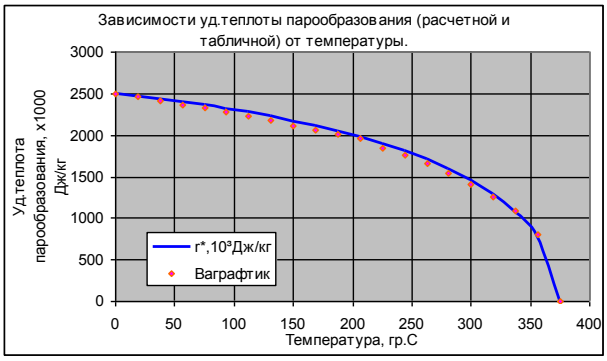
Аналитическое выражение зависимости удельной теплоты парообразования **r** теплоносителя от температуры нагрева и давления **r**=f(T) определяется системой уравнений:

$$\mathbf{r}^2=\mathbf{r}_o^2[1-(\mathbf{T}^2/\mathbf{T}_{кр}^2)^a],\ \mathbf{a}=\log T_{кр}T_o\ . \qquad (8)$$

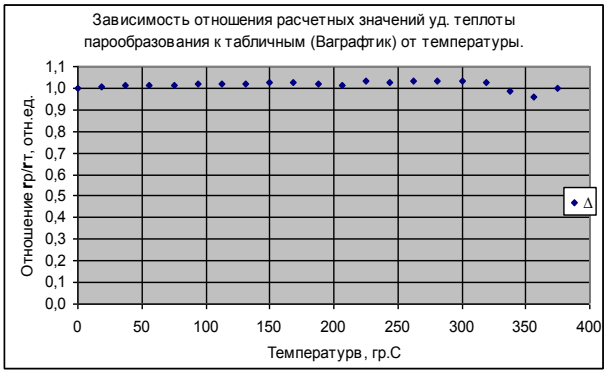
Зависимость удельной теплоты парообразования водяного пара от температуры представлена на рис. 10, а,б.

Приведенная зависимость удельной теплоты парообразования водяного пара от температуры рассчитывалась при следующих граничных условиях: температура плавления T_o=0 °С, 273°К, $\mathbf{r}_o$ = 2500 Дж/г.

Зависимость отношения расчетных значений удельной теплоты парообразования к табличным от температуры нагрева воды от температуры парообразования 100 °С до критической $T_{кр}$ (рис. 10, б) не превышает ±3%.



а



б

Рис. 10. Зависимости удельной теплоты парообразования *r* (расчетные и табличные) от температуры нагрева воды (точками показаны табличные значения по Ваграфтику)

На основании предложенных эмпирических методов расчета зависимости термодинамических характеристик и параметров теплоносителей жидкой и газовой фазы имеют сложный логарифмически-степенной характер. Исходные (начальные) значения параметров определяются теоретически или экспериментально при соответствующих значениях температур.

Выводы

На основании феноменологической теории сформулированы закономерности, определяющие аналитические зависимости термодинамических параметров от температуры нагрева теплоносителя без детального рассмотрения механизмов этих зависимостей.

Соотношение табличных значений динамической вязкости и теплопроводности к расчетным, отношения погрешностей (табличной и расчетной) теплопроводности к динамической вязкости воды от температуры нагрева воды (фазового перехода *тв/ж*) до критической температуры не превышают 3%.

Расчетные характеристики зависимостей отношений теплопроводности к динамической вязкости воды от температуры нагрева воды показывают оптимальные значения при температуре 315 °С и снижаются при увеличении средней температуры теплоносителя в объеме устройства протока теплоносителя.

Зависимости: отношения расчетных значений давления водяного пара к табличным от температуры парообразования до критической температуры не превышает 2-3%, удельной теплоемкости водяного пара от давления и температуры не превышает ±10%, давления от температуры парообразования до критической температуры не превышает ±3%.

Эмпирический метод на основании предложенных систем уравнений показал, что зависимости термодинамических характеристик и параметров теплоносителей жидкой и газообразной фаз от температуры имеют сложный логарифмически-степенной характер. Исходные (начальные) значения параметров определяются теоретически или экспериментально при соответствующих значениях температур.

Литература

1. *Ваграфтик Н.Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. – 720 с.
2. Физические величины: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
3. Феноменологическая теория [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki
4. *Майоров В.А.* Исследования тепловых характеристик солнечного модуля с концентратором // Энергетик. 2016. № 3. С. 48-56.

Сведения об авторе:

Майоров Владимир Александрович – канд. техн. наук, докторант,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия
e-mail: solarlab@mail.ru

PHENOMENOLOGICAL THEORY AND INVESTIGATION OF THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS AND PARAMETERS OF REAL HEAT CARRIERS FOR SOLAR RADIATION RECEIVERS

V. Mayorov

One of the most important tasks in developing and manufacturing the heat of photovoltaic solar modules is the determination of the design and energy capabilities of the heat carriers efficient application. In this paper on the basis of the phenomenological theory the regularities determining the analytical dependencies of the thermodynamic parameters on the temperature of heating of the heat coveriers are formulated without a

detailed consideration of the mechanisms of these dependences. The analytical expression for the dependence of the dynamic viscosity, thermal conductivity (in the liquid phase), vapor pressure, specific heat (in the gas phase) of the coolant on the heating temperature is determined by the proposed systems of equations. The reliability of the formulated dependencies is based on the relations of the calculated thermodynamic parameters to the tabulated thermodynamic parameters for the test coolant. The relationship between the tabulated values of dynamic viscosity and thermal conductivity to the calculated ones, the error ratio (tabular and calculated) of the thermal conductivity to the dynamic viscosity of water from the water heating temperature (phase transition firm/liquid) to the critical temperature does not exceed 3%. Dependences of the ratio of the calculated values of the water vapor pressure to the tabulated values of the vapor deposition temperature to the critical temperature do not exceed 2-3%, the specific heat of water vapor from pressure and temperature does not exceed ± 10%, the pressure from the vaporization temperature to the critical temperature does not exceed ± 3%. The empirical method on the basis of the proposed systems of equations has shown that the dependence of the thermodynamic characteristics and the parameters of the heat carriers of the liquid and gaseous phases on temperature have a complex logarithmic-power nature.

Keywords: coolant, thermodynamic parameters, dynamic viscosity, thermal conductivity, critical temperature.

References

1. Vagraftik N.B. Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkostej [Reference book on heatphysical properties of gases and liquids]. Moscow, Nauka, 1972. – 720 pages. (In Russian)

2. Fizicheskie velichiny: Spravochnik. [Physical quantities: Reference book]. Moscow, Energoatomizdat, 1991. 1232 ps. (In Russian)

3. Phenomenological theory [An electronic resource]. Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki

4. Mayorov V.A. Issledovanija teplovyh harakteristik solnechnogo modulja s koncentratorom [Researches of thermal characteristics of the solar module with the concentrator] J. *Jenergetik.* 2016; 3: 48-56. (In Russian)

Author:

V. Mayorov – Ph.D. (Engineering),
FSBSI "Federal Scientific Agro-engineering Center VIM" (FGBNU FNAC VIM), Moscow, Russia
E-mail: solarlab@mail.ru

• **For citation:** Mayorov V.A. Phenomenological theory and investigation of thermodynamic characteristics and parameters of real heat carriers for solar radiation receivers. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 83-89. (In Russian)

УДК 621.383

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ УСТАНОВКЕ

Ю.Д. Арбузов, В.М. Евдокимов, В.А. Майоров, Л.Д. Сагинов
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия

Одной из важнейших задач при разработке и изготовлении теплофотоэлектрических солнечных модулей являются определение конструктивных и энергетических возможностей промышленно изготавливаемых фотоэлектрических преобразователей для эффективного использования в системах концентрированного излучения. На экспериментальном стенде исследованы вольтамперные характеристики (ВАХ) фотоэлектрических преобразователей (Maxeon Cell) производства фирмы SUNPOWER (США) площадью 2,0×12,5 см^2 с контактной сеткой на тыльной стороне при концентрации солнечного излучения ФП в пределах 10 крат, при оптическом КПД 0,85 и потерях 17 % относительно исходного значения КПД. Измерение ВАХ солнечных модулей, входящих в состав когенерационной установки на основе фотоприёмников с промышленными планарными фотоэлектрическими преобразователями солнечных модулей при нахождении приёмника треугольного профиля в пределах фокальной полосы концентрированного солнечного излучения от параболоцилиндрического концентратора происходит в натурных условиях солнечной радиации и температуры окружающей среды. Большее снижение эффективности экспериментального модуля относительно расчетной модели при прочих равных условиях связано с неравномерным распределением температуры нагрева ФП, связанным с неравномерным распределением концентрации солнечного излучения по фотоприемнику. Проведенные исследования показали целесообразность более равномерного распределения концентрации солнечного излучения по всей поверхности фотоприемника. При использовании промышленных СЭ различных конструкций и технологии изготовления в разрабатываемых солнечных модулях с концентрированным излучением наблюдается различная их эффективность. Проведенные расчеты конструктивных и энергетических характеристик подтверждались экспериментальными натурными исследованиями, что позволяет прогнозировать теплоэнергетические и фотоэлектрические характеристики разрабатываемых отдельных модулей и их комплексов.

***Ключевые слова**: солнечный модуль, фотоэлектрические преобразователи, концентраторы, распределение температуры, контактная сетка.*

Статья поступила в редакцию 27.06.2017 **Принято к публикации 20.08.2017**

• **Для цитирования:** Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М., Майоров В.А., Сагинов Л.Д. Исследование фотоэлектрических преобразователей, применяемых в экспериментальной солнечной установке // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 90-97.

Одной из важнейших задач при разработке и изготовлении тепло-фотоэлектрических солнечных модулей является определение конструктивных и энергетических возможностей промышленно изготавливаемых фотоэлектрических преобразователей для эффективного использования в системах концентрированного излучения.

Применяемые фотоэлектрические преобразователи в промышленно изготавливаемых солнечных батареях разработаны конструктивно и технологически для работы в натурных условиях при солнечной освещенности E_c~1000 Вт/м^2 (АМ-1,5) с максимально возможным КПД и минимальной стоимостью. Поэтому при других условиях эксплуатации (например, при концентрированном излучении) их эффективность уменьшается.

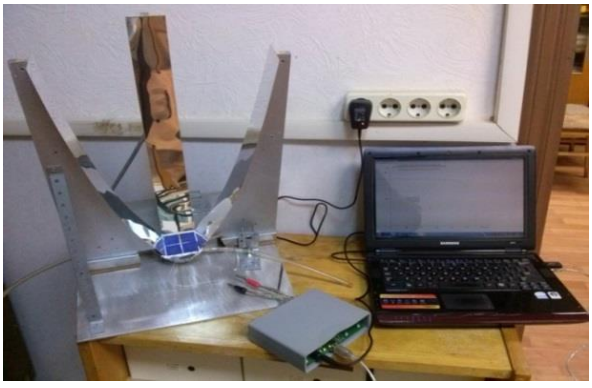
В связи с этим проведены исследования ряда конструкций промышленно изготавливаемых фотоэлектрических преобразователей в натурных условиях с разработанными и изготовленными концентраторами, позволяющие определить возможные варианты их применения в теплофотоэлектрических модулях и установках.

Исследования характеристик образцов промышленно изготавливаемых фотоэлектрических преобразователей в натурных условиях проводились на разработанном солнечном модуле (группой «Измерения и исследования фо-

топреобразователей» ФГБНУ ВИЭСХ), состоящем из съемных цилиндрических концентраторов в количестве 4-х штук. Расчетная поверхность концентраторов обеспечивает равномерную освещённость активной плоскости фотоприемника с фотоэлектрическими преобразователями (ФП) концентрированного солнечного излучения, расположенного в области фокальных полос концентраторов. Съем вольтамперной характеристики (ВАХ) обеспечивается автоматизированной системой.

Установка в составе экспериментального стенда оборудована системой слежения за видимым положением Солнца с питанием от сети 12 В. Через систему утилизации тепла приёмника концентрированного солнечного излучения непрерывно пропускается водопроводная вода.

Общий вид солнечного модуля с автоматизированной системой съема вольтамперной характеристики ВАХ приведен на рис. 1,а. Солнечный модуль в составе экспериментального стенда показан на рис. 1,б.



а

б

Рис. 1. Общий вид солнечного модуля (а) и солнечный модуль на экспериментальном стенде (б)

На представленной установке исследованы ВАХ фотоэлектрических преобразователей китайского производства площадью 2,6×5,2 см^2 с шириной контактной сетки 1,7 мм, с КПД в пределах 17-18 % в натурных условиях.

Результаты испытания:

- рабочее напряжение фотоприемника без концентратора соответствует ~ 0,5 В, вырабатываемый ток ~ 0,4 А, электрическая мощность макетного образца ~ 0,2 Вт при солнечной освещенности Е ~ 950 Вт/м^2, коэффициент заполнения ВАХ m ~ 0,74, КПД η ~ 17,6 %;

- рабочее напряжение модуля с 2-мя концентраторами с геометрической концентрацией $К_г$ ~ 3,2 соответствует ~ 0,42 В, вырабатываемый ток ~ 1,2 А, электрическая мощность ~ 0,5 Вт при солнечной освещенности ~ 850 Вт/м^2, коэффициент заполнения ВАХ m ~ 0,6, КПД η ~ 8,6 %, η_j ~12,1* %, η^*_j ~10,3 %;

- рабочее напряжение модуля с 3-мя концентраторами с геометрической концентрацией $К_г$ ~ 5,5 соответствует ~ 0,39 В, вырабатываемый ток ~ 1,5 А, электрическая мощность ~ 0,57 Вт при солнечной освещенности ~ 850 Вт/м^2, коэффициент заполнения ВАХ m ~ 0,58, КПД η ~ 9,4 %. η_j ~13,3 %, η^*_j ~11,3 %;

- рабочее напряжение модуля с 4-мя концентраторами с геометрической концентрацией $К_г$ ~ 7,5 соответствует ~ 0,43 В, вырабатываемый ток ~ 1,7 А, электрическая мощность ~ 0,73 Вт при солнечной освещенности ~ 850 Вт/м^2, коэффициент заполнения ВАХ m ~ 0,55, КПД η ~ 8,5 % , η_j ~12,0 %, η^*_j~10,2 %.

ВАХ, снятые в результате испытаний автоматизированной системой установки, приведены на рис. 2.

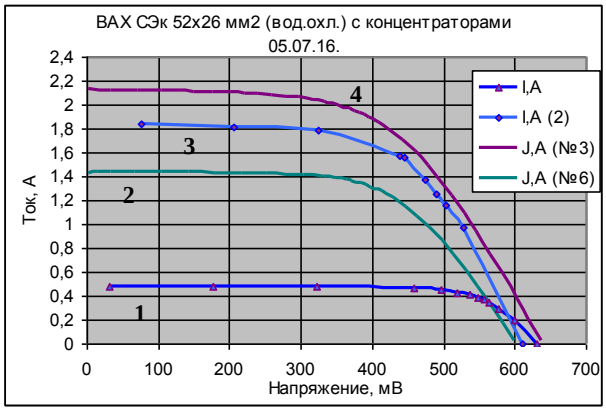


Рис. 2. ВАХ ФП (Китай) площадью 2,6×5,2 см^2 с шириной контактной сетки 1,7 мм:
в условиях АМ-1,5 (1),
при 2-х концентраторах (2),
при 3 концентраторах (3),
при 4 концентраторах (4)

Оптический КПД системы с устанавливаемыми концентраторами находился в пределах $\eta_{опт}$ = 0,65-0,7 и определялся в соответствии с системой уравнений (1):

$$\eta_{опт} = \frac{K_j}{K_Г}. \qquad K_j = \frac{J_{кзК} E}{J_{кз} E_K} \qquad (1)$$

где E – солнечная освещенность ФП без концентратора, Вт/м^2; $E_К$ – солнечная освещенность модуля с концентратором, Вт/м^2; $J_{кз}$ – ток короткого замыкания ФП без концентратора; $J_{кзК}$ – ток короткого замыкания ФП модуля с концентратором.

КПД системы с устанавливаемыми концентраторами η определяется по формуле:

$$\eta = \frac{P}{E_K S_{ФП} K_Г}, \qquad (2)$$

где $S_{ФП}$ – площадь ФП, геометрическая концентрация $K_г = S_К/S_{ФП}$; $S_К$ – площадь концентратора.

КПД системы с устанавливаемыми концентраторами η_j, при котором не учитываются оптические потери, определяется по формуле:

$$\eta_j = \frac{\eta}{\eta_{опт}} = \frac{P}{E_K S_{ФП} K_Г \eta_{опт}}. \qquad (3)$$

Расчетный КПД η^*_j (относительно экспериментального КПД η) системы с устанавливаемыми концентраторами, при котором учитываются оптические потери $\eta^*_{опт}$, определяется по формуле:

$$\eta^*_j = \eta\eta^*_{опт} = \frac{P\eta^*_{опт}}{E_{сК} S_{ФП} K_Г \eta_{опт}} \qquad (4)$$

На основании исследований ВАХ фотоэлектрических преобразователей китайского производства площадью 2,6×5,2 см^2 с шириной контактной сетки 1,7 мм, с КПД в пределах 17-18 % в стандартных условиях на представленной системе с концентраторами при геометрических концентрациях $K_г$ 3,6; 5,5; 7,5 с оптическим КПД $\eta_{опт}$=0,71 получены экспериментальные КПД η в пределах 8,5 - 9,4 %; без учета оптических потерь η_j ~12,0 – 13,3 %; при расчете возможного КПД ФП при концентрированном излучении η^*_j (относительно экспериментального КПД η) η^*_j ~10,2 - 11,3 % оптический КПД принимался равным $\eta^*_{опт}$=0,85. Потери относительно исходного значения КПД ФП (17,6 %) достигают 32 %.

Таким образом, при концентрации солнечного излучения с равномерным распределением по площади ФП в пределах 10 крат, при оптическом КПД $\eta_{опт}$=0,85 минимальные потери относительно исходного значения КПД ФП могут достигать 32 %, что малоприемлемо для использования промышленных ФП в системах с концентраторами. (5.1)

Исследования показали, что контактная система этих ФП приспособлена к работе в стандартных условиях солнечной освещенности (АМ-1,5) и не приспособлена для работы с большими удельными токами при концентрированном солнечном излучении.

На экспериментальном стенде исследованы ВАХ фотоэлектрических преобразователей (Maxeon Cell) производства фирмы Sunpower (США) площадью 2,0×12,5 см^2 с контактной сеткой на тыльной стороне. Для исследования характеристик ФП при работе с концентратором на фотоприемник шириной 6,0 см устанавливались 3 ФП (3×2,0×12,5 см^2) с параллельным электрическим соединением. Через систему утилизации тепла приёмника концентрированного солнечного излучения непрерывно пропускается водопроводная вода.

Результаты испытания:

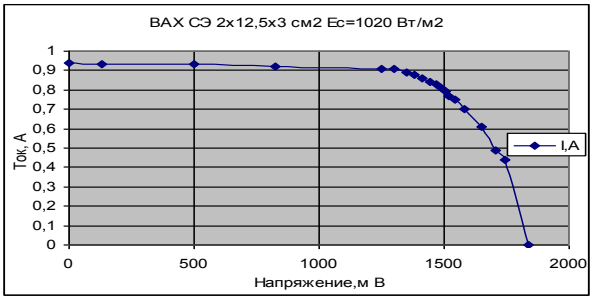
- рабочее напряжение фотоприемника без концентратора соответствует $U_{рт}$= 1,38 В, ток короткого замыкания $J_{кз}$ = 0,94 А, электрическая мощность макетного образца P = 1,22 Вт при солнечной освещенности E = 1020 Вт/м^2, коэффициент заполнения ВАХ m = 0,704, КПД η =15,9 %;

- рабочее напряжение модуля с концентратором с геометрической концентрацией $K_г$ = 11 крат, оптическим КПД $\eta_{опт}$=0,59 соответствует $U_{рт}$=1,43 В, вырабатываемый ток короткого замыкания $J_{кз}$ = 5,02 А, электрическая мощность ~ 6,33 Вт при солнечной освещенности E_c = 838 Вт/м^2, коэффициент заполнения ВАХ m = 0,598, КПД в соответствии с формулами (1) – (4) имеют величины: η = 9,16 %, η_j ~15,5 %, η^*_j ~13,2 %.

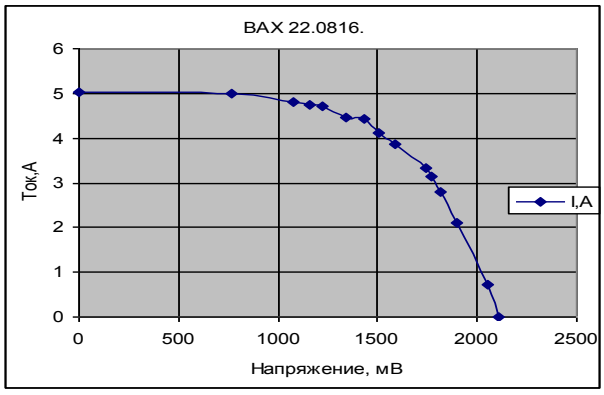
ВАХ, измеренные при натурных испытаниях, приведены на рис. 3.

На основании натурных исследований ВАХ фотоэлектрических преобразователей американского производства (Sunpower, США) с КПД в пределах 15,9 % в стандартных условиях, рабочей площадью 3×2,0×12,5 см^2 с контактной сеткой на тыльной стороне, на стенде с концентратором при геометрических концентрациях $K_г$ 11 крат с оптическим КПД $\eta_{опт}$=0,59 получен экспериментальный КПД η = 9,16 %. Без учета оптических потерь η_j ~15,5 %; при расчете возможного КПД ФП при концентрированном излучении η^*_j (относительно экспе-

риментального КПД) η^*_j ~ 13,2 % оптический КПД принимался равным $\eta^*_{опт}$=0,85, при этом потери относительно исходных значений КПД ФП (15,9 %) достигают 17%.



а



б

Рис. 3. ВАХ фотоприемника площадью 3×2,0×12,5 см^2 с контактной сеткой на тыльной стороне в условиях АМ-1,5 (а), с концентратором (б)

Эти потери могут быть снижены за счет более равномерного распределения концентрированного излучения по поверхности фотоприемника.

Таким образом, при концентрации солнечного излучения ФП с контактной сеткой на тыльной стороне в пределах 10 крат, при оптическом КПД $\eta_{опт}$ = 0,85 и потерях 17 % относительно исходного значения КПД применимы к использованию этих промышленных ФП в системах с концентраторами.

Исследования вольт-амперных характеристик солнечного модуля с параболоцилиндрическим концентратором и фотоприёмника треугольного профиля с промышленно изготавливаемыми планарными фотоэлектрическими преобразователями с системой утилизации тепла проводились на экспериментальном стенде ВИЭСХ.

Измерение ВАХ солнечных модулей, входящих в состав когенерационной установки на основе фотоприёмников с промышленными планарными фотоэлектрическими преобразователями, при нахождении приёмника треугольного профиля в пределах фокальной полосы концентрированного солнечного излучения от параболоцилиндрического концентратора производилось в натурных условиях солнечной радиации и температуры окружающей среды. Исследования осуществляются: при разных условиях интенсивности потока воды через устройство для протока жидкого теплоносителя (воды) приёмника; при различном пространственном распределении освещённости в фокальной полосе концентратора: при различном тепловом состояния пропускаемой жидкости, её расходе, температуре воды на входе и выходе из приёмника.

Результаты испытания:

- рабочее напряжение фотоприемника с линейкой фотопреобразователей размерами 5,2×2,6 см^2×26 шт. соответствует ~ 13 В, вырабатываемый ток короткого замыкания $J_{кз}$ = 0,37 А, а электрическая мощность макетного образца Р= 4,94 Вт при освещенности солнца E_c=1002 Вт/м^2, коэффициент заполнения ВАХ m = 0,770, КПД η = 13,8 %;

- рабочее напряжение модуля с фотопреобразователями размерами 5,2×2,6 см^2 26 шт. соответствует ~ 12 В, вырабатываемый ток короткого замыкания $J_{кз}$ = 2,65 А, а электрическая мощность макетного образца Р = 30 Вт при освещенности солнца ~1005 Вт/м^2, коэффициент заполнения ВАХ m = 0,680, КПД в соответствии с формулами (1) – (4) имеют величины: η = 6.6 %. (при оптическом КПД $\eta_{опт}$ = 0,56), η_j = 11,7 %, η^*_j = 10 %. Оптический КПД принимался равным $\eta^*_{опт}$=0,85, потери относительно исходного значения КПД ФП (13,8 %) могут достигать 28 %.

ВАХ модулей при натурных испытаниях приведены на рис. 4, 5.

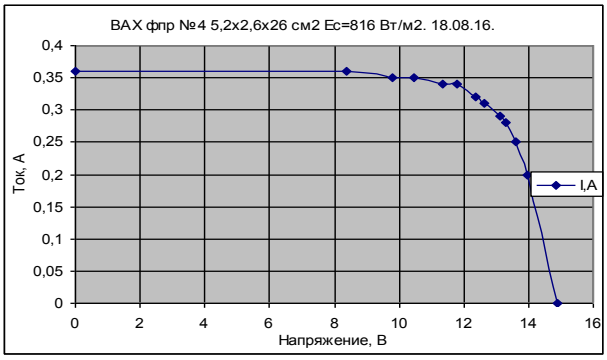


Рис. 4. ВАХ фотоприемника №4 – с линейкой параллельно соединенных планарных СЭ 5,2×2,6 см^2 × 26 шт. E_c=816 Вт/м^2, T_a=22 °С, $T_{СЭ}$=40 °С

На основании исследований приведенных ВАХ модулей с ФП китайского производства площадью 2,6×5,2 см^2 с шириной контактной сетки 1,7 мм, с КПД в пределах 13,8 % в стан-

дартных условиях в составе с концентраторами при геометрических концентрациях $К_г$ =12,7 крат с оптическим КПД $\eta_{опт}$=0,56 получены экспериментальные КПД η = 6,6 %; без учета оптических потерь η_j ~11,7 %.

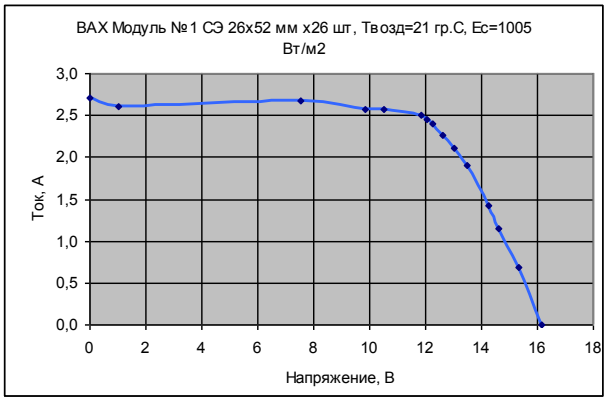


Рис. 5. ВАХ модуля с концентратором №1 и фотоприемником №4 – с линейкой параллельно соединенных планарных СЭ 5,2×2,6 см^2 × 26 шт. E_c=1005 Вт/м^2.T_a=21 ^{o}C, $T_{СЭ}$=37 ^{o}C

при расчете возможного КПД ФП при концентрированном излучении η^*_j (относительно экспериментального КПД η) η^*_j = 10 %, оптический КПД принимался равным $\eta^*_{опт}$=0,85, потери относительно исходного значения КПД ФП (13,8 %) достигают 28 %.

Таким образом, при концентрации солнечного излучения по площади линейки ФП в пределах 10 крат, при оптическом КПД солнечного модуля $\eta^*_{опт}$ = 0,85, минимальные потери (относительно исходного значения КПД ФП) могут достигать 28 %.

Исследования показали, что контактная система этих ФП приспособлена к работе в стандартных условиях солнечной освещенности (АМ-1,5) и не приспособлена для работы с большими удельными токами при концентрированном солнечном излучении.

Целесообразно применять в солнечных модулях ФП с контактной сеткой на тыльной стороне.

Исследованы фотоэлектрические характеристики ФП с неравномерным распределением освещенности по приемной поверхности в составе с концентраторами.

Для расчета энергетических характеристик ФП при малых значениях полного последовательного сопротивления используется разработанная аналитическая модель в виде системы уравнений, представляющая вольтамперную характеристику, оптимальный ток и напряжение ФП в зависимости от температуры нагрева ФП и концентрации солнечного излучения:

$$J_{кзu}=J_{кзou}(T)- J_ш; \quad J_ш=U_{xx}(T)K/R_ш;$$
$$Jn=J_{кзu}[1- (n/N)^a]; \quad a=1,15;$$
$$U_n=[U_{xxn}(T)+\Delta U_{xx}(K)(n/N)^a](R_{nn}+R_{np})/$$
$$/[(R_{nn}+R_{np})+R_{nc}+R_б]-U_{np}, \qquad (5.5)$$

где **n** изменяется в пределах 0, 1, 2 ……N.

На основании исследования экспериментального теплофотоэлектрического модуля, представленного на рис. 6, в натурных условиях проведено измерение распределения концентрации солнечного излучения по поверхности фотоприемника с линейкой ФП российского производства размерами 5×5 см^2 в количестве 14 шт. с последовательным соединением и шагом контактной сетки 1,0 мм.

Рис. 6. Исследования экспериментального тепло-фотоэлектрического модуля в натурных условиях

Результаты измерения распределения солнечного концентрированного излучения по ширине поверхности фотоприемника на разных участках длины представлены на рис. 7. На рис. 8 представлены расчетные и экспериментальные ВАХ исследуемого модуля.

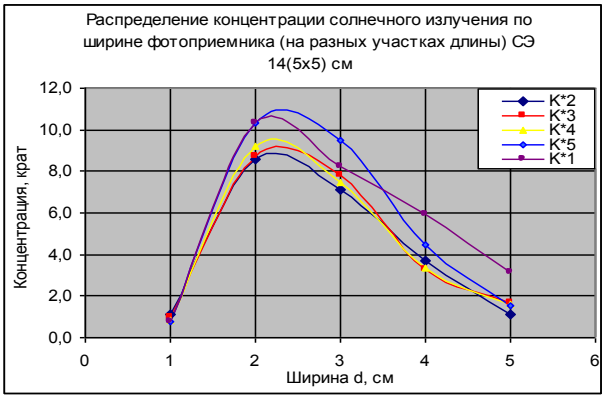


Рис. 7. Распределение концентрации по фотоприемнику (графики на разных участках длины)

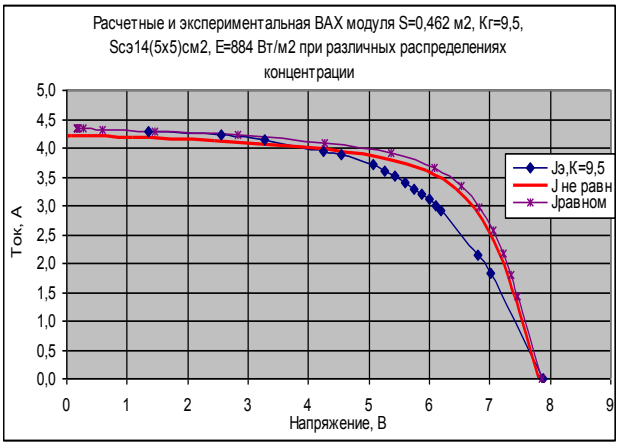


Рис. 8. Расчетные и экспериментальные ВАХ модуля

Приведенные на рис. 7 графики распределения концентрации по ширине фотоприемника при натурных испытаниях теплофотоэлектрического модуля на разных участках длины фотоприемника имеют различные максимумы в пределах 9 – 11 крат. При расчетах использовалась характеристика с максимумом концентрации ~ 10 крат.

Приведенные графики на рис. 8 показывают разницу в коэффициенте заполнения **m** ВАХ. Максимальный коэффициент заполнения **m** имеет приведенная на верхнем графике расчетная ВАХ модуля с равномерным распределением концентрации по всей поверхности фотоприемника. Величина **m** модуля с равномерным распределением больше **m** расчетной ВАХ (средний график) модуля с неравномерным распределением концентрации по фотоприемнику на 4,4 %.

Снижение эффективности ФП в расчетной модели связано с различными максимумами электрической мощности освещаемых площадей фотоприемника с разными концентрациями солнечного излучения, что влияет на среднее значение напряжения в рабочей точке.

Расчетное распределение температуры нагрева по длине фотоприемника считалось равномерным.

Минимальное значение **m** имеет экспериментальная ВАХ модуля (нижний график рис. 8), величина коэффициента заполнения **m** ВАХ меньше расчетной ВАХ модуля с равномерным распределением концентрации по фотоприемнику на 11,4 %.

Большее снижение эффективности экспериментального модуля относительно расчетной модели при прочих равных условиях связано с неравномерным распределением температуры нагрева ФП, связанным с неравномерным распределением концентрации солнечного излучения по фотоприемнику.

Проведенные исследования показали целесообразность более равномерного распределения концентрации солнечного излучения по всей поверхности фотоприемника.

При использовании промышленных СЭ различных конструкций и технологии изготовления в разрабатываемых солнечных модулях с концентрированным излучением наблюдается различная их эффективность.

Так, СЭ с контактной сеткой на рабочей поверхности имеют КПД $\eta_р$=17-18 %, СЭ с контактной сеткой на тыльной поверхности имеют КПД $\eta_р$=19-20 %. Соотношение их КПД определяет коэффициент влияния конструкции контактной сетки на эффективность СЭ:

$$\mathbf{k}_c=\eta_т/\eta_р\ . \qquad (6)$$

При сборке фотоприемника используемые СЭ подвергаются различной технологической обработке (резке, пайке контактов, клейке и др.). При этом эффективность их меняется на каждой стадии.

После резки СЭ на требуемые размеры определяются их КПД $\boldsymbol{\eta}_{сэр}$, $\boldsymbol{\eta}_{сэт}$, которые являются исходными перед сборкой фотоприемника, и их соотношение:

$$\mathbf{k}_{сэ}= \boldsymbol{\eta}_{сэт}/ \boldsymbol{\eta}_{сэр} \qquad (7)$$

определяет относительный технологический коэффициент СЭ с разной конструкцией контактной сетки.

После клейки СЭ на рабочую поверхность основы фотоприёмника с системой протока теплоносителя и пайки контактов измеряются их КПД $\boldsymbol{\eta}_{фр}$, $\boldsymbol{\eta}_{фт}$, которые являются исходными для фотоприемников, и их соотношение:

$$\mathbf{k}_{ф}=\boldsymbol{\eta}_{фт}/\boldsymbol{\eta}_{фр}. \quad (8)$$

определяет относительный технологический коэффициент фотоприемников.

Отношения:

$$\mathbf{k}_{фр}=\boldsymbol{\eta}_{фр}/\boldsymbol{\eta}_{сэр},\ \mathbf{k}_{фт}=\boldsymbol{\eta}_{фт}/\boldsymbol{\eta}_{сэт} \quad (9)$$

определяют технологический коэффициент каждого из фотоприемников.

После сборки модуля определяются их КПД $\boldsymbol{\eta}_{мр}$, $\boldsymbol{\eta}_{мт}$, оптические КПД $\boldsymbol{\eta}_{оптр}$, $\boldsymbol{\eta}_{оптт}$ и их соотношение определяет относительный технологический коэффициент модулей:

$$\mathbf{k}_{м}=\boldsymbol{\eta}_{мт}\eta_{оптр}/\boldsymbol{\eta}_{мр}\eta_{оптт}. \quad (10)$$

Отношения:

$$\mathbf{k}_{мр}=\boldsymbol{\eta}_{мр}/\boldsymbol{\eta}_{фр},,\ \mathbf{k}_{мт}=\boldsymbol{\eta}_{мт}/\boldsymbol{\eta}_{фт} \quad (11)$$

определяют технологический коэффициент каждого из модулей с различными типами СЭ.

Коэффициент влияния контактной сетки на эффективность модулей с различными конструкциями СЭ определяется соотношением:

$$\mathbf{k}_{кс}= \mathbf{k}_{м} / \mathbf{k}_{ф}\ k_{сэ}, \quad (12)$$

в котором исключаются относительные технологические потери на всех стадиях сборки модуля.

Приведенная система уравнений (1) – (12) позволяет прогнозировать параметры разрабатываемого модуля от выбора СЭ до выходных фотоэлектрических характеристик, включая стадии технологических потерь.

На основании приведенных выше экспериментальных характеристик и исходных параметров СЭ с различными контактными сетками определены коэффициенты (6) – (12) влияния применяемых СЭ различных конструкций и технологий изготовления в разрабатываемых солнечных модулях с концентрированным излучением и конечная эффективность изготовляемых модулей.

$\mathbf{k}_{с}$=17,5/19=0,92;

$\mathbf{k}_{сэ}$=17,5/17,6=1;

$\mathbf{k}_{ф}$ =15,9/13,8=1,15;

$\mathbf{k}_{фр}$=13,8/17,6=0,78;

$\mathbf{k}_{фт}$=15,9/17,5=0,91;

$\mathbf{k}_{м}$=9,16·0,6/6,6·0,53=1,53;

$\mathbf{k}_{мр}$=6,6/13,8=0,48;

$\mathbf{k}_{мт}$=9,16/17,5=0,52;

$\mathbf{k}_{кс}$=1,53/1,15·1=1,33.

Проведенный расчет коэффициента влияния контактной сетки $k_{кс}$ показывает, что модули СЭ с контактами на тыльной стороне в 1,33 раза эффективнее модулей с СЭ с контактами на рабочей стороне.

Выводы

Исследования характеристик образцов промышленно изготавливаемых фотоэлектрических преобразователей (Maxeon Cell) американского производства фирмы SUNPOWER площадью 12,5×12,5 см^2 с контактной сеткой на тыльной стороне имеют КПД ~21% показали величину фотоэлектрических потерь 17%, относительно исходных значений КПД ФП с учетом оптического КПД $\eta_{опт}$=0,85 и применимы к использованию в системах с концентраторами.

Снижение электрических потерь достигается увеличением количества СЭ с последовательным электрическим соединением на одном приемнике.

Получены результаты исследований физико-энергетических и фотоэлектрических характеристик фотопреобразователей с неравномерным распределением освещенности по приемной поверхности. Проведенные расчеты конструктивных и фотоэлектрических характеристик фотоприемников подтверждались экспериментальными натурными исследованиями. Проведенные исследования показали целесообразность более равномерного распределения концентрации солнечного излучения и температуры по всей поверхности фотоприемника.

Проведенные расчеты конструктивных и энергетических характеристик подтверждались экспериментальными натурными исследованиями, что позволяет прогнозировать теплоэнергетические и фотоэлектрические характеристики разрабатываемых отдельных модулей и их комплексов.

Литература

1. *Арбузов Ю.Д.* Методика расчета параметров фотоэлектрических преобразователей солнечного излучения при небольших концентрациях / Ю.Д. Арбузов, В.М. Евдокимов, В.А. Майоров, Л.Д. Сагинов // Сборник трудов XII Межд. ежегодной научно-практ. конференции «Возобновляемая и малая энергетика - 2015». М., 2015. С. 12-19.
2. Майоров В.А., Сагинов Л.Д., Трушевский С.Н. Беленов А.Т. Экспериментальные исследования

характеристик солнечного модуля концентрированного излучения в натурных условиях // Вестник ВИЭСХ. 2016. № 3(24). С.126-132.
3. Патент РФ №2543256. Теплофотоэлектрический модуль с параболоцилиндрическим концентратором солнечного излучения / Майоров В.А. // БИ. 2015. № 8.
4. Патент РФ № 2591747. Теплофотоэлектрический модуль с параболоцилиндрическим концентратором солнечного излучения и способ его изготовления / Майоров В.А., Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М., Сагинов Л.Д., Трушевский С.Н. // БИ. 2016. №20.

Сведения об авторах:

Арбузов Юрий Дмитриевич – канд. физ.-мат. наук,
Евдокимов Владимир Михайлович – доктор физ.-мат. наук;
Майоров Владимир Александрович – канд. техн. наук (докторант);
Сагинов Леонид Дмитриевич – канд. физ.-мат. наук,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия
e-mail: solarlab@mail.ru

RESEARCH OF THE PHOTOVOLTAIC CONVERTERS USED IN EXPERIMENTAL SOLAR INSTALLATION

Yu. Arbuzov, V. Yevdokimov, V. Mayorov, L. Saginov

One of the most important tasks in developing and manufacturing the heat of photovoltaic solar modules is to determine the design and energy capabilities of commercially available photoelectric converters for efficient use in concentrated radiation systems. The VAC of the photoelectric converters (Maxeon Cell) manufactured by SUNPOWER with the area of 2.0x12.5 cm2 with a contact grid on the back side at the concentration of the solar radiation of the FP with a contact grid on the back side within 10 times, with an optical efficiency of 0.85 and losses of 17% relative to the initial value of the efficiency are applicable to the use of these industrial PTs in systems with concentrators. Measurement of the I-V characteristic of solar modules that are part of a cogeneration unit based on photodetectors with industrial planar photoelectric converters of solar modules when a triangular profile receiver is located within the focal strip of concentrated solar radiation from a parabolic cylindrical concentrator under full-scale solar radiation conditions and ambient temperature. A greater decrease in the efficiency of the experimental module relative to the design model, other conditions being equal, is due to the uneven distribution of the heating temperature of the photoconductivity, which is associated with an uneven distribution of the solar radiation concentration over the photodetector. The carried out researches have shown expediency of more uniform distribution of concentration of solar radiation on all surface of the photoreceiver. When using industrial solar cells of various designs and manufacturing techniques in the developed solar modules with concentrated radiation, their effectiveness is different. The performed calculations of structural and energy characteristics were confirmed by experimental field studies, which makes it possible to predict the heat-energy and photoelectric characteristics of the developed solar individual modules and complexes.

Keywords: solar module, photoelectric converters, concentrators, temperature distribution, contact grid.

References

1. Arbuzov Yu.D., Evdokimov V.M., Majors of V. A., Saginov L.D. A method of calculation of parameters of photovoltaic converters of sunlight at small concentration. Materials of the XII International annual scientific and practical conference "Renewable and Small-scale Power Generation-2015". Moscow, 2015. P. 12-19.
2. Mayorov V. A., Saginov L.D., Trushevsky S.N., Belenov A.T. Pilot studies of characteristics of the solar module of the concentrated radiation in natural conditions. J. *Vestnik VIESH*, 2016; 3(24). C. 126-132.
3. Patent of the Russian Federation No. 2543256. The heatphotovoltaic module with the parabolo- cylindrical concentrator of sunlight / Majorov V.A. *Bulletin of invention*. 2015; 8.
4. Patent of the Russian Federation No. 2591747. The heatphotovoltaic module with the parabolo-cylindrical concentrator of sunlight and a way of his production / Majorov V.A., Arbuzov Yu.D., Evdokimov V.M., Saginov L.D., Trushevsky S.N. *Bulletin of inventions*. 2016; 20.

Authors:

Yu. Arbusov – Ph. D. (Physics and Mathematics);
V. Evdokimov – D. Sc. (Physics and Mathematics);
V. Majorov – Ph. D. (Engineering);
L. Saginov – Ph. D. (Physics and Mathematics);
Federal Scientific Agro-engineering Center VIM,
Moscow, Russia,
e-mail: solarlab@mail.ru

• **For citation:** Arbuzov Yu.D., Yevdokimov V.M., Mayorov V.A., Saginov L.D. Research of the photo-electric converters used in experimental solar installation. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 90-97. (In Russian)

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ *Новые идеи и дискуссии*

УДК 576.35:001

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОСТА КЛЕТОК

Ю.А. Собченко
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия

В статье рассматривается рост клеток (семян, зерен и т.д.) на линейном участке. Исследуются скорость и ускорение роста семян на участке в целом (для клеток это будет организм или орган живого существа, растущий автономно). Определяются математические особенности при линейном росте клеток, скорости и ускорении роста клеток на участке (организме) в целом. Обращается внимание на нестандартные изменения скорости и ускорения в некоторых случаях.

Ключевые слова: *клетка, рост клетки, зародыш семени, скорость роста клетки, делянка.*

Статья поступила в редакцию 21.09.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Собченко Ю.А. Математические особенности роста клеток? // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 98-101.

Введение

Вопросы, связанные с ростом живых существ, в частности растений, семян, клеток и т.д., широко рассматриваются в научной литературе, например [1, 2, 3, 4].

Цели данной статьи – на простейших примерах ответить на вопросы:

1. По каким законам изменяется площадь, объем, занимаемый растущими клетками (семенами) с учетом их дискретной природы в целом на некотором участке?

2. Каковы качественные изменения скорости и ускорения роста площади (объема), занимаемого растущими клетками (семенами и т.д.) участка в целом?

3. Каким образом оценить максимумы и минимумы рассматриваемых величин?

4. Каковы возможности применения полученных результатов на практике?

Анализ роста клеток на плоскости

Рассмотрим простейшую технологию посадки клеток (семян, микробов и т.д.). Участок разбит на делянки [2] следующим способом (рис. 1).

Сделано n лунок для n клеток (семян, микробов и т.д.). Методика посадки следующая: в момент времени t, равный t_0, высаживается в делянку №1 клетка 1 с линейным размером a_1 плоская, ее площадь $S_1= a_1^2$ (квадрат), в следующий момент времени $t_1=\Delta t$ высаживается следующая клетка 2 с такой же площадью в делянку №2, в следующий момент времени $t_2=2\Delta t$ третья клетка и т. д. до $t_{n-1}=(n-1)\Delta t$. Посажено n клеток по одной в каждую делянку. Каждая после посадки вырастает на r в линейном размере за время Δt.

1	2	3	…						$\sqrt{n}$
2									
3									
…									
$\sqrt{n}$									

Рис. 1. Схема участка, разбитого на n делянок

Вопрос: Какую площадь займут клетки, когда будут посажены “n” клеток?

Ответ:

$$S = \sum_{i=1}^{n} a_i^2 = \frac{r^2}{3} \times n^3 + (r \times a_1 - \frac{r^2}{2})n^2 + (a_1^2 + \frac{r^2}{6} - r \times a_1) \times n ; \quad (1)$$

где a_i^2 – площадь одной посаженной клетки; n – число посаженных клеток; r – увеличение линейного размера клетки за время Δt.

Для проведения анализа поставленных задач введем переменную *X*. Эта переменная обладает всеми свойствами *x* оси абсцисс, но мы всегда должны помнить ее физический смысл:

$$X=\mathrm{n}\times r+\alpha\,,$$

где n – число посаженных клеток (семян и т. д.), число тактов, число действий, величина, принимающая значения 1, 2, 3, 4 и т.д. (множество натуральных чисел); r – рост линейного размера клетки за время Δt; α – остаток (в случае если X и n делятся нацело, остаток равен 0.

Заменим n на *X* в формуле (1):

$$\mathrm{S}=\sum_{i=1}^{i=n} a_i^2 =\frac{1}{r}\left[\frac{x^3}{3}+\left(a_1-\frac{r}{2}\right)\times x^2+\right.$$
$$\left.+\left(a_1^2+\frac{r^2}{6}-r\times a_1\right)\times x\right].$$

Введем понятие – скорость изменения площади клеток $V_{\text{клеток}}$ на участке

$$\mathrm{v_{клеток}}=\frac{\mathrm{dS}}{\mathrm{dt}}=\frac{1}{\mathrm{r}}\left[\mathrm{x}^2+2\left(\mathrm{a}_1-\frac{\mathrm{r}}{2}\right)\mathrm{x}+\right.$$
$$\left.+\left(\mathrm{a}_1^2+\frac{\mathrm{r}^2}{6}-\mathrm{r}\times\mathrm{a}_1\right)\right]\frac{dx}{dt};\qquad(2)$$

где $\frac{\mathrm{dx}}{\mathrm{dt}}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}(\mathrm{n}\times\mathrm{r})=\frac{\mathrm{dn}}{\mathrm{dt}}\cdot\mathrm{r}+\frac{\mathrm{dr}}{\mathrm{dt}}\cdot\mathrm{n}\,,$
так как $r=const,$
получаем $\frac{dx}{\mathrm{dt}}=\frac{\mathrm{dn}}{\mathrm{dt}}\mathrm{r}\,.$

Что такое $\frac{dn}{dt}$? Это количество клеток, посаженных в единицу времени, что дает нам размерность $\frac{1}{\text{сек}}$ (чаще используется размерность мм/час или мм/сутки).

Примечание: постоянство r – рост линейного размера клетки, несомненно, сильная аппроксимация, исследование суммарного дифференциала, на взгляд автора, более перспективно.

В чем принципиальное отличие уравнения (2) от (1)? В том, что $\sum a_i$ – сумма непрерывных величин, a_i принимает непрерывные значения вдоль оси x.

Посажено «n» клеток, и ускорение роста клеток на участке составит:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\mathrm{v_{клеток}}==\frac{1}{\mathrm{r}}\left[2x+2\left(\mathrm{a}_1-\frac{1}{2}\right)\right].\qquad(3)$$

Приравнивая производную к 0, получим минимальное значение скорости:

$$\frac{1}{\mathrm{r}}\left[2x+2\left(\mathrm{a}_1-\frac{1}{2}\right)\right]=0\,.\qquad(4)$$

Учитывая X = n × r, получаем

$$r_{min}=\frac{1-2a_1}{2n}\,.\qquad(5)$$

Конечно, для «плоских клеток» исследование получило простой вид, но он нужен. Для «двухмерных клеток» дискретность не влияет на ускорение процесса, **но в дальнейшем так не будет.**

Анализ роста клеток в трехмерном пространстве

Теперь вместо плоских клеток рассмотрим трехмерные клетки в виде кубиков с линейным размером a_1. Методика посадки прежняя (рис. 1).

Объем W посаженных *n* клеток

$$\mathrm{W}=\sum_{i=1}^{i=n} a_i^3=\frac{r^3}{4}\times n^4+\left(r^2\times a_1-\frac{r^3}{2}\right)\times n^3+$$
$$+\left(\frac{3}{2}\times r\times a_1^2+\frac{r^3}{4}-\frac{3}{2}\times r\times a_1\right)\times n^2+$$
$$+\left(\frac{1}{2}\times a_1\times r^2-\frac{3}{2}\times a_1^2\times r\times a_1^3\right)\times n.\qquad(6)$$

При замене переменных: X= $n\times r$ выражение аналогично предыдущему выражению (6)

$$\mathrm{W}=\sum_{i=1}^{i=n} a_i^3=\frac{1}{4r}\times X^4+\left(\frac{a_1}{r}-\frac{1}{2}\right)\times X^3+$$
$$+\left(\frac{3}{2r}\times a_1^2+\frac{r}{4}-\frac{3}{2}\times a_1\right)\times X^2+$$
$$+\left(\frac{1}{2}\times a_1\times r-\frac{3}{2}\times a_1^2+\frac{1}{r}\times a_1^3\right)\times X;\qquad(7)$$

Скорость роста клеток на участке:

$$V=\frac{dW_{\text{объем}}}{dt}=\frac{X^3}{r}+\left(\frac{3}{r}\times a_1-\frac{3}{2}\right)X^2+$$
$$+\left(\frac{3}{r}\times a_1^2+\frac{r}{2}-3a_1\right)X+\frac{1}{2}\times a_1\times r-\frac{3}{2}\times a_1^2+$$
$$+\frac{1}{r}\times a_1^3.\qquad(8)$$

И ускорение роста клеток на участке:

$$a=\frac{dV}{dt}=3\frac{X^2}{r}+\left(\frac{6}{r}\times a_1-3\right)X+$$
$$+\frac{3}{r}\times a_1^2+\frac{r}{2}-3a_1.\qquad(9)$$

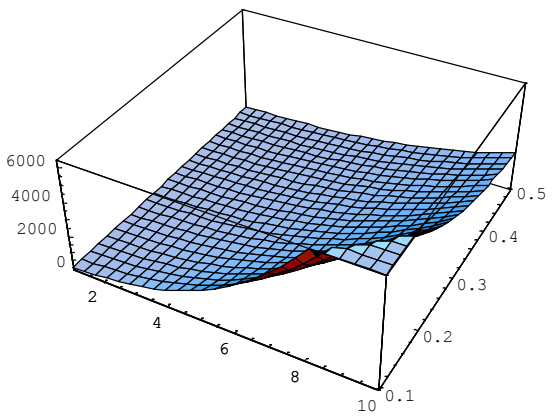


Рис. 2. График №1 скорости роста объема клеток на участке с количеством делянок n 2 – 10, при росте линейного размера клеток r 0,1-0,5

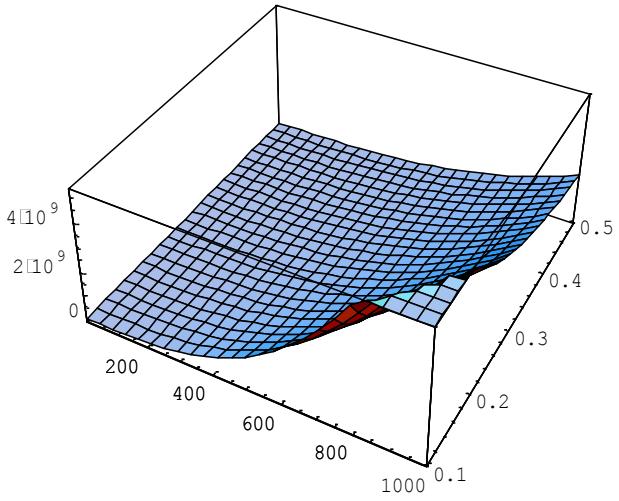


Рис. 3. График №2 скорости роста объема клеток на участке с количеством делянок n 200 – 1000, при росте линейного размера клеток r 0,1-0,5

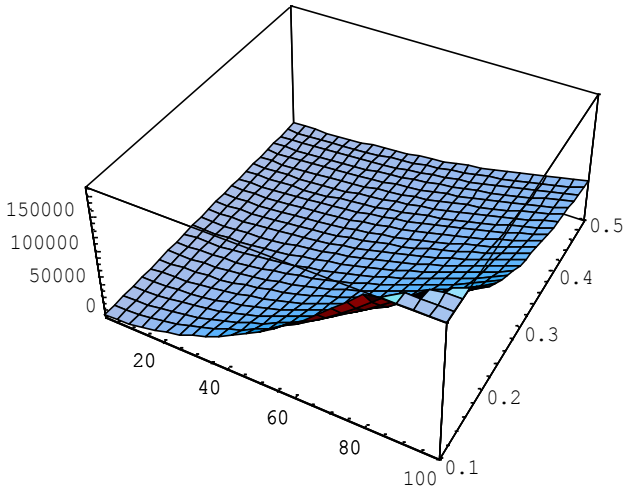


Рис. 4. График №3 ускорения роста клеток при количестве делянок n 20 – 100 , при росте линейного размера клеток r 0,1-0,5

Практические расчеты, примеры из окружающего мира

Возьмем данные из практики.

Случай №1. Рассмотрим прорастание семян пастернака [3].

По данным [3] при температуре 3°С рост зародышей семян пастернака по серии 30-дневного роста составляет 0,08-0,09 мм/сут. Расчеты по формулам (1) – (9) приведены на графиках рис. 5, 6.

Случай №2. Амеба. Температура выше 20°С Амеба делится один раз в сутки [4]. «Высаживаем» по 10 амеб в час (r=10). Через сутки: n=240, r=10.

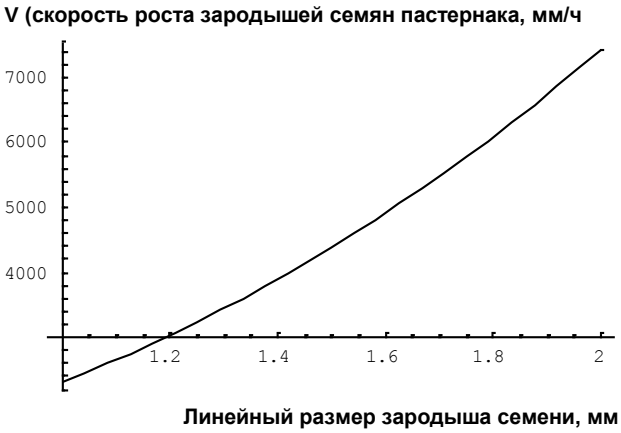


Рис. 5. График №4 скорости роста зародышей семян пастернака на участке, мм/час

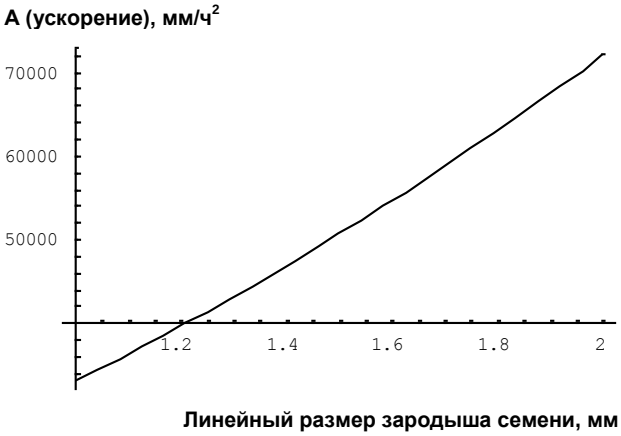


Рис. 6. График №5 ускорения роста зародышей семян пастернака на участке, мм/ч^2

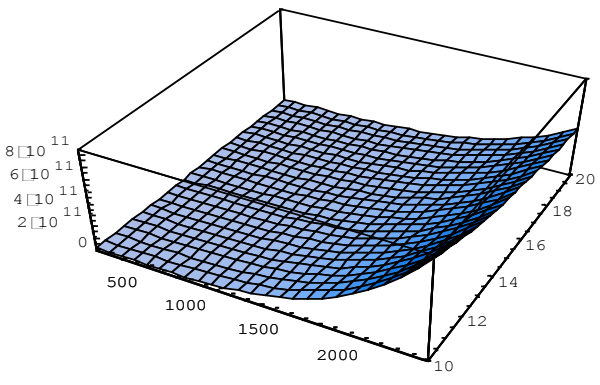


Рис. 7. График №6 роста объема амеб за сутки, r 10 – 20; X 0-2400

Случай №3. Нестандартные участки роста клеток.

Решения уравнения роста скорости клеток (8) имеют нестандартный участок от x=-0,5 до x=-0,4, где скорость меняет знак трижды

(рис. 8). На взгляд автора, это неизбежно приведет к акустическому излучению в районе исследуемого участка.

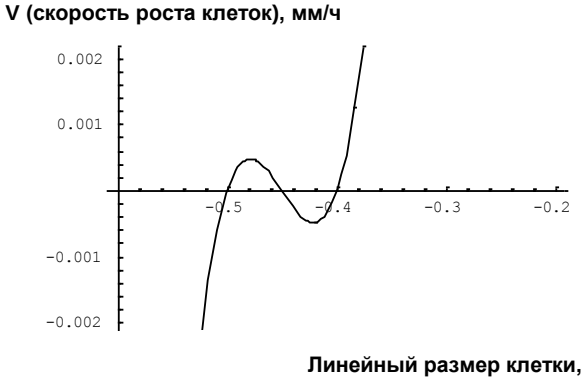


Рис. 8. Скорость роста клеток на участке, мм/ч

Если на участке n=100, то x=-0,5 соответствует r=-0,005 мм, то есть происходит уменьшение размера семени на r за час, для n=10000 это x=-0,00005 мм/ч – вполне реальная цифра. Аналогично решается уравнение (9) для ускорения.

Выводы и обсуждения

Статья имеет обзорный характер и нисколько не претендует на анализ биологии и физиологии реальных клеток, например не рассматривается вероятностный подход.

Однако автор вводит дискретность в анализ роста каждой клетки и этим, как он считает, приближается к действительности.

Динамические параметры роста клеток (скорость, ускорение и т.д.) изменяются по нелинейным законам, имеются максимумы и минимумы, по не только по физиологическим законам, но и по математическим. Также скорость и ускорение роста клеток имеют математические максимумы и минимумы.

Нестандартные участки роста могут физически прbводить к излучениям и (или) сигнализации в живом мире.

Литература

1. *Иост Л.* Физиология растений. С-Пб.: Изд-во А.Ф, Диверина, 1914.
2. *Доспехов А.А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985.
3. *Бухаров А.Ф.* Биология развития и прорастания семян пастернака / А.Ф. Бухаров, Д.Н. Балеев. – Оренбург: Изд-во Оренбургского госагроуниверситета, 2013.
4. *Пехов А.П.* Биология с основами экологии: Учебник. С-Пб.: Изд-во “Лань”, 2000.

Сведения об авторе:

Собченко Юрий Александрович – научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия,
e-mail: yuri217@rambler.ru.

MATHEMATICAL FEATURES OF GROWTH OF CAGES

Yu. Sobchenko

The article discusses the growth of cells (seeds, grains, and so forth) on a linear plot. Investigates the velocity and acceleration of growth of seeds in general (for cells this is the body or authority functioning independently). For linear cell growth is determined by the mathematical features of the velocity and acceleration of cell growth on the site (in the body) as a whole. Attention is drawn to the irregular changes of speed and acceleration in some cases.

Keywords: cage, growth of a cage, seed germ, cage growth rate, allotment.

References

1. Iost L. Fiziologija rastenij [Plant Physiology], S-Pb., A.F. Devrien Publishing House, 1914. (In Russian)
2. Dospechov A.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of field experiment]. Moscow, Agropromizdat, 1985. (In Russian)
3. Bukharov A.F., Baleev D.N. Biologija razvitija i prorastanija semjan pasternaka [Biology of development and germination Pasternak seeds]. Orenburg, Orenburg state agrarian University, 2013. (In Russian)
4. Pekhov A. P. Biologija s osnovami jekologii [Biology with basics of ecology]. S-Pb., "Lan’" Publishing House, 2000. (In Russian)

Author:
Yu. Sobchenko – research associate,
e-mail: yuri217@rambler.ru,
Federal scientific agro-engineering center VIM, Moscow, Russia.

• **For citation:** Sobchenko Yu.A. Mathematical features of growth of cages. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 98-101. (In Russian)

УДК 631.243.3

СОСТОЯНИЕ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕХАНИЗАЦИИ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ

Ю.Н. Смолянинов
Дальневосточный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ФГБНУ ДальНИИМЭСХ), г. Благовещенск, Россия

В статье обоснована необходимость коренных изменений технологического и технического обеспечения отрасли послеуборочной обработки, сушки и хранения зерна. Определены направления совершенствования технологии послеуборочной обработки зерновых культур и сои. Разработана структурная схема выполнения технологических процессов, которая позволяет применять гибкие технологии с учетом состояния поступающего с поля зернового вороха и требований к качеству конечного продукта.

Ключевые слова: *зерновые культуры, соя, сушка зерна, послеуборочная обработка зерна, хранение зерна.*

Статья поступила в редакцию 31.05.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Смолянинов Ю.Н. Состояние и пути совершенствования механизации послеуборочной обработки зерна в Дальневосточном регионе // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 102-106.

Введение. Сегодня одним из показателей развития АПК считается увеличение парка тракторов, комбайнов, шлейфа полевых машин и орудий. В то же время практически не уделяется внимания завершающей стадии технологического процесса – послеуборочной обработке, сушке и хранению зерна. Несоблюдение пропорциональности при технической модернизации хозяйств, когда производительность пунктов послеуборочной обработки отстает от уровня уборочной техники, имеет самые негативные последствия в сохранности уже убранного урожая: потери ежегодно составляют до 8-12% зерна и сои.

Постановка проблемы. Принимаемые правительством меры по машинно-технологической модернизации сельского хозяйства обеспечили устойчивое увеличение посевных площадей Дальневосточного региона. Соответственно возросли объемы производства: по зерновым культурам – на 174%, по сое – на 235%. Существующая же база зерновых дворов, более чем на 90% находящаяся за пределами амортизационных сроков, не обеспечивает качественную послеуборочную обработку возросшего потока зерна и подготовку семян. Длительная эксплуатация машин и оборудования привела к их значительному износу и старению. В результате этого машины часто выходят из строя в процессе эксплуатации, а если и работают, то, как правило, с большими нарушениями требований технологии. Некоторые хозяйства для улучшения технической базы зерновых дворов используют демонтированные и бывшие в использовании машины и механизмы.

По данным семенных инспекций, до 45 % зерновых культур и более 20 % сои высевается некондиционными семенами. Из-за этого хозяйства теряют с каждого гектара по 2-3 центнера зерновых и по 2 центнера сои, всего на сумму более 5,8 млрд. рублей. Эти убытки невозможно компенсировать обновлением парка тракторов, комбайнов или посевных комплексов.

Проведенный анализ существующих поточных линий и технических средств в хозяйствах Дальневосточного региона показывает, что технологии очистки сои и зерновых культур и подработки семян не отвечают уровню современных требований. Кроме того, применяемые технологии на существующих типовых поточных линиях не учитывают климатических особенностей региона, когда уборка ведется в неблагоприятных погодных условиях и зерновой ворох имеет высокую влажность. Поступающее

с поля зерно имеет влажность 23-26%, а иногда достигает 30% и более, поэтому все операции по очистке и сушке зерна необходимо выполнять не позднее суток после уборки. Технологические поточные линии имеют большую протяженность и не позволяют использовать короткие потоки, что особенно актуально при очистке семян сои, которая по своим физико-механическим свойствам и засорённости существенно отличается от зерновых культур.

Произошли значительные перемены в структуре сельхозтоваропроизводителей. С образованием различных категорий хозяйств произошли изменения в размерах посевных площадей и объемах производства зерна. Соответственно изменились требования к формированию технической и технологической базы послеуборочной обработки, сушки и хранения зерна. Если для фермерских хозяйств в большинстве своем требуются мобильные универсальные машины, с возможностью быстрого переналаживания на выполнение операций в течение суток, то для сельхозтоваропроизводителей с большим суточным поступлением зерна на обработку необходим комплекс машин, обеспечивающий за один цикл получение зерна и семян высоких кондиций.

В структуре посевных площадей Дальнего Востока преобладают соя, зерновые и колосовые культуры. Так как период между окончанием уборки зерновых культур и началом уборки сои составляет более месяца, послеуборочную обработку зернового и соевого вороха целесообразно проводить на универсальных поточных линиях. Технология послеуборочной обработки зерна и семян в каждом конкретном хозяйстве зависит от многих факторов: состояние поступающего от комбайнов исходного материала, назначение и требуемое качество конечного продукта, набор культур, климатические условия, трудовые ресурсы и др.

Среди основных факторов определяющее значение при выборе технологии имеет уровень материальной (финансовой) обеспеченности хозяйства. Этим фактором определяется возможность использования «полных» технологий, позволяющих достигать лучшего качества конечного продукта в оптимальное время.

Особое внимание необходимо обратить на подготовку семян. Обработка зерна и сои на зерноочистительных машинах или агрегатах сопровождается уменьшением засоренности, а травмированность увеличивается, что вызывает снижения качества семян, особенно полевой всхожести.

Поступающий от зерноуборочных комбайнов семенной материал по содержанию и характеристике примесей не одинаков для различных зон, хозяйств и даже отдельных полей. Не во всех случаях для достижения необходимых кондиций по чистоте семян требуется использование всех операций поточной технологии сепарирования [1]. Например в ряде хозяйств, где семенной материал не содержит длинных примесей в количествах, необходимых для их выделения, триер не используется.

В таких условиях применяют упрощенные технологические схемы очистки семян, содержащие только отдельные операции. Однако в большинстве случаев приходится использовать все операции, так как компоновка сепараторов и транспортирующего оборудования не позволяет исключить выполнение отдельных операций. При этом не обеспечивается обязательная последовательность технологических операций, что приводит к неизбежным потерям и снижению качества семян. Кроме того, в хозяйствах с недостаточным количеством зерноочистительных агрегатов или с малой их производительностью, семена подвергаются многократной обработке, что также приводит к снижению качества.

Экономический анализ показывает, что значительная доля затрат на обработку зерна и подготовку семян на агрегатах и комплексах приходится на амортизационные и ремонтные отчисления. Поэтому одним из направлений уменьшения себестоимости обработки зернового материала является снижение объема строительно-монтажных работ и стоимость оборудования.

Основные научные подходы к решению проблемы. Обобщение материалов научно-исследовательских разработок предыдущих лет и практического опыта позволили сформулировать основные научные подходы и направления совершенствования технологии послеуборочной обработки зерновых культур и сои:

1. Полная механизация всего технологического процесса с доведением зернового материала до требуемых кондиций за один пропуск. Высокая приспособленность к поточной обработке зернового вороха повышенной влажности и засоренности за один технологический проход до кондиционного качества позволит снизить механическое воздействие рабочих и транспор-

тирующих органов на зерновки, что существенно уменьшит травмирование семян;

2. Применение компенсирующих бункеров для временного хранения в составе поточных линий позволяет обеспечивать равномерную загрузку оборудования в течение суток и компенсирует влияние большого количества факторов, которые приводят к нарушению технологического процесса (например, снижение производительности при поступлении влажного и засорённого зерна). В ночной период, когда прекращается поступление зернового вороха с поля, накопительные емкости обеспечивают резерв зернового материала в ночную смену зерносушилки и зерноочистительных машин. Отсутствие жёсткой связи в линии позволяет в полной мере учитывать состояние поступающего на обработку зернового вороха и требования к качеству конечного продукта;

3. Использование зерносушилки в сочетании с вентилируемыми бункерами. Это позволяет применять двухэтапную сушку зерна, когда недосушенное на 2-3% зерно выгружают в вентилируемые бункера и после отлежки проводят его охлаждение, снимая дополнительно 2-3% влажности. Это позволяет снизить топливоэнергетические затраты и увеличить производительность сушильного оборудования;

4. Снижение травмирования семян за счет рациональных компоновочных решений. Блочно-модульное конструирование – наиболее прогрессивный и современный метод унификации в машиностроении, состоящий в компоновке машин из отдельных стандартных и типовых частей – модулей в сочетании со специализированными машинами и транспортирующими устройствами, обеспечивающими выполнение технологических операций. Зерноочистительные машины размещены на блоке бункеров, который одновременно является несущей конструкцией технологического оборудования и емкостью для промежуточного хранения фракций очистки. Рациональная расстановка и каскадное расположение оборудования позволяет снизить динамическое воздействие на зерно и его травмирование за счет уменьшения количества транспортирующих средств. Это особенно актуально при послеуборочной обработке сои;

5. Использование гибких технологических потоков, что обеспечивает снижение удельных затрат на послеуборочной обработке зерна и сои. Разработана структурная схема КЗС (рис.1), которая, в зависимости от состояния поступающего вороха (влажность и засоренность), позволяет использовать поточную и поточно-периодическую технологии, а в зависимости от требований к качеству конечного продукта (фураж, продовольственное зерно, семена), производить выбор технологических процессов в различных вариантах (рис. 2);

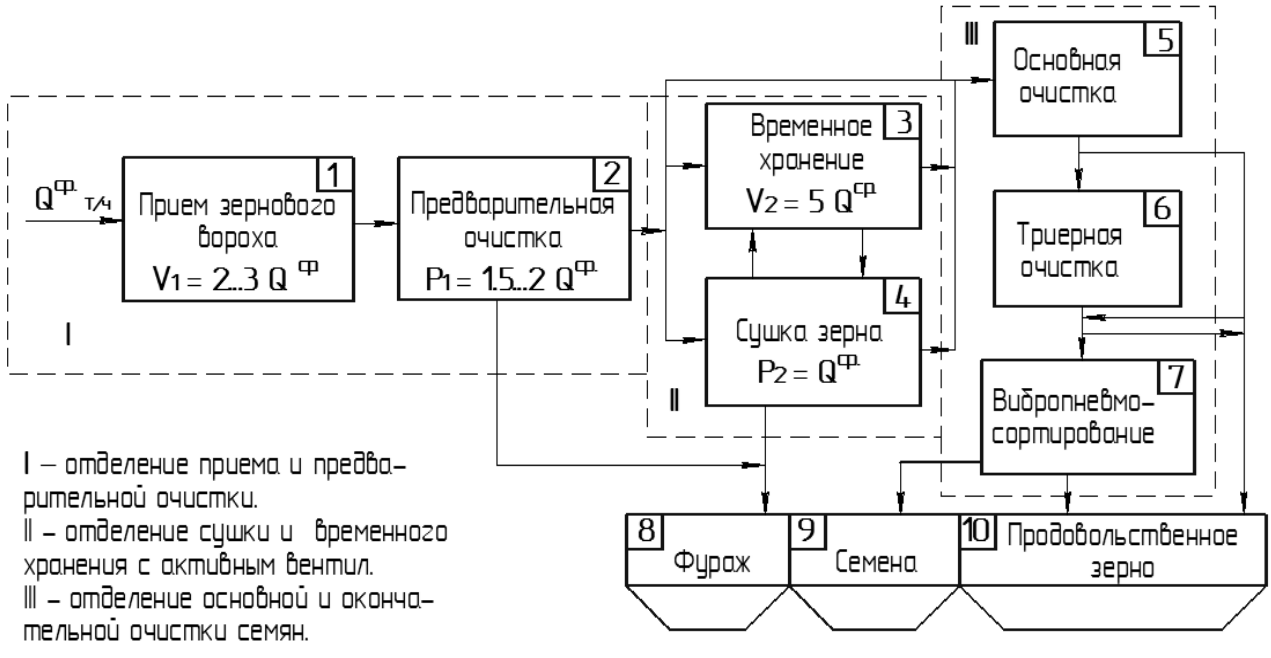


Рис. 1. Структурная схема КЗС

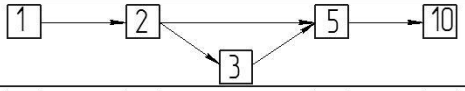
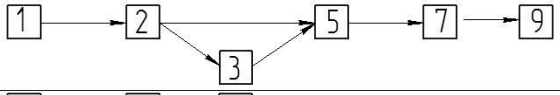
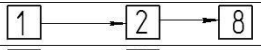
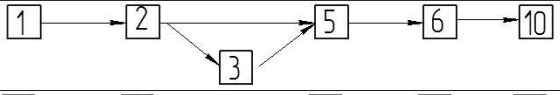
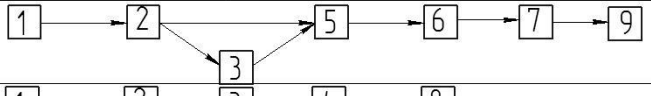
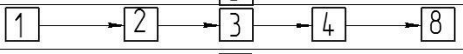
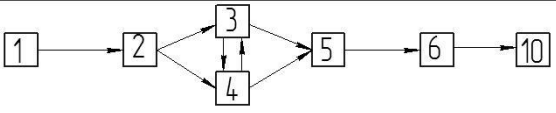
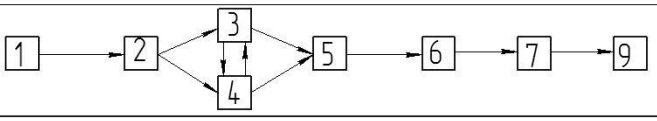
Исходный материал	Варианты	Схемы технологических потоков	Конечный продукт
Соевый ворох	I		Товарная соя
	II		Семена
Зерновой ворох сухой ≤ 16 %	III		Фуражное зерно
	IV		Товарное зерно
	V		Семена
Зерновой ворох влажный	VI		Фуражное зерно
	VII		Товарное зерно
	VIII		Семена

Рис. 2. Схема технологических процессов

6. Снижение сроков строительно-монтажных работ и их стоимости. Зерноочистительно-сушильный пункт сконструирован на модульном принципе, что обеспечивает быстрый его монтаж. Размеры блоков, где устанавливаются сепарирующие машины, имеют одинаковые габаритные и присоединительные размеры. Высокая заводская готовность элементов и конструкций позволяет обеспечить быстрые сроки строительства (1,5-2 месяца) и снизить сметную стоимость;

7. Возможность поэтапного строительства с вводом отдельных блоков и модулей, что снижает одновременную финансовую нагрузку на хозяйство и сокращает срок окупаемости объекта. Каждый из комплексных проектов, разработанных на основе блочно-модульного зерноочистительно-сушильного пункта, представляет собой открытую систему, которая способна технически обновляться и совершенствоваться, т.е. развиваться вместе с самим предприятием и его экономикой по производительности и назначению обрабатываемого продукта путём простого добавления модулей или замены оборудования на более производительное;

8. Улучшить условия и привлекательность труда, что способствует закреплению высококвалифицированных кадров. Значительное место при создании перспективной технической базы должно уделяться эргономике. Нежелание работать на устаревшем оборудовании в тяжёлых производственных условиях (большая запылённость, вибрации, шум, сквозняки, особенно при подработке сои) приводит к оттоку квалифицированных кадров.

Использование гибких технологий в соответствии со схемой технологических процессов, применение накопительных емкостей и двухэтапной сушки зерна позволяет повысить производительность поточной линии на 20-30% и снизить топливно-энергетические затраты на 15-20% [2].

Литература

1. *Пилипюк В.Л.* Технология хранения зерна и семян: учебное пособие. – М.: Вузовский учебник, 2009. С. 457.
2. *Тильба В.А.* Технологии и комплекс машин для производства зерновых культур и сои в Амурской области / В.А. Тильба, В.Т. Синеговская, А.Н Панасюк [и др.] – Благовещенск: Изд-во: ООО «Агромакс-Информ», 2011. С. 90-100.

Сведения об авторе:

Смолянинов Юрий Николаевич – научный сотрудник, ФГБНУ Дальневосточный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ФГБНУ ДальНИИМЭСХ), г. Благовещенск, Россия,
e-mail: dalniimesh@gmail.com

STATE AND WAYS OF IMPROVEMENT OF MECHANIZATION OF POSTHARVEST PROCESSING OF GRAIN IN THE FAR EAST REGION

Yu. Smolyaninov

In article the need of basic changes of technological and technical support of branch of postharvest processing, drying and storage of grain is proved. The directions of improvement of technology of postharvest processing of grain crops and soy are defined. The block diagram of performance of technological processes which allows to apply flexible technologies taking into account a condition of the grain lots arriving from the field and requirements to quality of the final product is developed.

Keywords: grain crops, soy, grain drying, postharvest processing of grain, grain storage**.**

References

1. Pilipyuk V.L. Tehnologija hranenija zerna i semjan: uchebnoe posobie. Vuzovskij uchebnik [Technology of storage of grain and seeds]: manual. – Moscow, Vuzovskij uchebnik, 2009. P. 457. (In Russian)
2. Tilba V.A., Sinegovskaya V.T., Panasyuk A.N., etc. Tehnologii i kompleks mashin dlja proizvodstva zernovyh kul'tur i soi v Amurskoj oblasti [Technologies and a complex of cars for production of grain crops and soy in the Amur region]. – Blagoveshchensk: Publishing house: LLC Agromaks-Inform, 2011. P. 90-100. (In Russian)

Author:

Yu. Smolyaninov – research associate,

The Far East research institute of mechanization and electrification of agriculture (FGBN DALNIIMESKH), Blagoveshchensk, Russia,

e-mail: dalniimesh@gmail.com.

• **For citation:** Smolyaninov Yu.N. State and ways of improvement of mechanization of postharvest processing of grain in the Far East region. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 102-106. (In Russian)

УДК 631.331.022

АГРЕГАТ ДЛЯ УБОРКИ ПЛОДОВ СЕМЕЧКОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А.Н. Юрин[1], В.П. Чеботарев[2], А.Д. Чечеткин[2], А.В. Горный[2], А.А. Зенов[2]
[1] РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
[2] УО « Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

Наиболее трудоемким процессом в производстве плодов семечковых и косточковых культур является уборка, затраты на нее составляют 40 – 60 % всех трудозатрат. В статье дано описание механизированной уборки плодов семечковых культур с помощью агрегата самоходного универсального с поточным контейнеровозом АСУ-6. Агрегат позволяет повысить производительность труда при уборке плодов в 2,5–3,5 раза и в 5–6 раз при обрезке деревьев. На агрегате имеется оборудование для уборки плодов, включающее горизонтальный и вертикальный конвейеры, лотки и поворотный стол. Агрегат обслуживают 6 рабочих. Рабочие на задних подножках, оборудованных устройством подъема, осуществляют сбор плодов с верхнего яруса деревьев. Сборщики на передних подножках осуществляют сбор плодов со среднего яруса деревьев, рабочие в междурядье перед агрегатом – с нижнего яруса. Собранные плоды укладываются в лотки на ленты, которые транспортируют их на горизонтальный конвейер. Горизонтальный конвейер перемещает плоды на вертикальный конвейер, который укладывает их в контейнер, установленный на поворотном столе. После заполнения контейнера плодами оператор самоходного агрегата останавливает вращение контейнера и опускает его в междурядие сада. Рабочие, находящиеся в междурядии сада, устанавливают пустой контейнер с контейнеровоза на поворотный стол агрегата и цикл работы повторяется. Контейнеры с плодами, оставленные в междурядьях сада, транспортируют в хранилище с помощью универсальных транспортировщиков контейнеров. Необходима разработка соответствующих средств механизации для транспортировки заполненных контейнеров в хранилища.

Ключевые слова: *плодоводство, плодово-ягодные культуры, съем плодов, плодоуборочные платформы, агрегат для уборки плодов.*

Статья поступила в редакцию 01.06.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Юрин А.Н., Чеботарев В.П., Чечеткин А.Д., Горный А.В., Зенов А.А. Агрегат для уборки плодов семечковых культур в условиях Республики Беларусь // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 107-112.

В обеспечении населения республики продуктами питания особое место отводится плодоводству. В соответствии с нормами рационального питания каждый человек должен потреблять в год 98,6 кг плодов и ягод, без учета цитрусовых. В настоящее время душевое потребление плодов и ягод отечественного производства составляет около 60 кг, общее потребление около 60 кг (среднее за 5 лет). При этом общее потребление плодово-ягодной продукции в год на одного человека в США – 127 кг, Франции – 135 кг, Германии – 126 кг, Италии – 187 кг.

В 2016 г. в хозяйствах всех категорий республики объемы производства плодов и ягод составили около 590 тыс. тонн [1].

Незначительное производство фруктов сельскохозяйственными предприятиями обусловлено тем, что в большинстве сады по возрастному составу прошли период полноценного плодоношения (70 % яблонь и 55 % груш имеют возраст более 20 лет), 50 % плодовых культур отнесены по качеству к низкому и очень низкому бонитету. Неудовлетворительным является породно-сортовой состав насаждений. В садах яблони сортов антоновка, пепин шафранный, штрифель, белый налив занимают 60 % площадей и их плоды имеют короткие сроки хранения. В этой связи урожай плодов и ягод оказывается невысокого качества. В результате республика вынуждена импортировать свежую плодово-ягодную продукцию от 30 до 60 тыс. тонн/год.

В то же время в республике проводится работа по развитию плодоводства: создана сеть питомниководческих организаций, занимающихся выращиванием посадочного материала плодово-ягодных культур, обеспечен необходимый объем производства саженцев плодовых культур,

проводится закладка новых садов, раскорчевываются и обновляются сады низкого бонитета.

В настоящий момент в стране имеются интенсивные насаждения на сельскохозяйственных предприятиях с различным уровнем специализации на плодоводстве. Их площадь составляет 19 тыс. га (14,1 тыс. га садов (из которых более 12 тыс. га – яблони и груши) и 4,9 тыс. га ягодников, при среднем размере сада на хозяйство 105 га). Основное назначение данных хозяйств заключается в индустриальном производстве плодов и ягод, их хранении, промышленной переработке и формировании экспортного потенциала. По прогнозным оценкам, производство плодов и ягод здесь может возрасти до 164 тыс. т [2]. В перспективе эти предприятия будут основными производителями плодов и ягод в республике.

К сожалению, уровень механизации работ при возделывании данных садов остается невысоким, что отрицательно сказывается на урожайности возделываемых культур, качестве урожая и его себестоимости. Наиболее трудоемкий процесс в производстве плодов семечковых и косточковых культур – уборка, затраты на которую составляют 40 – 60 % всех трудозатрат.

До настоящего времени эти технологические операции выполнялись вручную. Для сбора плодов использовались плодосборные сумки с отстегивающимся дном емкостью 8 и 12 кг. Однако такая технология уборки требует больших затрат труда, которые составляют 140 – 210 чел. ч/га при урожайности 20 – 30 т/га, или 2,94 – 4,41 млн. чел.· ч. по республике. На оплату этой работы потребуется 9 – 13 млрд. руб.

Существует два способа съема плодов и ягод: ручной и механизированный. При ручном сборе плоды семечковых культур снимают осторожно, вместе с плодоножкой, чтобы на плодах не было вмятин и сохранялся восковой налет. Съем плодов начинают с нижних ветвей и с периферии кроны дерева, передвигаясь к верхним ветвям и внутрь кроны. Сначала снимают плоды, которые можно достать с земли, а затем, стоя на столах, различных лестницах и платформах, применяемых при обрезке деревьев. Плоды аккуратно перевозят в корзинах на рессорных линейках или автомашинах и помещают под навес, где их сортируют и упаковывают. Иногда при сборе плоды ссыпают в большие ящики, которые перевозят специальными машинами в холодильник, а затем сортируют. Плоды косточковых культур (вишня, черешня, слива) собирают вместе с плодоножкой, которую остригают ножницами.

Таблица 1

Техническая характеристика агрегата АСУ-6

Тип агрегата	Самоходный
Двигатель: – тип – мощность при номинальных оборотах 3600 мин-1, не менее	 Одно-цилиндровый 9,55
Рабочая скорость движения, км/ч; не более – переднего хода: – I передача – II передача – заднего хода	 2,6 5,1 2,46
Количество обслуживающего персонала; чел.: – на обрезке – на уборке	 4 6
Масса агрегата (конструктивная), кг, не более: в т.ч.: – самоходной части – прицепной части	3600 3000 600
Габаритные размеры агрегата, мм, не более: – длина – ширина: – в рабочем положении – в транспортном положении – высота	 9050 от 2380 до 3600 2380 2846
Производительность рабочего: – на обрезке, шт. деревьев за 1 час сменного времени – на уборке, кг плодов за 1 час сменного времени	 3–8 250–350
Полнота сбора плодов, %, не менее	97
Количество подручной падалицы, %, не более	3
Количество сломанных плодовых образований, %, не более	5
Количество поломок приростов на одно дерево, шт.: – однолетних, не более – двухлетних, не более	 10 5
Удельный расход топлива: при уборке, кг/т, не более при обрезке, кг/шт., не более	 1,4 0,1

При ручном способе уборки урожая применяют садовый инвентарь (лестницы, подставки, корзинки-столбушки и т.п.) или подъемные площадки различного типа (самоходные, навесные на трактор и т.п.). Подъемные машины (вышки) облегчают сбор плодов с дерева, но не изменяют ручной характер съема. Производительность работы сборщика повышается (на 25-40%), труд облегчается, но значительного экономического эффекта не получается.

Механизированный способ заключается в стряхивании плодов с дерева или куста вибраторами и пневматическими встряхивателями на подставленные полотнища (брезентовые или др.). На полотнища стряхивают плоды с плотной оболочкой (орехи, миндаль, некоторые сор-

та яблок) и плоды, идущие сразу на техническую переработку. При вибрационном способе уборки плодов производительность труда повышается в 3-4 раза, но часть плодов остается на дереве и их приходится убирать вручную.

Плоды, предназначенные для переработки, убирают машинами ВСО-25 «Стрела», ПСМ-55, ВУМ-15А, ЭЯМ-200-8, МПУ-1А. Комбайн МПУ-1А производит встряхивание, улавливание, очистку и затаривание плодов в контейнеры. Для облегчения съема плодов со среднего и верхнего ярусов деревьев используют плодоуборочные платформы ПКО и ПОС-5, для перевозки – платформы-контейнеровозы ПТ-3,5 и ВУК-3.

Для механизации уборки плодов семечковых культур и обрезки деревьев в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан агрегат самоходный универсальный с поточным контейнеровозом АСУ-6, позволяющий повысить производительность труда при уборке плодов в 2,5–3,5 раза и в 5–6 раз при обрезке (рис. 1). Техническая характеристика агрегата приведена в табл. 1.

а

б

в

г

Рис. 1. Агрегат самоходный универсальный с поточным контейнеровозом для сбора плодов и формирования кроны семечковых культур АСУ–6:
а – вид спереди; б – вид сзади сбоку; в, г – уборка плодов посредством агрегата

Для выполнения технологической операции сбора плодов на агрегате имеется оборудование для уборки плодов, включающее горизонтальный и вертикальный конвейеры, лотки и поворотный стол. Сбор плодов осуществляют шесть рабочих, из которых четверо находятся на подножках, а двое в междурядье сада спереди агрегата. Рабочие, находящиеся на задних подножках, оборудованных устройством подъема, осуществляют сбор плодов с верхнего яруса деревьев. Сборщики, расположенные на передних подножках осуществляют сбор плодов со среднего яруса деревьев, а находящиеся в междурядье – с нижнего яруса.

Собранные плоды укладываются в лотки на ленты, которые транспортируют их на конвейер (горизонтальный). Горизонтальный конвейер перемещает плоды на вертикальный конвейер, который в свою очередь укладывает их в контейнер, установленный на поворотном столе. Сбор плодов продолжается до заполнения контейнера, после чего прерывается на время смены контейнера. Во время работы оператор агрегата должен следить за уровнем плодов в контейнере и своевременно поднимать вертикальный конвейер посредством пульта управления.

После заполнения контейнера плодами оператор самоходного агрегата останавливает вращение контейнера и опускает его в междурядие сада (рис. 2 и 3). После этого рабочие, находящиеся в междурядие сада, устанавливают пустой контейнер с контейнеровоза на поворотный стол агрегата. Затем цикл работы повторяется.

Учитывая большую производительность труда агрегата (1,2–1,5 т/ч), технологический процесс работы данного агрегата предусматривает оставление контейнеров, заполненных плодами, в междурядьях сада, из которого их необходимо транспортировать в хранилище.

Рис. 2. Спуск заполненного плодами контейнера

Рис. 3. Установка пустого контейнера

Рис. 4. Универсальный транспортировщик контейнеров Carro raccolta bins фирмы «Romani Roberto», Италия

Опыт работы в садах РУП «Институт плодоводства», РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси», СПК имени В.И. Кремко и Агрокомбината «Ждановичи» показал низкую эффективность применения для данного вида работ самоходных или монтируемых на трактор погрузчиков.

В то же время известны универсальные транспортировщики контейнеров, предназначенные для сбора и погрузки заполненных контейнеров с плодами в междурядьях садов, их транспортировки к месту хранения и разгрузки (аналог универсального транспортировщика фирмы «Romani Roberto» (Италия), рис. 4).

Такие машины позволяют работать в узких междурядьях сада с шириной не менее 3,5 м, осуществлять самозагрузку и транспортирование 4-5 заполненных плодами контейнеров.

Применение таких машин позволит в 4–5 раз повысить производительность труда при транспортировке заполненных плодами контейнеров.

Таким образом, актуальным в настоящее время является создание в республике универсального транспортировщика контейнеров, обеспечивающего производительности труда при транспортировке контейнеров на хранение в 4–5 раз.

В нашей республике яблоки убирают преимущественно по технологии, внедрённой ВНИИ садоводства (ВНИИС). Производственный процесс включает подвоз тары, уборку плодов — яблок, вывоз их из сада и разгрузку на пункте доработки. При этом применяются платформы с выдвижными площадками и уборочно-транспортные прицепы, лестницы, используют плодосборную тару с раскрывающимся дном и прицепы с погрузчиками. Плодосборная тара размещается на платформе или прицепе. Съемную уборочную платформу монтируют на тракторных прицепах. Плоды собирают одновременно с двух смежных рядов, что увеличивает производительность труда в полтора-два раза.

Существуют и другие уборочные средства. Например многоместная платформа ПОС-0,5 для проведения ручного сбора косточковых и семечковых плодов в садах с шириной междурядий 3,5-6 м. Производительность составляет 441 кг/ч, обслуживают платформу шесть сборщиков.

В садах с объемными кронами с шириной междурядий 6-8 метров для организации ручного сбора семечковых плодов используют платформу многоместную ПКО-0,7. С каждой стороны платформы расположено по пять выдвижных площадок длиной 1650 мм. На платформе размещают семь контейнеров. Производительность составляет 814 кг/ч. Для механизированной уборки косточковых плодов используют следующие машины: ВУМ-15, ВСО-25 «Стрела», ВУМ-15А.

Товарная обработка плодов включает сортировку по качеству, калибровку по размерам в пределах товарных сортов, упаковку в ящики, маркировку и взвешивание.

Для уменьшения травмирования плодов при транспортировке их упаковывают в ящики тремя способами: пряморядным, шахматным и диагональным. При пряморядном способе плоды располагают в рядах плотно друг к другу и строго один напротив другого. При шахматном способе плоды в ряду примыкают один к другому, но второй ряд смещен так, чтобы плоды его располагались между плодами первого ряда. При диагональном способе между плодами в рядах оставляют промежутки в 1-2 см, а плоды соседних рядов погружаются при укладке в эти промежутки.

В крупных хозяйствах для механизации работ по товарной обработке плодов применяют линии товарной обработки ЛТО-3, ЛТО-3А, ЛТО-6, на которых 15-25 рабочих за смену отсортировывают, откалибровывают и упаковывают до 20 т плодов. Сортируют и калибруют плоды также на линиях АСК-2, СКЯ-3 и передвижном плодоупаковочном агрегате АПП-1,5.

Выводы

1. В настоящее время во всех хозяйствах республики имеется 104,5 тыс. гектаров плодово-ягодных насаждений, из которых только 19 тыс. га относятся к садам интенсивного типа, предназначенным для индустриального производства плодов и ягод, их хранения, промышленной переработки и формирования экспортного потенциала. Продукция остальных садов используется в основном для удовлетворения внутрихозяйственных нужд, переработки и самообеспечения населения плодами и ягодами в летне-осенний период.

2. Объем производства плодоягодной продукции в Беларуси составляет около 590 тыс. тонн (в 2016 г.), однако невысокого качества в связи с неудовлетворительным сортовым и возрастным составом садов, в связи с чем республика вынуждена импортировать свежую плодово-ягодную продукцию в размере 60 тыс. тонн.

3. Сложившаяся ситуация в садоводстве привела к тому, что в настоящее время душевое потребление плодов и ягод составляет около 60 кг (не менее 98,6 кг по медицинским нормам) из них отечественного производства – только 20 кг.

4. В республике разработаны средства механизации уборки плодов семечковых культур, позволяющие повысить производительность рабочего при уборке в 2,5–3,5 раза, однако необходима разработка средств механизации для транспортировки заполненных контейнеров с плодами из междурядий сада в хранилища.

Литература

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: Статистический сборник. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2016. – 364 с.
2. Государственная комплексная программа развития картофелеводства, овощеводства и плодоводства в 2011–2015 гг.
3. *Юрин А.Н.* Агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев в садах интенсивного типа / А.Н. Юрин, А.А. Лях, В.М. Резвинский, А.Д. Кузнецов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематич. сб. в 2 т. Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2013. Вып. 47. Т.1. С.218–224.

Сведения об авторах:

Юрин Антон Николаевич – канд. техн. наук, доцент, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Р. Беларусь;
Чеботарев Валерий Петрович – доктор техн. наук, доцент, e-mail: cad.shm@bsatu.by,
Чечеткин Анатолий Дмитриевич – канд. техн. наук, доцент,
Горный Александр Владимирович – канд. сельхоз. наук, доцент,
Зенов Александр Александрович – ассистент,
УО « Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Р. Беларусь

THE UNIT FOR CLEANING OF FRUITS OF SEEDED CULTURES IN THE CONDITIONS OF REPUBLIC OF BELARUS

A.N. Yurin, V.P. Chebotaryov, A.D. Chechetkin, A.V. Gorny, A.A. Zenov

The most labor-intensive process in production of fruits of seeded cultures is cleaning, the costs make 40 – 60% of all labor costs. In article the description of the mechanized cleaning of fruits of seeded cultures by means of the unit self-propelled universal with the line ASU-6 container carrier is given. The unit allows to increase labor productivity when cleaning fruits by 2,5–3,5 times and at a scrap of trees by 5–6 times On the unit there is an equipment for cleaning of fruits which is turning on horizontal and vertical conveyors, trays and a rotary table. The unit is served by 6 workers. Workers on the back footboards equipped with the rise device carry out collecting fruits from the top tier of trees. Collectors on forward footboards carry out collecting fruits from an average tier of trees, workers in a row-spacing in front of the unit – from the lower tier. Fruits stack in trays on tapes which transport them on the horizontal conveyor. The horizontal conveyor moves fruits on the vertical conveyor which stacks them in the container installed on a rotary table. After filling of a container with fruits the operator of the self-propelled unit stops rotation of a container and lowers him in a garden row-spacing. The workers who are in garden row-spacings install an empty container from the container carrier on a rotary table of the unit and the cycle of work is repeated. The containers with fruits left in garden row-spacings transport in storage by means of universal transporters of containers. Development of appropriate means of mechanization is necessary for transportation of the filled containers in storages.

Keywords: fruit growing, fruit and berry cultures, renting of fruits, fruit-picking platforms, the unit for cleaning of fruits.

References

1. Agriculture of Republic of Belarus: Statistical collection. Minsk: National statistical committee of Republic of Belarus, 2016. – 364 ps. (In Russian)
2. The state comprehensive program of development of potato growing, vegetable growing and fruit growing in 2011-2015. (In Russian)
3. Yurin A.N., Pole A. A., Rezvinsky V.M., Kuznetsov A.D. The unit self-propelled universal ASU-6 for cleaning of fruits and cutting of trees in gardens of intensive type//Mechanization and electrification of agriculture: Interdepartmental thematic collection. In 2 t. Minsk: RUP "NPTs NAN of Belarus on Mechanization of Agriculture", 2013. Release 47. Volume 1. Page 218-224. (In Russian)

Authors:

A. Yurin – Ph.D. (Engineering), the associate professor, The research and production center of National Academy of Sciences of Belarus on mechanization of agriculture, Minsk, R. Belarus;
V. Chebotaryov – D. Sc. (Engineering), associate professor, e-mail: cad.shm@bsatu.by,
A. Chechetkin – Ph.D. (Engineering), the associate professor,
A. Gorny – Ph.D. (Agricultural sciences), the associate professor,
A. Zenov – an assistant,
Belarusian State Agricultural Technical University, Minsk, R. Belarus

• **For citation:** Yurin A.N., Chebotaryov V.P., Chechetkin A.D., Gorny A.V., Zenov A.A. The unit for cleaning of fruits of seeded cultures in the conditions of Republic Belarus**.** *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 107-112. (In Russian)

УДК 621.324

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НЕКОРНЕВОЙ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ В ТЕПЛИЧНОМ ОВОЩЕВОДСТВЕ

Г.Б. Иноземцев, А.В. Окушко
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (НУБИП Украины), г. Киев, Украина

В статье рассмотрены технологии некорневой подкормки растений питательными растворами электростатическими методами в тепличном овощеводстве. Современные средства по осуществлению и реализации таких методов (особенно некорневой подкормки), к сожалению, не являются достаточно эффективными и совершенными. Это, в первую очередь, обуславливается: недостаточным качеством нанесения рабочих жидкостей, выносом их за пределы зеленой массы, незначительным количеством осаждения их на листья, несовершенством серийного оборудования и др. Всё это определенно не позволяет получить ожидаемый результат, обуславливает значительные убытки, загрязнение окружающей среды, высокую трудоемкость и т.п. Авторы статьи предлагают электротехнологический процесс, который поможет обеспечить повышение равномерности осаждения капель питательных растворов на обеих сторонах поверхности листьев растений, уменьшение потерь растворов на 20 – 60 % и, как результат, способствовать этим повышению урожайности на 12 – 15 %.

***Ключевые слова*:** *процесс, растение, тепличное овощеводство, обработка, электростатический метод, индукционная зарядка, питательный раствор, частица.*

Статья поступила в редакцию 31.05.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Иноземцев Г.Б., Окушко А.В. Электротехнологический процесс некорневой обработки растений в тепличном овощеводстве // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 113-116.

Цель исследования – осуществление электротехнологического процесса для обеспечения эффективности и повышения качества обработки сельскохозяйственных растений в тепличном овощеводстве.

Метод исследований. Урожайность овощных культур в тепличном овощеводстве в значительной степени зависит от применения различных методов защиты растений и методов некорневой подкормки. Расчеты и научно-технические разработки показывают, что создание благоприятных условий для развития растений в закрытом грунте может увеличить урожайность на 12 – 15%.

Современные средства по осуществлению и реализации таких методов, особенно некорневой подкормки, к сожалению, не являются достаточно эффективными и совершенными. Это, в первую очередь, обуславливается: недостаточным качеством нанесения (полидисперсность распыления) рабочих жидкостей (радиус капель от 50 до 500 – 600 мкм), сносом их за пределы зеленой массы, незначительным количеством осаждения их на листья (<35 %), несовершенством серийного оборудования и др.

Все это определенно не позволяет получить ожидаемый результат, обусловливает значительные убытки (потери рабочих растворов питательных препаратов составляют 30 ... 40 %), загрязнение окружающей среды, высокую трудоемкость и т.п. Такая ситуация в значительной степени объясняется и отсутствием научно обоснованных инженерно-технологических решений, методов расчета и прогнозирования их функционирования в широком диапазоне согласно агротехнических требований.

Анализируя существующие проблемы, можно утверждать, что на фоне достаточно глубоких исследований процессов создания аэрозолей, значительной гаммы технологического оборудования (различные виды опрыскивателей, механических распылителей и т.д.), разработок, связанных с характером молекулярного взаимодействия поверхности зеленой массы с рабочими растворами, вопросами осаждения и содержание жидкостей на обеих поверхностях листьев растений с учетом вопросов смачивания, степени растекания, от состояния поверхности и др., на сегодняшний день явно недостаточно.

Экспериментальная часть. Результаты иследований. Экспериментальные исследования по некорневой подкормке овощных культур (обработка редьки, томатов, лимона и др., высаженных в ящиках и почве) с применением электростатического метода были проведены нами в лабораторных условиях на базе НУБиП Украины.

Некорневая подкормка осуществлялась за счет искусственной зарядки капель раствора в электрическом поле индукционным способом с дополнительной подачей воздуха, что способствует созданию в зоне обработки специального защитного ионизированного воздушного слоя вокруг однородного факела распыляемого раствора с заряженными частицами, близкими к монодисперсному аэрозолю, диаметром 50 – 100 мкм достаточной энергии (заряда). Применение такого типа факела при обработке обеспечивает увеличение равномерности и осаждения заряженных частиц раствора на различных поверхностях объекта.

Такой электротехнологический процесс позволит повысить коэффициент равномерности осаждения капель питательных растворов на обеих сторонах поверхности листьев растений (верхней поверхности на 20 – 50 %, нижней в 5 – 10 раз), уменьшает потерю растворов на 20 – 60 % и, как результат, способствует повышению урожайности на 12 – 15% [1, 2].

Получение таких результатов объясняется особенностями электростатического метода, который базируется на силовом взаимодействии электрического поля и самых капель питательного раствора, которые, получив электрический заряд и двигаясь в электрическом поле от распылителя (коронирующих электродов) к растению (осадительный электрод), равномерно осаждаются как на верхней, так и на нижней поверхности листьев (зеленой массы).

Зарядка частиц факела питательного раствора происходит непосредственно в электрическом поле индукционным способом напряженностью E = 0,3 – 3,0 кВ/мм (в зависимости от параметров окружающей среды: температуры, влажности и т.п.). При этом коэффициент пульсации источника высокого напряжения не должен превышать 5 %.

Увеличение скорости и уменьшение времени достижения потока движущихся частиц раствора происходит за счет принудительной подачи потока воздуха (0,5 – 10 м/с, в зависимости от скорости движения воздуха окружающей среды), который способствует большему измельчению частиц раствора и в сочетании с электрическим полем – ускорению движения заряженных частиц раствора к объекту обработки. Так создается монодисперсный факел заряженных частиц раствора размером 50 – 100 мкм и специальный защитный ионизированный воздушный слой вокруг факела. Время движения частиц к объекту обработки уменьшается до $10^{-8} – 10^{-6}$ с.

Заряженные частицы раствора (около $10^{-4} – 10^{-8}$ Кл), двигаясь от места зарядки к объекту обработки, отдают небольшую часть своего заряда (около $10^{-15} – 10^{-17}$ Кл) принудительному потоку воздуха, который, приобретая заряд, становится при этом ионизированным. В то же время на ионизированный воздушный поток воздействуют ионы воздуха окружающей среды, которые имеют значительно меньшую величину электрического заряда.

Учитывая, что частицы питательного раствора, ионизированный воздух и нейтральные ионы окружающей среды имеют различные величины заряда частиц или ионов и одинаковую полярность заряда, то происходит взаимное отталкивание. Это приводит к значительному проникновению ионов воздуха в ионизированный, а из ионизированного в питательный раствор. В зоне обработки образуется специальный защитный ионизированный воздушный слой вокруг однородного монодисперсного факела распыляемого раствора с заряженными частицами.

Наличие слоя ионизированного воздуха обеспечивает уменьшение оттока электрического заряда в окружающий воздух, что способствует удержанию большего электрического заряда на поверхности объекта обработки во времени ($10^{-8} – 10^{-6}$ с). Это позволяет уменьшить потери питательного раствора и увеличить количество донесенных заряженных частиц раствора к объекту обработки за счет уменьшения величины (объема) факела питательного раствора, содержанию большей величины заряда частиц в таком растворе при переносе его к объекту обработки в факеле и увеличить количество осажденных частиц на лицевую и обратную стороны биологического объекта (рис. 1) [3].

Равномерному распределению и осаждению способствует уменьшение полидисперсности и размеров капель рабочих растворов, а также положительное действие электрического поля на их содержание на поверхностях зеленой массы. Так, например, плотность покрытия зеленой массы каплями питательного раствора увеличивается в 5 – 8 раз, а стекание капель с поверхности уменьшается в 1,5 – 2 раза.

В табл. 1 приведены сравнительные характеристики контактного и индукционного способов зарядки капель питательного раствора.

Анализируя приведенные данные зарядки частиц монодисперсного факела индукционным и контактным способами в электрическом поле (табл. 1), можно констатировать, что зарядка индукционным способом позволяет получить бóльшую величину электрического заряда по сравнению с контактным. Это позволяет повысить количество заряженных частиц монодисперсных раствора с большей величиной заряда на объекте обработки и обусловливает увеличение равномерности осаждения этих частиц раствора на различных поверхностях объекта обработки.

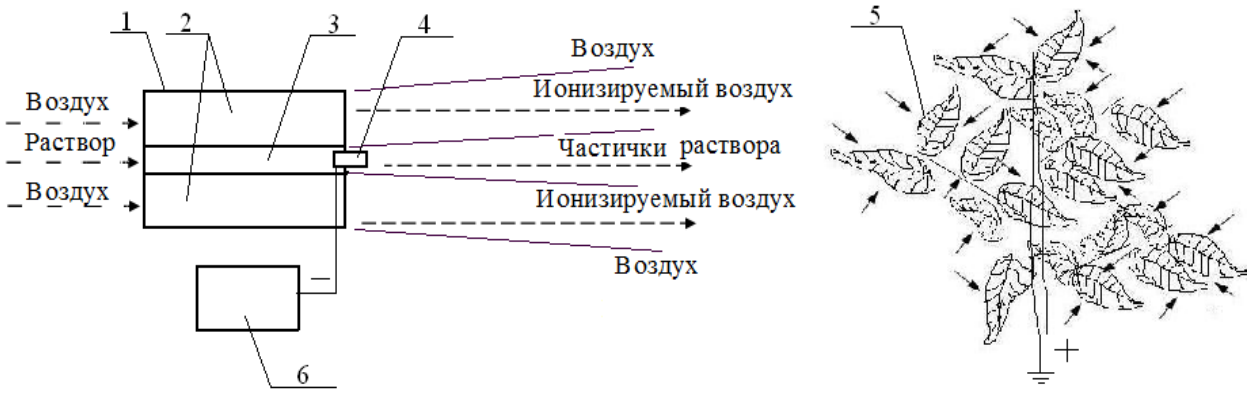


Рис. 1. Схематическое изображение обработки растительной продукции индукционным способом: 1 – распылитель; 2 – канал подачи воздуха; 3 – канал подачи раствора; 4 – форсунка-электрод; 5 – объект обработки; 6 – высоковольтный источник питания

Таблица 1

Характеристика индукционного и контактного методов зарядки частиц

L, м / U, кВ	Заряд капли, Кл							
	64		48		32		16	
	Индукц.	Конт.	Индукц.	Конт.	Индукц.	Конт.	Индукц.	Конт.
1	$8\cdot10^{-6}$	$6{,}2\cdot10^{-8}$	$8\cdot10^{-7}$	$5\cdot10^{-9}$	$8\cdot10^{-8}$	$7{,}5\cdot10^{-11}$	$8\cdot10^{-9}$	$8\cdot10^{-12}$
2	$6\cdot10^{-6}$	$5{,}3\cdot10^{-8}$	$6\cdot10^{-7}$	$4{,}5\cdot10^{-9}$	$6\cdot10^{-8}$	$6{,}8\cdot10^{-11}$	$6\cdot10^{-9}$	$7{,}2\cdot10^{-12}$
3	$4\cdot10^{-6}$	$4\cdot10^{-8}$	$4\cdot10^{-7}$	$3{,}5\cdot10^{-9}$	$4\cdot10^{-8}$	$5\cdot10^{-11}$	$4\cdot10^{-9}$	$6{,}3\cdot10^{-12}$

Нанесение смеси заряженных частиц и потока воздуха на биологические объекты таким способом можно применять на разных этапах их жизнедеятельности: предпосевная обработка, выращивание и хранение с разной периодичностью – от одноразовой за весь период до многоразовой, что позволяет обеспечить улучшение качества их обработки и увеличение продолжительности хранения.

В результате такой обработки происходит повышение эффективности самой обработки биологических объектов растительного происхождения в условиях технологического производства, которое связано с их защитой (садоводство, растениеводство и т.д.) на 20 – 25 %.

Обработка растений заряженными питательными растворами создает значительные преимущества. Осаждение препаратов при этом осуществляется не только на поверхности растения, но и между листьями и стеблями, в т.ч. и на обратной стороне листьев. Это достигается скоростью подачи питательного раствора с помощью выносных электродов-распылителей (с изменением длины коронирующего электрода), параметрами электрического поля (напряженность, электрический заряд и др.), электрофизическими свойствами питательных растворов (удельное поверхностное сопротивление, диэлектрическая проницаемость и центробежное межэлектродное расстояние).

Надо констатировать, что, к сожалению, этот процесс, несмотря на его значительные преимущества и эффективность, до сих пор практически не реализован в производственных условиях тепличного овощеводства Украины вследствии несовершенства технологического оборудования.

Решение этой проблемы, на наш взгляд, в первую очередь, сдерживается отсутствием серийного выпуска соответствующего технологического отечественного оборудования на базе электростатического метода по применению водных растворов с высокой проводимостью, неадекватностью уровня научно-технических и конструкционных решений, отсутствием глубоких исследований в этом направлении.

Выводы

Предложено и обосновано применение электротехнологического процесса некорневой обработки растений в тепличном овощеводстве, обеспечивающего высокий уровень качества и эффективность обработки.

Литература

1. *Иноземцев Г.Б.* Влияние электромагнитной энергии на процессы роста растительных объектов // Г.Б. Иноземцев, А.В. Окушко // Инновации в сельском хозяйстве: Электронный журнал. 2016. Вып. 1(16). С. 34-37.
2. *Іноземцев Г.Б.* Електротехнології обробки сільськогосподарської продукції // Г.Б. Іноземцев, О.М. Берека, О.В. Окушко, С.М. Усенко. Киев: «ЦП «КОМПРИНТ», 2015. – 306 с.
3. Патент № 107912, Украина. Спосіб нанесення живильного розчину: a201407749; заяв. 10.07.2014 // БИ. 2015. №4.

Сведения об авторах:

Иноземцев Г.Б. – доктор техн. наук,
Окушко А.В. – канд. техн. наук,
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (НУБиП Украины), г. Киев, Украина

ELECTROTECHNOLOGICAL PROCESS OF FOLIAR TREATMENT OF PLANTS IN GREENHOUSE VEGETABLE GROWING

G. Inozemtsev, A. Okushko

In this article the technology of foliar application of plant nutrient solutions by electrostatic techniques in greenhouse horticulture is presented. Modern means for the implementation and realization of such methods (particularly foliar application) unfortunately, are not sufficiently effective. This is primarily driven by: insufficient quality application of working fluids, drift them out of the green mass, a minor amount of deposition of the leaves, the imperfection of the serial equipment, etc. All of this certainly does not yield the expected result, causes significant losses, environmental pollution, high labor intensity. This situation is largely explained by the lack of scientifically-based engineering and technological solutions, methods of calculation and prediction of their operation in a wide range according to the agronomic requirements. The authors of this article offer a technology that can be enhanced uniformity of deposition of droplets of nutrient solutions on both sides of the surface of the leaves of plants, decrease in loss solutions on the 20 – 60 % and as a result contribute to increase productivity by 12 – 15 %. Obtaining such results is due to the peculiarities of the electrostatic method, which is based on the interaction of the electric field and the most nutrient solution drops. Thus, the article is of great theoretical and practical significance.

Keywords: plant, greenhouse vegetable growing, processing, electrostatic method, the charging, the nutrient solution, the particle.

References

1. Inozemcev G.B., Okushko A.V. Influence of electromagnetic energy on processes of growth of vegetable objects. *Innovacii v sel'skom hozjajstve*: Online journal. 2016; 1(16): 34-37.
2. Inozemcev G.B., Bereka A.M., Okushko A.V., Usenko S.M. Electrotechnologies of processing of agricultural production. Kiev: "KOMPRINT CPU, 2015. – 306 ps.
3. Patent No. 107912, Ukraine. Way of putting nutritious solution: a201407749; denunciations. 7/10/2014 // BI. 2015. No. 4.

Authors:

G. Inozemtsev – D.Sc. (Engineering),
F. Okushko – Ph.D. (Engineering),
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

• **For citation:** Inozemtsev G.B.., Okushko A.V. Electrotechnological process of foliar treatment of plants in greenhouse vegetable growing. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 113-116. (In Russian)

УДК 621.926.4

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ КОРМОПРИГОТОВЛЕНИЯ

А.А. Джафаров
НИИ «Агромеханика», г. Гянджа, Республика Азербайджан

В статье изложены теоретические исследования и разработка конструктивных решений, направленных на совершенствование рабочих органов с целью повышения качества готового продукта и снижения удельной энергоемкости процесса в 1,5 – 2,0 раза, пылевидной фракции в 3 – 4 раза. Цель работы – создание кормоизмельчительной машины для фермерских хозяйств. Она снабжена механизмом поворота вала ротора электродвигателя в вертикальное и горизонтальное положения, что улучшает эксплуатационные показатели, способствует качественному выполнению технологических операций измельчению различных видов кормовых культур. В статье рассматриваются некоторые вопросы и расчет рабочего органа измельчителя, включающего секцию стальных шайб одинакового внутреннего и разного наружного диаметров, играющих роль ударных элементов (молотков).

Ключевые слова: *малогабаритный комбинированный измельчитель кормов, малогабаритная мельница, центробежно-роторный измельчитель, измельчение, фермерские хозяйства.*

Статья поступила в редакцию 30.05.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Джафаров А.А. Конструктивные решения для малогабаритной комбинированной установка для кормоприготовления // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 117-123.и

Для достижения высоких экономических показателей в животноводческой отрасли кормовой рацион должен содержать определенный набор веществ, полностью удовлетворяющий потребности организма животного в питательных веществах. Это возможно путем приготовления полноценных комбикормов, доля которых в рационе кормления составляет: для птицы 95 – 100, для свиней 85 – 90, для КРС 24 – 30%. Поэтому производство комбикормов является важной отраслью сельского хозяйства.

Ответственной и энергоемкой технологической операцией в приготовлении комбикормов является измельчение зерна. За счет измельчения ингредиентов увеличивается площадь поверхности зернового материала, улучшается взаимодействие корма с пищеварительными ферментами, снижается энергоемкость продукции и повышается качество смешивания компонентов. Однако тонкое измельчение увеличивает энергетические затраты, а мучнистые компоненты вызывают заболевания животных. Измельчение занимает 50% от общих энерго- и трудозатрат в приготовлении комбикормов.

На животноводческих фермах, комбикормовых заводах, перерабатывающих предприятиях широко используются молотковые дробилки и измельчители, имеющие ряд существенных недостатков. При тонком измельчении содержание пылевидной фракции составляет до 30%, при грубом получается до 20% недоизмельченной фракции. Это приводит к повышению энергоемкости процесса измельчения и ухудшению качества готового продукта [1].

Теоретические исследования и традиционные конструктивные решения по данной проблеме не могут в полном объеме обеспечить значительное совершенствование технологического процесса. Поэтому исследования и разработка конструктивных решений, направленных на совершенствование рабочих органов с целью повышения качества готового продукта и снижения удельной энергоемкости в 1,5 – 2,0 раза, пылевидной фракции в 3 – 4 раза, являются актуальной проблемой. Все это вызывает необходимость создания научных основ разработки центробежно-роторных измельчителей нового класса.

В дробилках ударного действия дробимый материал разрушается под действием механического удара, при котором кинетическая энергия движущихся тел полностью или частично переходит в энергию их деформации и разрушения.

В отличие от рассмотренных дробилок, сжимающих кусок материала между двумя дро-

бящими поверхностями, в дробилках ударного действия кусок материала обычно подвергается воздействию только с одной стороны, а возникающие при этом усилия дробления уравновешиваются силами инерции массы самого куска.

Дробилки ударного действия применяют в основном для измельчения малоабразивных материалов средней прочности (известняка, доломитов, мергеля, угля, каменной соли и т. п.). В некоторых случаях из-за технологических особенностей производства дробилки ударного действия используют и при переработке материалов с повышенной прочностью и абразивностью (например, асбестовых руд, шлаков и т. п.). Эти машины отличаются следующими технико-эксплуатационными преимуществами [1]:

- большой степенью дробления (до 50), что позволяет сократить число стадий дробления;
- большой удельной производительностью (на единицу массы машины);
- простотой конструкции и удобством обслуживания;
- избирательностью дробления и более высоким качеством готового продукта по форме зерен.

По конструктивному решению основного узла машины – ротора – дробилки ударного действия разделяют на два основных типа [1]:

- роторные,
- молотковые.

Первые имеют массивный ротор, на котором жестко закреплены сменные била из износостойкой стали. Дробилки с таким ротором можно применять для дробления крупных кусков сравнительно прочных материалов, т. е. для первичного дробления, а также на последующих стадиях. Так как в ударе по куску принимает участие вся масса ротора и именно это определяет отличительные особенности и свойства машины, то данные дробилки названы роторными.

В молотковых дробилках дробление осуществляется за счет кинетической энергии молотков, шарнирно подвешенных к ротору [1]. Особенности этих машин определяются конструкцией молотка.

Известны также и другие конструкции дробилок ударного действия, например дезинтеграторы, крестовые и барабанные дробилки. Эти машины применяются ограниченно и поэтому подробно не рассматриваются.

Материал, подлежащий дроблению, загружают в дробилку сверху. Под действием силы тяжести он падает или скользит по лотку и попадает под действие бил и молотков быстро вращающегося ротора. В результате удара билом или молотком кусок разрушается, и его осколки разлетаются широким сектором (90°) и отбрасываются на футеровку отбойных плит или колосников, образующих камеру дробления. Ударяясь о футеровку, материал дополнительно измельчается и, отражаясь, снова попадает под действие ротора. Это повторяется многократно пока куски материала, достигнув определенной крупности, не выйдут сквозь разгрузочную щель или щель колосниковой решетки на разгрузку.

В некоторых случаях кусок материала, получив эксцентричный удар, начинает вращаться вокруг своего центра тяжести со скоростью, близкой к скорости рабочего органа дробилки (примерно 30 м/с) и разрушается, так как при этом от действия центробежных сил в куске материала возникает напряжение, равное 10 МН/м^2.

Таким образом, в дробилках ударного действия материал измельчается в результате удара о быстро движущийся рабочий орган, соударения кусков один о другой, удара о неподвижную футеровку камеры дробления, а также под действием центробежных сил (центробежно-ударное дробление).

Разработанная в НИИ «Агромеханика» малогабаритная многофракционная центробежная мельница (рис. 1) устраняет недостатки известных конструкций и вместе с тем повышает качество и производительность продукта, расширяет эксплуатационные показатели работы устройства [3].

Малогабаритная мельница выполнена с осевыми ножами и без дополнительной цилиндрической камеры, а со сменными цилиндрическими металлическими сетками с отверстиями различного диаметра.

Конструкция измельчителя снабжена механизмом поворота вала ротора электродвигателя в вертикальное и горизонтальное положения, что улучшает эксплуатационные показатели, способствует качественному выполнению технологических операций измельчения различных видов кормов сельскохозяйственных культур.

На рис. 1 показан общий вид «малогабаритного комбинированного измельчителя кормов».

Рис. 1. Малогабаритный комбинированный измельчитель кормов

Техническая характеристика измельчителя кормов

Напряжение	~ 220 ± 10 В, 50 Гц
Мощность электродвигателя, кВт	- 2.2
Частота вращения ротора, об./мин	- 2980
Производительность, кг/ч	
зерновых	- 150
сена, соломы	- 250
Габаритные размеры, мм	- 560 × 540 × 1100
Масса, кг	- 40
Вместимость бункера	
для зерновых, кг	- 20

На рис. 2 приводятся общий вид и сменные загрузочные узлы комбинированного измельчителя кормов. Установка состоит из станины 1, механизма поворота вала ротора 2 электродвигателя 3 в вертикальное и горизонтальное положение, бункера для зерна 4, дополнительной передней крышки с трубой 5, пробки вместе с трубой 26 для ввода в дробильную камеру 11 кукурузы в початках, брикетированных кормов и стеблей кормовых растений (кукурузы, подсолнечника и других кормовых культур), бункера 6 для сена, соломы и других грубых кормов, решета 7, рифленой деки 8, окна ввода зерна в дробильную камеру 9, шибера 10, дробильной камеры 11, передней крышки 12, муфты переходной 13, диска ротора 14, стальных полос 15, пилообразных режущих ножей 17, пилообразных противорежущих ножей 18, регулируемого болтового соединения 19, секции стальных шайб 20, болтового соединения направляющих пилообразных ножей 21, 22 для предварительного измельчения сена, соломы и других грубых кормов, пилообразного ножа 23 для предварительного измельчения кукурузы в початках, брикетированных кормов и стеблей кормовых растений, лопаток для приостановки завихревания измельчаемых масс 24, болтовых соединений решет 25, мешка 27, бункера 28 для загрузки стеблей кормовых растений.

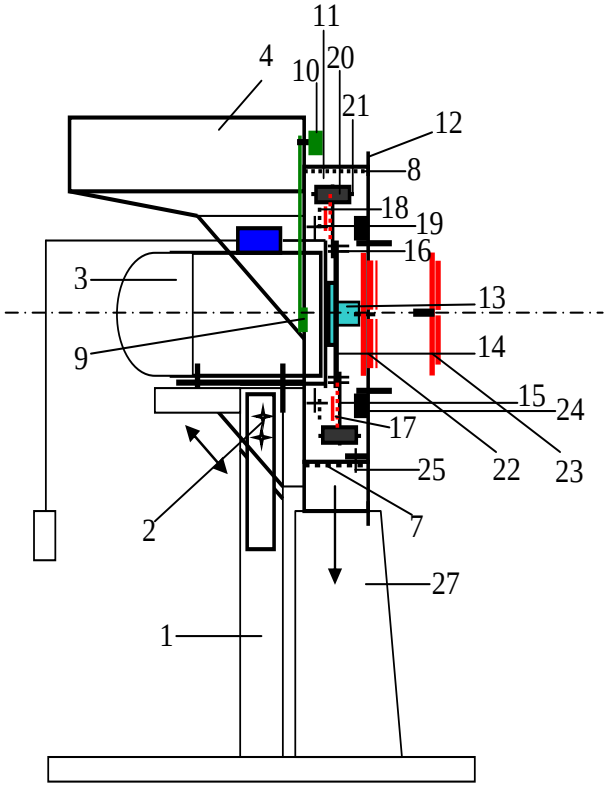


Рис. 2. Схема (общий вид) комбинированного измельчителя кормов (*пояснения в тексте*)

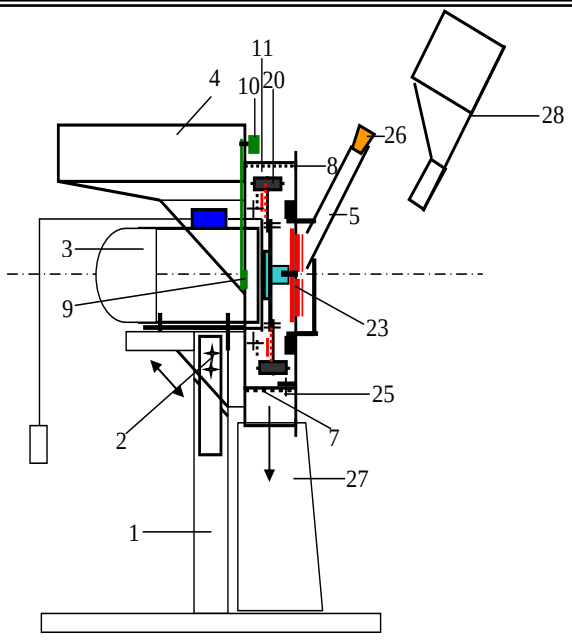


Рис. 3. Измельчитель для дробления сухих зерновых, зернобобовых, брикетных кормов, а также кукурузы в початках

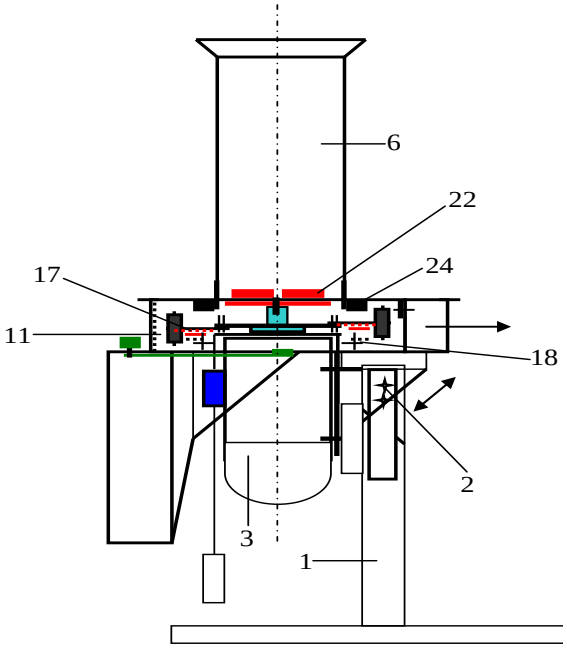


Рис. 4. Рабочий вид установки для измельчения, сена, соломы, очищенных и неочищенных от семян подсолнухов, зеленой ботвы травы, а также других грубых кормов сельскохозяйственного производства

Расчет рабочего органа измельчителя, включающего секцию стальных шайб одинакового внутреннего и разного наружного диаметров играющих роль ударных элементов (молотков**)** [2].

Производительность дробилки ударного действия, т/ч

$$Q_{др} = 10^{-3} k_д L_р D_р^2 n^2 \rho/(i_д - 1), \quad (1)$$

где $k_д$ – коэффициент, зависящий от твердости дробимого материала и конструкции дробилки; $L_р$ и $D_р$ – соответственно длина и диаметр ротора, м; n – частота вращения ротора, $с^{-1}$; $i_д$ – степень дробления.

Мощность электродвигателя дробилки, кВт

$$P_{д.р} = (1 \div 1{,}5) Q_{др} i_д. \quad (2)$$

В случае если для сена с конкретными физико-механическими свойствами неизвестно значение коэффициента $k_д$ ($k_д$= 0,22÷0,43), то для предварительных расчетов мощность $P_{др}$ двигателя дробилки

$$P_{др} = \Delta W Q_{др}, \quad (3)$$

где ΔW – удельные затраты электроэнергии, кВт·ч/т.

Частота вращения ротора. Влияние частоты вращения ротора на процесс измельчения частиц материала неоднозначно. С одной стороны, чем больше частота вращения ротора, тем значительней величина кинетической энергии, накопленной молотком до удара по частице, что способствует увеличению степени дробления

$$i_д = k' + k'' v_{о.м.},$$

где k' и k'' – эмпирические коэффициенты, зависящие от ширины молотков; $v_{о.м.}$ – окружная скорость по концам молотков [2] энергии ΔW молотковой дробилки от ее производительности $Q_{др}$.

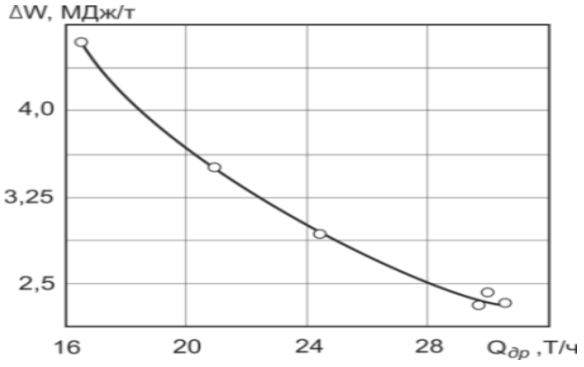


Рис. 5. Зависимость удельного расхода электроэнергии от производительности дробилки

С другой стороны, рост частоты вращения ротора повышает вентиляционный эффект и материал может зависать в камере измельчения. Кроме этого, увеличение частоты вращения ротора может происходить до определенного предела $n_{пр}$ в связи с возможностью проникновения падающих частиц в зону вращающихся молотков на необходимую глубину c (рис. 6, а) за

время поворота ротора на центральный угол α. Дробление материала наиболее эффективно при центральном ударе, т.е. при глубине проникновения частицы в зону вращающихся молотков на величину

$$c \geq 0{,}6D_{max}\,, \qquad (4)$$

где D_{max} – максимальный диаметр частиц сырья, м.

При меньшем проникновении частиц материала в зону вращающихся молотков наблюдается скользящий удар, при котором часть энергии привода расходуется на истирание как частиц материала, так и самих молотков, и, соответственно, эффективность процесса дробления снижается.

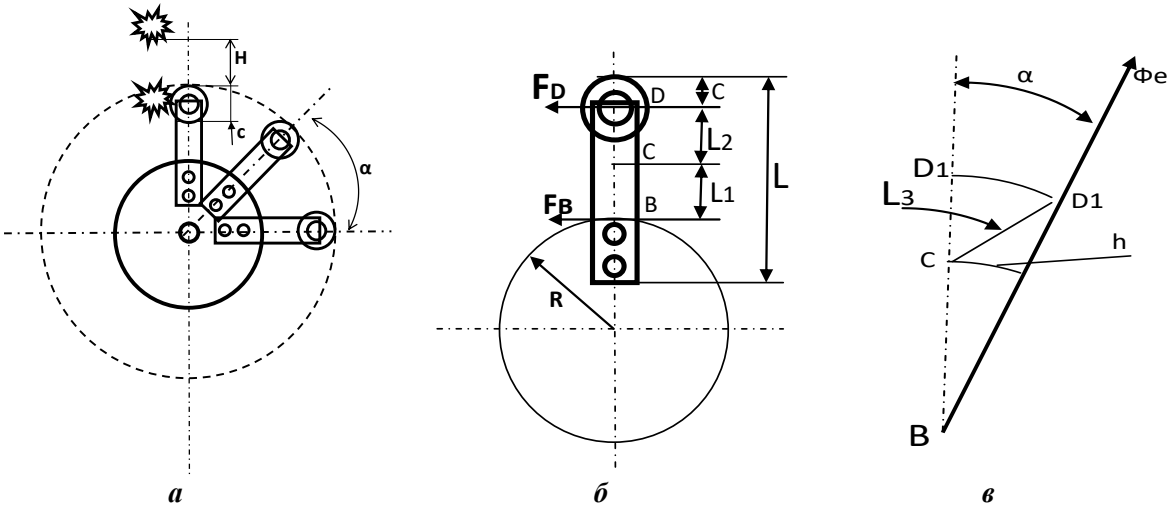


Рис. 6. Схемы к определению глубины проникновения частицы в зону вращающихся молотков (*а*), положения молотка до удара (*б*)и после удара (*в*)

Для обеспечения условия (4) скорость частицы $v_ч \geq c/t$, где t – время поворота ротора на угол α – центральный угол между соседними рядами молотков.

Время $t=\alpha/(360n)$, где n – частота вращения ротора, $с^{-1}$. Тогда

$$v_ч \geq 215nD_{max}/\alpha\,. \qquad (5)$$

При попадании в дробилку частицы материала находятся в свободном полете, поэтому их скорость зависит от высоты H свободного падения, т.е.

$$v_ч \approx \sqrt{2gH}\,. \qquad (6)$$

Используя формулы (5) и (6), можно определить предельную частоту вращения n ротора, при которой осуществляется дробление крупных частиц материала центральным ударом [2]

$$n_{пр} \leq \frac{a}{215\,D_{max}}\sqrt{2gH}. \qquad (7)$$

Расчет молотка. Дробление материала в молотковой дробилке осуществляется за счет кинетической энергии молотков

$$W_к = m_м v_o^2/2,$$

где $m_м$ – масса молотка, кг; v_o – окружная скорость молотка, м/с.

Окружная скорость молотков ограничена условием (7), поэтому для того, чтобы происходило измельчение кусков материала заданных начальных размеров, следует рассчитать массу и размеры молотков.

После удара по куску материала молоток отклоняется. Допустимый угол поворота молотка составляет 80 — 90 % максимально возможного, так как при полном отклонении молотка энергия удара будет передаваться на ось подвеса молотка и далее на подшипники ротора, в связи с чем нарушается нормальное функционирование дробилки и ускоряется износ ее деталей. Молоток при ударе отклоняется относительно точки подвеса и одновременно вращается вместе с ротором. По теории импульсов

$$m_м(v_0' - v_0) = F_B - F_D, \qquad (8)$$

где v'_o и v_o – окружная скорость центра массы молотка после и до удара, м/с; F_B и F_D – импульсы удара соответственно в т. B и т. D (рис. 29, б), Н·с.

На основе теории об изменении проекций количества движения центра массы, а также принимая во внимание, что скорость центра массы молотка относительно оси подвеса в начале удара равна нулю, скорость куска мате-

риала по направлению движения центра тяжести молотка также равна нулю и ось подвеса не должна испытывать ударного импульса ($F_B = 0$), следовательно, имеем

$$F_D = m_м u,$$

где $u = l_1\omega_м$, – линейная скорость центра массы молотка в конце удара относительно оси подвеса; $\omega_м$ – угловая скорость молотка в конце удара относительно оси подвеса (т. В) или

$$F_D = m_м \frac{F_D(l_1+l_2)}{J_{zz}} l_1, \quad (9)$$

где J_{zz} – момент инерции молотка относительно оси подвеса; l_1 и l_2 – расстояния до центра тяжести т. *с* (рис. 6, б).

Из уравнения (9) получаем

$$J_{zz} = m_м(nl_1^2 + l_1 l_2). \quad (10)$$

Согласно условию (10), на ось подвеса молотка, а следовательно, на подшипники ротора не передается удар молотка по куску материала (F_B=0).

Момент инерции молотка как тела вращения [2]

$$J_{zz} = \frac{m_м l^2}{12} + m_м l_1^2. \quad (11)$$

Решая совместно уравнения (10) и (11) при $l/2 = l_2 + c$ вычисляют размер l_1 или при известных размерах молотка — величину *с*, а затем максимальный размер куска, который будет дробиться центральным ударом.

Если удар абсолютно неупругий, то частица после удара будет вращаться вместе с молотком

$$v_ч' = \omega(l_1 + l_2).$$

При абсолютно упругом ударе частица приобретает скорость, равную скорости молотка, обусловленную вращением ротора

$$v_ч' = -v_0 = \omega(R + l_1 + l_2).$$

При абсолютно упругом ударе угловая скорость молотка после удара

$$\omega_0 = \frac{m_ч(l_1+l_2)(v_0 - v_ч')}{J_{zz}} = \frac{2m_ч(l_1+l_2)\,\omega\,(R+l_1+l_2)}{J_{zz}}. \quad (12)$$

Для движения молотка после удара запишем теорему об изменении кинетической энергии, пренебрегая силами тяжести и поворотом ротора за время отклонения молотка на угол φ_{max}

$$\frac{J_{zz}\omega_0^2}{2} = \int_0^{\varphi_{max}} \Phi_e h d\varphi, \quad (13)$$

где Φ_e – переносная сила инерции [2].

Из треугольника BCD_1 (рис. 6, *в*)

$$(l_1 + l_3)^2 = l_1^2 + l_3^2 + 2l_1 l_3 \cos\varphi_{max}. \quad (14)$$

Площадь $\Omega_{\Delta BCD1}$ треугольника BCD_1 выразим двумя способами

$$\Omega_{\Delta BCD_1} = \frac{1}{2}(l_1 + l_3)h = \frac{1}{2} l_1 l_3 \sin(180 - \varphi_{max}),$$

отсюда перемещение центра тяжести молотка

$$h = \frac{l_1 l_3 \sin\varphi_{max}}{l_1 + l_3}. \quad (15)$$

Переносная сила инерции

$$\Phi_e = m_м\omega^2(l_1 + l_2).$$

Из уравнения (13), используя выражение (15), получаем

$$\frac{J_{zz}\omega_0^2}{2} = m_м\omega^2(l_1 + l_2)\int_0^{\varphi_{max}} \frac{l_1 l_3}{(l_1 + l_2)} \sin\varphi d\varphi\, m_м\omega^2 l_1 l_3 (1\cos\varphi_{max}).$$

Отсюда

$$\cos\varphi_{max} = 1 - \frac{J_{zz}\omega_0^2}{2m_м\omega^2 l_1 l_3}$$

и, используя выражение (12), получаем

$$\cos\varphi_{max} = 1 - \frac{2m_ч^2(l_1+l_2)^2(R+l_1+l_2)^2}{J_{zz}m_м l_1 l_3}. \quad (16)$$

В полученных формулах (14) и (16) два неизвестных l_3 и cos φ_{max}. Задаваясь размером куска, можно вычислить l_3, а затем величину φ_{max} – угол максимального отклонения молотка [3].

Алгоритм расчета молотковой дробилки на примере МД-900. По размерам дробилки ударного действия (рис. 6) и вычисленному масштабу чертежа определяются размеры: *R*; l_1; *l* (рис. 6, б).

Решая совместно уравнения (10) и (11), вычисляется величина l_2, а затем *с* и размер куска материала (14), который будет дробиться центральным ударом.

Затем по формуле (17) при заданной высоте загрузки материала в дробилку находится предельная частота вращения ротора дробилки.

Далее определяется масса куска исходного материала в соответствии с заданной производительностью в предположении, что за время поворота ротора на центральный угол между соседними рядами молотков проникает один кусок массой [3]

$$m_{кус} = Q'_{др}\, t = [(Q_{др}\cdot 1000)/3600]\ t,$$

где t – время поворота ротора на угол α между соседними рядами молотков: $t = \alpha / (360n)$; $\alpha = 60°$; $Q'_{др}$ – производительность дробилки, кг/с; $Q'_{др} = Q_{др} / 3600$; $n \le n_{пр}$ – частота вращения выбранного двигателя.

По формуле (10) или (11) вычисляется момент инерции J_{zz} молотка. Решая совместно уравнения (14) и (16), вычисляется величина угла φ – отклонения молотка во время удара, из условия, что удар не передается на ось подвеса молотка и далее на подшипники ротора. Допустимое отклонение молотка во время удара составляет 80-90 % от максимально возможного.

Малогабаритная комбинированная установка успешно прошла госиспытание и используется в кормозаготовительных цехах и фермерских хозяйствах Республики Азербайджан.

Комбинированные измельчители кормов с вертикальным бункером используются в фермерских хозяйствах Самухского, Йевлахского, Сабирабадского, Казахского, Дашкесанского, Гей-Гельского, Гебелинского и других районов республики. Также по заказу гуманитарных сообществ ADRA и NQT в количестве 50 штук измельчители были розданы безвозмездно фермерам Республики Азербайджан.

Литература

1. *Резник Н.Е.* Силосоуборочные комбайны. Теория и расчёт. М.: Машиностроение, 1964.
2. *Чепурной А.И.* Наклон противорежущей кромки и скорость резания при измельчении стеблей хлопчатника / А.И. Чепурной, М.И. Белов, М.В. Велиев, Ф.Н. Габайдулин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1985. №9. С. 52-53.
3. Чепурн*ой А.И.* Расчёт дискового измельчающего аппарата / А.И. Чепурной, М.И. Белов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2004. №11. С. 33-42.

Сведения об авторе:

Джафаров А.А. – диссертант
НИИ «Агромеханика», г. Гянджа, Р. Азербайджан,
e-mail: aliabbasoglu@gmail.com

CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF THE SMALL-SIZED COMBINED INSTALLATION FOR PREPARATION OF FORAGES

A.A. Dzhafarov

In the article theoretical researches and development of the constructive decisions directed to improvement of working bodies for the purpose of improvement of quality of a ready-made product and decrease in specific power consumption of process by 1,5 – 2,0 times, dust-like fraction by 3 – 4 times are stated. The work purpose – creation of the unit for crushing of forages for farms. It is supplied with the mechanism of turn of a shaft of a rotor of the electric motor in vertical and horizontal provisions that improves operational indicators, promotes high-quality performance of technological operations of crushing of different types of forage crops. Some questions and calculation of working body of the grinder including section of steel washers identical internal and different external diameters playing a role of shock elements (hammers) are considered.

Keywords: the small-sized combined grinder of forages, a small-sized mill, the centrifugal and rotor grinder, crushing, farms.

References

1. Reznik N.E. Silosouborochnye kombajny. Teorija i raschjot [Silage combines. Theory and calculation]. Moscow, Mashinostroenie, 1964.
2. Chepurnoj A.I., Belov M.I., Veliyev M.V., Gabaydulin F.N. Naklon protivorezhushhej kromki i skorost' rezanija pri izmel'chenii steblej hlopchatnika [An inclination of the anticutting edge and speed of cutting when crushing stalks of a cotton] J. *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva*. 1985; 9: 52-53.
3. Chepurnoj A.I., Belov M.I. Raschjot diskovogo izmel'chajushhego apparata [Calculation of the disk crushing device] J. *Traktory i sel'skohozjajstvennye mashiny*. 2004; 11: 33-42.

Author:
A. Dzhafarov – postgraduate student,
e-mail: aliabbasoglu@gmail.com,
Research institute «Agromehanika», g. Gjandzha,
R. Azerbajdzhan.

• **For citation:** Dzhafarov A.A. Constructive solutions of the small-sized combined installation for preparation of forages. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 117-123. (In Russian)

УДК 631.563

УСТАНОВКА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ АЭРОЗОЛЯ ГУМАТОВ В ПОТОКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

И.Н. Горячкина, О.А. Тетерина, М.Ю. Костенко, Г.К. Рембалович, И.А. Юхин
Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ), г. Рязань, Россия

Предлагается установка обработки корнеклубнеплодов растений перед посадкой или закладкой на хранение для экологически чистой и эффективной дезинфекции с применением аэрозоля гуматов. Установка содержит транспортер с лентой, камеру для обработки с первым и вторым отверстиями (для подачи аэрозоля дезинфекционного раствора на разной высоте от ленты транспортера), камера охватывает часть ленты транспортера в зоне обработки корнеклубнеплодов. Средство образования аэрозоля в смеси с дезинфекционным раствором выполнено в виде автономного генератора тумана с трубой, источник дезинфекционного раствора (водный раствор гумата) размещен в емкости для дезинфекционного раствора, входящей в состав генератора тумана. Для упрощения погрузочно-разгрузочных работ в полевых условиях, складах, хранилищах, магазинах транспортер выполнен мобильным с возможностью реверсного движения ленты и снабжен опорными колесами, закрепленными на платформе. В качестве источника дезинфицирующего раствора предпочтительно применить гуматы с содержанием гуминовых кислот не менее 19,0 г/л и суммой гуминовых и фульвокислот не менее 28,0 г/л. Аэрозоль гуматов на входе в аэрозольную камеру имеет температуру 30 – 60°С, дисперсность 0,5-10 мкм.

Ключевые слова: *аэрозоль гуматов, корнеклубнеплоды, дезинфекция, генератор тумана.*

Статья поступила в редакцию 31.05.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Горячкина И.Н., Тетерина О.А., Костенко М.Ю.,Рембалович Г.К., Юхин И.А. Установка для нанесения аэрозоля гуматов в потоке сельскохозяйственной продукции // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 124-128.

Установка обработки корнеклубнеплодов растений перед посадкой или закладкой на хранение содержит транспортер с лентой, камеру для обработки с первым и вторым отверстиями (для впуска аэрозоля дезинфекционного раствора на разном уровне по высоте от указанной ленты), охватывающую часть ленты транспортера в зоне обработки корнеклубнеплодов, средство образования аэрозоля в смеси с дезинфекционным раствором, выполненное в виде автономного генератора тумана с трубой, источник дезинфекционного раствора (водный раствор гумата), размещенного в емкости для дезинфекционного раствора, входящей в состав генератора тумана.

Камера для обработки выполнена с возможность перемещения в ней ленты транспортера с корнеклубнеплодами и подачи в нее аэрозоля, образованного генератором тумана, через первое или второе отверстие в зависимости от уровня верхнего слоя корнеклубнеплодов при обработке. Одно из указанных отверстий при обработке должно быть закрыто, например заглушкой. Камера выполнена без требований к герметичности с возможностью впуска в нее аэрозоля от генератора тумана поперечно направлению движения ленты транспортера на расстоянии 0,3 – 0,5 м от допустимого уровня верхнего слоя корнеклубнеплодов при обработке.

Средство образования аэрозоля в смеси с дезинфекционным раствором предпочтительно выполнить в виде генератора горячего тумана с топливным баком, например для бензина. Такие генераторы производятся серийно в достаточном количестве с разнообразными массогабаритными параметрами и размерами емкости для дезинфицирующего раствора.

Генератор горячего тумана переносного типа можно выбрать из линеек моделей различных фирм для обработки корнеклубнеплодов вручную. Принцип действия генераторов горячего тумана основан на особенностях раскаленного газа, в поток которого впрыскивается распыляемый дезинфицирующий раствор. Раствор в результате резкого нагревания превращается в горячий пар, после чего, в процессе смешивания с атмосферным воздухом, происходит его конденсация в туман. При этом размер капель может колебаться от 0,5 до 10 микрон.

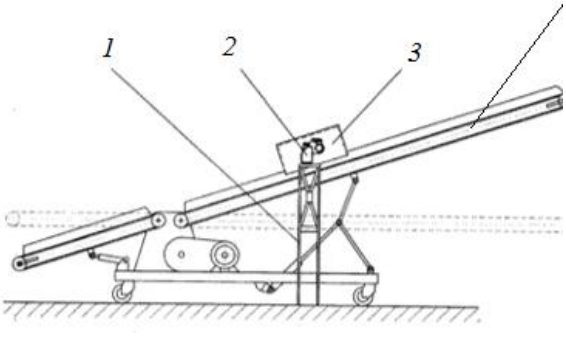


Рис. 1. Технологическая схема установки для обработки корнеклубнеплодов:

1 – платформа транспортёра; 2 – генератор горячего тумана; 3 – камера для обработки; 4 – лента транспортёра

Лента транспортера должна иметь габаритные размеры, соответствующие возможности подачи в камеру для обработки корнеклубнеплодов в сетках, россыпью и выполнена с возможностью настройки рабочего ее положения при обработке (например, горизонтально или с уклоном). При этом лента транспортера может иметь сплошное покрытие при обработке корнеклубнеплодов. Выполнение ленты ячеистой целесообразно при необходимости предварительной очистки корнеклубнеплодов от частиц земли путем просеивания и для лучшего доступа аэрозоля гуматов к нижним слоям корнеклубнеплодов при движении ленты в зону обработки.

Для упрощения погрузочно-разгрузочных работ в полевых условиях, складах, хранилищах, магазинах транспортер выполнен мобильным с возможностью реверсного движения ленты и снабжен опорными колесами, закрепленными на платформе. Для уменьшения ручного труда при обработке корнеклубнеплодов генератор тумана предпочтительно установить стационарно на стойке (рис. 1, 2).

Установка работает следующим образом. Лента транспортера обеспечивает перемещение корнеклубнеплодов от места их загрузки на обработку до места разгрузки после обработки. Корнеклубнеплоды растений непрерывно поступают на один конец ленты, например россыпью или в таре (например, в ящиках, сетках), для сквозного пропускания их через камеру для обработки, в которую осуществляют через первое отверстие впуск аэрозоля гуматов из трубы генератора горячего тумана, вставленной, например, в первое отверстие при закрытом втором отверстии [1, с. 1-2, 4-10].

Рис. 2. Общий вид прототипа установки на базе транспортера загрузчика клубней

Впуск аэрозоля гуматов осуществляют вручную от переносного генератора горячего тумана или от стационарно установленного на стойке генератора горячего тумана [2, с. 1-2; 3, с. 1-2, 4-7].

Скорость движения ленты подбирают такой, чтобы обработка в камере была не более 5-8 секунд на 10 кг корнеклубнеплодов, а впуск аэрозоля осуществляют на расстоянии от 0,3 до 0,5 метра от верхнего слоя корнеклубнеплодов.

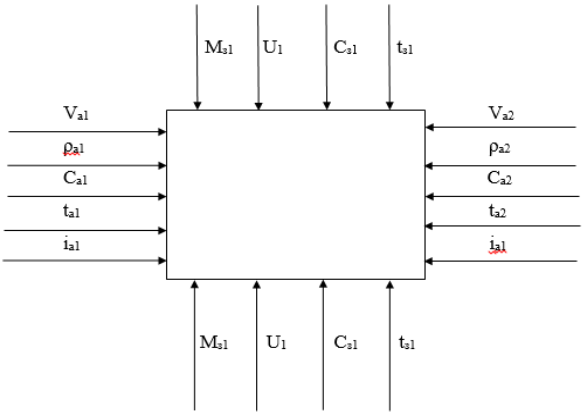


Рис. 3. Детерминированная модель процесса обработки клубней картофеля аэрозолем гуматов

В качестве источника дезинфицирующего раствора предпочтительно применить гуматы с содержанием гуминовых кислот не менее 19,0 г/л и суммой гуминовых и фульвокислот не менее 28,0 г/л. Аэрозоль гуматов на входе в аэрозольную камеру имеет температуру от 30 до 60°С, дисперсность 0,5-10 мкм [1, с. 6; 4, с. 144-146].

Благоприятное воздействие аэрозоля гуматов объясняется тем, что очень мелкие частицы ведут себя в значительной степени подобно газу и обладают очень высокой способностью проникать в мелкие щели и промежутки. Вследствие этого даже при расположении корнеклубнеплодов, например картофеля, слоями или насыпью, или в сетчатых мешках, или в перфорированных пластмассовых ящиках аэрозоль гуматов хорошо проникает ко всем точкам насыпи, мешка или ящика.

Действие аэрозоля гуматов происходит по типу поверхностно-активного вещества (ПАВ), так как гумат приобретает свойства пленки ПАВ с высокой адгезией к криволинейной поверхности корнеклубнеплодов [1, с. 6-7; 5, с. 32-33; 6, с. 100-101].

При обработке картофеля аэрозолем происходят тепло-массообменные процессы, в результате которых повышается температура обработанных клубней, меняется влажность, а также изменяются параметры аэрозоля.

Представим процесс тепло-массо-обмена в виде черного ящика.

Входными параметрами процесса будут V_{a1} - расход аэрозоля до обработки, м^3; C_{a1} - теплоемкость аэрозоля до обработки, кДж; t_{a1} - температура аэрозоля, °С; ρ_{a1} -плотность аэрозоля до обработки, кг/м^3; $M_{з1}$ - расход клубней до обработки, кг/ч; $C_{з1}$ - теплоемкость клубней до обработки, кДж; $t_{з1}$ - температура клубней до обработки, °С; $u_{з1}$ - влагосодержание клубней до обработки, кг/кг.

Выходными параметрами будут: V_{a2} - расход аэрозоля после обработки, м^3; C_{a2} - теплоемкость аэрозоля после обработки, кДж; t_{a2} - температура аэрозоля после обработке, °С; $M_{з2}$ - расход клубней после обработки, кг/ч; $C_{з2}$ - теплоемкость клубней после обработки, кДж; $t_{з2}$ - температура клубней после обработки, °С; $u_{з2}$ - влагосодержание клубней после обработки, кг/кг; ρ_{a2} - плотность аэрозоля после обработки, кг/м^3.

Следует отметить, что в процессе обработки клубней аэрозолем в камеру для обработки будет поступать атмосферный воздух, который будет смешиваться с аэрозолем. Запишем уравнение баланса для определения:

$$C_{a0}\cdot\rho_{a0}\cdot V_{a0}\cdot(t_{a1}-t_{a0})+C_{в0}\cdot\rho_{в0}\cdot V_{в0}=C_{a1}\cdot\rho_{a1}\cdot V_{a1}(t_{a1}-t_{a0}) \quad (1)$$

где $C_{в0}$ - теплоемкость атмосферного воздуха, кДж; $\rho_{в0}$ - плотность атмосферного воздуха, кг/м^3; $V_{в0}$ - расход атмосферного воздуха, м^3/ч;

Исходя из соотношения аэрозоля и атмосферного воздуха, параметры полученного аэрозоля определяем следующим отношением:

$$\rho_{a1}=\rho_{a0}+k\cdot\rho_{в0}, \quad (2)$$

где k – коэффициент поступающего атмосферного воздуха.

Аналогично будет определяться объем полученного аэрозоля:

$$V_{a1}=V_{a0}+k\cdot V_{в0}. \quad (3)$$

С учетом вышеприведенных формул, температура полученного аэрозоля определяется следующим выражением:

$$t_{a1}=\frac{C_{a0}\cdot\rho_{a0}\cdot V_{a0}\cdot(t_1-t_0)+C_{в0}\cdot\rho_{в0}\cdot V_{в0}}{C_{a1}\cdot\rho_{a1}\cdot V_{a1}}+t_{a0} \quad (4)$$

Расход аэрозоля, с учетом нагрева клубней, рассчитывается следующим образом:

$$V_{a1}=\frac{M_{з1}\cdot\left[(u_2-u_1)\cdot(i_a-C_{з2}\cdot t_{з1})+C_{з2}\cdot(t_{з2}-t_{з1})\right]}{\rho_a\cdot(C_{a1}\cdot t_{a1}-C_{a2}\cdot t_{a2})} \quad (5)$$

где $M_{з1}$ – расход клубней, кг/ч; i_a – энтальпия аэрозоля, кДж/кг.

Количество теплоты, передаваемое аэрозолем клубням в камере для обработки, рассчитывается на основание уравнения теплообмена

$$Q_T=\alpha\cdot A_з\cdot\Delta t_з, \quad (6)$$

где $A_з$ - площадь поверхности клубней, м^2; α - объемный коэффициент теплообмена, Вт/(м^3·°С); $\Delta t_з$ – разность средних температур аэрозоля и клубней, °С.

На основании предложенных зависимостей возможно оценить характеристики тепломассообменного процесса, происходящего при обработке клубней картофеля аэрозолем гуматов. Представленные формулы справедливы для установления процесса. Анализ выражения (6) показал, что расход аэрозоля будет зависит от скорости движения клубней в камере для обработки. Также следует отметить, что эффективность обработки аэрозолем будет зависеть от разности температур аэрозоля и клубней картофеля.

Простота установки позволяет оперативно, экологически безопасно, нетоксично и без побочных эффектов, обработать большое количество корнеклубнеплодов. Данная установка эффективна с точки зрения её себестоимости и безопасности.

Выводы

Таким образом, работа на установке при предпосадочной обработке корнеклубнеплодов или закладке их на хранение безопасна, не создает вредных остатков и побочных эффектов, не оставляет каких-либо нежелательных химических веществ в материалах или воде, почве или на оборудовании, в помещениях и на поверхностях и не подвергает опасности здоровье работников, которые осуществляют практическую работу или доставку корнеклубнеплодов, обработанных ими. При этом обработка эффективна в различных условиях расположения клубней для доступа аэрозоля гуматов и обеспечивает усиление антибактериальной активности, проникающей способности и адгезии к поверхности клубней в течение длительного периода времени (до нескольких суток).

Установка применима перед закладкой корнеклубнеплодов на хранение, в том числе картофеля, моркови, лука, свеклы, яблок, груш, и для предпосадочной обработки посадочного материала в виде картофеля, луковиц или клубней и даже корней других растений, в том числе топинамбура, лука, клубней и луковиц цветов, корней лекарственных растений и даже семян.

Литература

1. Патент РФ № 158282. Установка для обработки корнеклубнеплодов растений перед посадкой или закладной на хранение/ Костенко М.Ю., Тетерин В.С., Мельников В.С., Костенко Н.А., Горячкина И.Н., Соколов Д.О.; заявитель и патентообладатель Мельников В.С.: №2015131443/13; заявл. 28.07.2015 // БИ. 2015. № 36.
2. Патент РФ № 142474. Установка для обработки рабочих поверхностей дезинфицирующим раствором с помощью водяного пара / Мельников В.С., Костенко М.Ю., Горячкина И.Н.; заявитель и патентообладатель Мельников В.С.: №2014111358/15; заявл. 25.03.2014 // БИ. 2014. №18.
3. Патент РФ № 2554770. Способ обработки рабочих поверхностей дезинфицирующим раствором с помощью водяного пара и установка для его осуществления / Горячкина И.Н., Костенко М.Ю., Мельников В.С., Тетерин В.С.; заявитель и патентообладатель Горячкина И.Н.: №2014110969/15; заявл. 21.03.2014 // БИ. 2015. №18.
4. *Горячкина И.Н.* Влияние режимов работы генератора горячего тумана на микробиологические показатели / И.Н. Горячкина, В.С. Мельников, В.С. Тетерин, Ф.М. Муродов // Вестник совета молодых учёных Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2015. №1. С. 143 – 147.
5. *Большаков А.О*. Закладка картофеля на хранение с применением аэрозольной обработки гуматами / А.О. Большаков, И.Н. Горячкина, В.М. Соколин // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России: Материалы Национальной научно-практ. конф. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, 2016. С. 31-34.
6. *Горячкина И.Н.* Обеспечение сохранности картофеля на основе применения гуматов / И.Н. Горячкина, М.Ю. Костенко, В.С. Мельников // Инновационные агротехнологии и средства механизации для развития органического земледелия: Материалы Международной научно-практ. конф. – Рязань: ФГБНУ ВНИМС, 2015. – С. 99-105.

Сведения об авторах:

Горячкина Ирина Николаевна – канд. техн. наук, доцент, e-mail: gin.81@ mail.ru
Тетерина Ольга Анатольевна – аспирант**,**
e-mail: olia.teterina@mail.ru
Костенко Михаил Юрьевич – доктор техн. наук, доцент, e-mail: kostenko.mihail2016@yandex.ru
Рембалович Георгий Константинович – доктор техн. наук, доцент, e-mail: rgk.rgatu@yandex.ru
Юхин Иван Александрович - канд. техн. наук, доцент, e-mail yuival@rambler.ru,
ФГБНУ «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»,
г. Рязань, Россия

INSTALLATION FOR DEPOSITION OF THE HUMATE AEROSOL IN THE STREAM OF AGRICULTURAL PRODUCTION

I.N. Goryachkina, O.A. Teterina, M.Yu. Kostenko, G.K. Rembalovich, I.A. Yukhin

Installation for processing of tubers and fruits of plants before landing or storage for environmentally friendly and effective disinfection with application of an aerosol of humates is offered. Installation contains the conveyor with a tape, the camera for processing with two openings (for giving aerosol of disinfection solution at different height from a tape of the conveyor), the camera covers a part of a tape of the conveyor in a zone of processing of tubers. Means of formation of an aerosol in mix with disinfection solution is executed in the form of the independent generator of fog with a pipe, the source of disinfection solution (water solution of a humate) is placed in the capacity for disinfection solution which is a part of the generator of fog. For simplification of loading and unloading works in field conditions, in warehouses, in storages, shops the conveyor is executed mobile with a possibility of the reverse movement of a tape and supplied with the basic wheels fixed on the platform. As a source of disinfecting solution it is preferable to apply humates with the content of humic acids not less than 19.0 g/l and the sum humic and fulvic acids not less than 28.0 g/l. The aerosol of humates on an entrance to the aerosol camera has temperature of 30 - 60 °C, dispersion of 0,5-10 microns.

Keywords: aerosol of humates, korneklub-neploda, disinfection, fog generator.

References

1. Patent RF No. 158282. Installation for processing of tubers and fruits of plants before landing or a bookmark to Storage / Kostenko M.Yu., Teterin V.S., Melnikov V.S., Kostenko N.A., Goryachkina I.N., Sokolov D.O.; applicant and patent holder Melnikov V.S. No. 2015131443/13; it is stated 28.07.2015. *Bulletin of Inventions.* 2015; 36.
2. Patent RF No. 142474. Installation for processing of working surfaces disinfecting solution by means of water vapor / Melnikov V.S., Kostenko M.Yu., Goryachkina I.N.; applicant and patent holder Melnikov V.S.: No. 2014111358/15; it is stated 25.03.2014. *Bulletin of Inventions.* 2014; 18.
3. Patent RF No. 2554770. A way of processing of working surfaces disinfecting solution by means of water vapor and installation for his implementation / Goryachkina I.N., Kostenko M.Yu., Melnikov V.S., Teterin V.S.; applicant and patent holder Goryachkina I.N. No. 2014110969/15; it is stated 21.03.2014. *Bulletin of Inventions*. 2015; 18.
4. Goryachkina I.N., etc. Influence of operating modes of the generator of hot fog on microbiological indicators. *Vestnik soveta molodyh uchjonyh Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva.* 2015; 1: 143 – 147.
5. Bolshakov A.O., Goryachkina I.N., Sokolin V.M. Laying of potatoes on storage with application of aerosol processing by humates. *Innovacionnoe razvitie sovremennogo agropromyshlennogo kompleksa Rossii*: Materials of the National scientific and practical conference. – Ryazan: Ryazan state agrotechnological university of P.A. Kostychev, 2016. P. 31-34.
6. Goryachkina I.N., Kostenko M.Yu., Melnikov V.S. Ensuring safety of potatoes on the basis of application of humates. *Innovacionnye agrotehnologii i sredstva mehanizacii dlja razvitija organicheskogo zemledelija*: Materials of the International scientific and practical conference. – Ryazan: FGBNU VNIMS, 2015. P. 99-105.

Authors:
I. Goryachkina – Ph. D. (Engineering), associate professor. e-mail: gin.81@ mail.ru**,**
O. Teterina – postgraduate student**,**
e-mail: olia.teterina@mail.ru**,**
M. Kostenko – D.Sc. (Engineering), associate professor**,**
e-mail: kostenko.mihail2016@yandex.ru
G. Rembalovich – D.Sc. (Engineering), associate professor**,** e-mail: rgk.rgatu@yandex.ru**,**
I. Yukhin – Ph. D. (Engineering), associate professor,
e-mail yuival@rambler.ru,
Ryazan state agrotechnological university of P.A. Kostychev, Ryazan, Russia.

• **For citation:** Goryachkina I.N., Teterina O.A., Kostenko M.Yu, Rembalovich G.K., Yukhin I.A. Installation for deposition of the humate aerosol in the stream of agricultural production. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 124-128. (In Russian)

УДК 631.365

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРОПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗЕРНА ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ

Р.А. Калиниченко[1], С.П. Степаненко[2]
[1]Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (НУБиП Украины), г. Киев
[2]Национальный научный центр "Институт механизации и электрификации сельского хозяйства", г. Глеваха, Украина

Тепловая обработка зерна используется для подсушивания, обеззараживания, повышения интенсивности массопереноса при подготовке к хранению в сухом состоянии, скармливанию, удалению масла из масличных материалов. Особое место в новейших технологиях зернопереработки принадлежит термообработке инфракрасным излучением, поскольку кроме удаления влаги и абсолютно безвредного обеззараживания вредной микрофлоры повышаются кормовые качества зернового материала вследствие физико-химических изменений обрабатываемого материала и инактивации антипитательных веществ. Но при высокоинтенсивных процессах ИК–термообработки энергетические показатели на единицу готового продукта резко повышаются, Поэтому актуальна задача определения режимов и параметров проведения процесса для энергетической оптимизации. В статье приведены результаты исследований взаимосвязанных процессов виброперемещения и высокоинтенсивной термообработки зерна для определения рациональных режимов и параметров машин для термообработки зерна.

Ключевые слова: *виброперемешение, термообработка зерна, коэффициент трения, радиационный поток, экспозиция микронизации.*

Статья поступила в редакцию 31.05.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования**: Калиниченко Р.А., Степаненко С.П. Математическое моделирование виброперемещения зерна при термообработке // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 129-133.

Введение. В современной комбикормовой, пищевой и перерабатывающей промышленности большое значение уделяется изучению и внедрению различных методов тепловой обработки зерна, как одному из путей повышения эффективности его использования [1]. Среди различных способов термической обработки зерновых материалов процесс инфракрасной (ИК) термообработки принадлежит к числу наиболее эффективных [2]. При ИК-термообработке повышаются питательность и вкусовые свойства зерна, сокращаются затраты организма на переваримость кормов, происходит дезинсекция зерна и инактивация грибной и бактериальной микрофлоры поверхности зерна [3]. Восстановление хлебопекарных свойств дефектного зерна также рекомендуется осуществлять путем интенсивной термообработки зерновой массы для инактивации амилолитических и протеолитических ферментов [4].

Наиболее распространенный способ ИК-термообработки зерна – микронизация (высокоинтенсивная ИК-термообработка) на вибротранспортере. Сдерживающим фактором внедрения способа высокоинтенсивной микронизации является высокая энергоемкость процесса (150 кВт·ч/т и более [5]), особенно при превышении экспозиции термообработки зерна, которая должна соответствовать времени перемещения на вибротранспортере. Экспозиция микронизации зависит от исходной влажности зерна и плотности радиационного потока. Время нахождения зерна на вибротранспортере зависит от многих параметров, в работах [6, 7] при определении времени нахождения зерна на виброповерхности не учитывается изменение коэффициента трения, который по исследованиям [8] меняется от влажности зерна, а влажность зерна меняется в процессе термообработки. Поэтому определение рациональных взаимосвязанных параметров виброперемещения и термообработки зерна – актуальная задача.

Цель исследований: разработать математические модели для определения изменяемых параметров вибротранспортера, чтобы время пребывания зерна на нем и требуемая экспозиция термообработки совпадали.

Методы. Математико-статистические методы теории планирования эксперимента, методы компьютерного моделирования.

Экспериментальная часть. Для определения экспозиции микронизации зерна пшеницы от его начальной влажности и плотности радиационного потока был проведен многофакторный эксперимент на лабораторном стенде. Режим термообработки устанавливали методом накладок [9]. Плотность радиационного потока задавалась значениями q – 25, 27, 29, 31, 35 кВт/м^2.

Для анализа были взяты усредненные образцы зерна пшеницы сорта «Аналог», отобранные по ГОСТ 12036–85, исходным влагосодержанием U_0 – 0,17; 0,25; 0,35 кг/кг.

Для получения уравнения регрессии использовано планирование полнофакторного эксперимента второго порядка [10]. Обработка экспериментальных данных и определение адекватности проводились в пакете Statistica.

Экспериментальные данные по определению зависимости коэффициента трения зерна от его влажности взяты с работы [8].

Результаты и их обсуждение. По результатам проведенного многофакторного эксперимента было получено уравнение регрессии экспозиции микронизации:

$$T = 882.9 - 52q + 538.2U_0 - 11.3qU_0 + 0.79q^2 - 10.9U_0^2 \quad (1)$$

где T – экспозиция микронизации, с; U_0 – исходное влагосодержание, кг/кг; q – плотность радиационного потока, кВт/м^2.

Графическая интерпретация уравнения (1) представлена на рис.1.

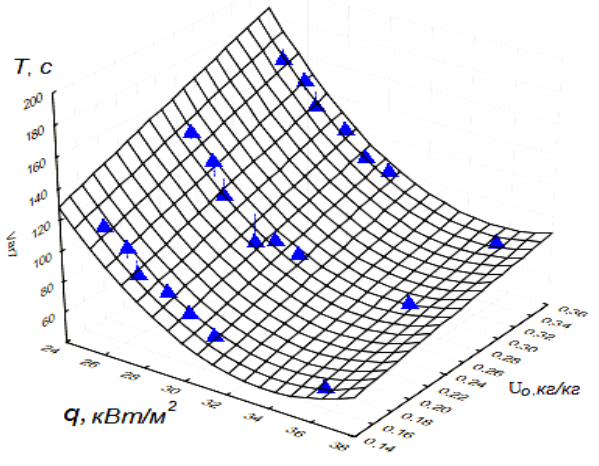


Рис. 1. Поверхность отклика экспозиции микронизации (по формуле (1)) и экспериментальные точки –▲, уровень множественной корреляции R=0,98

Для расчета параметров вибротранспортирования зерна воспользуемся методикой И.И. Блехмана и Г.Ю. Джанелидзе [6].

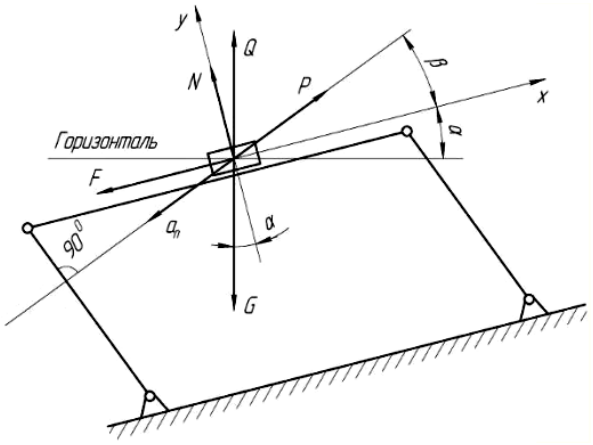


Рис.2. Схема сил при вибрационном перемещении зерновки в случае наклонных колебаний

Дифференциальные уравнения относительного движения материальной частицы по плоскости при вибротранспортировании для случая рис. 2 в проекциях на подвижные оси запишутся в следующем виде:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mA\omega^2 \cdot \cos\beta \sin\omega t - mg\sin\alpha - F; & (2) \\ m\ddot{y} = mA\omega^2 \cdot \sin\beta \sin\omega t - mg\cos\alpha + N, & (3) \end{cases}$$

где m – масса зерновки, mg – сила тяжести, $mA\omega^2 \sin\omega t$ – сила инерции (A – амплитуда колебаний, м; ω – угловая частота колебаний, с$^{-1}$; t – время, с), F – сила трения; N – нормальная реакция; α^0– угол наклона поверхности; β – угол колебаний.

Учитывая, что $F = f \cdot N$, перепишем (2) – (3) в следующем виде:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mA\omega^2 \cdot \cos\beta \sin\omega t - mg\sin\alpha - fN; & (4) \\ m\ddot{y} = mA\omega^2 \cdot \sin\beta \sin\omega t - mg\cos\alpha + N. & (5) \end{cases}$$

где f – коэффициент трения.

Рассмотрим режимы движения зерновки по поверхности без отрыва. Уравнения движения зерновки получим из (4) – (5) для относительного движения без отрыва зерновки $y = const \rightarrow \ddot{y} = 0$, тогда из (5) определяем N и подставляем в (4) после преобразований, получим:

$$\ddot{x} = A\omega^2 \sin \omega t(\cos \beta + f \sin \beta) - g(\sin \alpha + f \cos \alpha) \quad (6)$$

Коэффициент трения f зависит от влагосодержания зерна, для его определения аппроксимируем экспериментальные данные [8] и получим эмпирическую зависимость динамического коэффициента трения зерна от влагосодержания в виде:

$$f = b_0 - b_1 \cdot U^{b2}. \quad (7)$$

На рис. 3 изображена расчетная кривая по формуле (7) и экспериментальные данные, коэффициент множественной корреляции зависимости (7) и экспериментальных точек – R = 0.99.

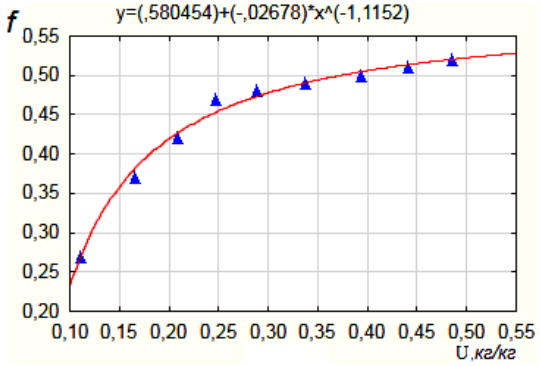


Рис. 3. Кривая зависимости коэффициента трения от влагосодержания зерна (▲ – экспериментальные точки)

Влагосодержание зерна на вибротранспортере изменяется от максимального U_0 в начале транспортера до минимального $U_к$ в конце вибротранспортера. Среднее значение коэффициента динамического трения зерна, который будет зависит от его начального (до микронизации) и конечного влагосодержания, определим из (7):

$$f_s = \frac{1}{U_0 - U_k}\int_{U_k}^{U_0} b_0 - b_1 U^{b_2} dU = b_0 + \frac{b_1\left(U_k^{1+b_2} - U_0^{1+b_2}\right)}{(U_0 - U_k)(1+b_2)} \quad (8)$$

Скорость перемещения зерна на вибротранспортере в соответствии с [7] находим из зависимости:

$$\upsilon = A\omega\cos\beta\cos\varepsilon\sqrt{1-\left(\frac{\varepsilon z_+}{\sin\varepsilon}\right)^2}\left[\frac{2}{\pi} f_s tg\beta\left(tg\varepsilon - \varepsilon + \frac{\pi}{2}\right) - 1\right], \quad (9)$$

где υ – средняя скорость движения зерновки, м/с;

$$\varepsilon = \pi\frac{K}{K-1};\ K = \frac{z_-}{z_+};\ z_+ = \frac{g}{A\omega^2} tg(\rho - \beta);$$

$$z_- = -\frac{g}{A\omega^2} tg(\rho + \beta);\ \rho = arctg\, f_s. \quad (10)$$

Время перемещения зерновки на вибротранспортере находим из зависимости:

$$T_v = \frac{L}{\upsilon}, \quad (11)$$

где L– длина вибротранспортера, м.

Очевидно, что для качественной микронизации зерна её экспозиция, которая определяется по зависимости (1) и время перемещения на вибротранспортере (под ИК-нагревателями) по зависимости (11) должны совпадать.

Приравняв формулы (1) и (11) и решив численно уравнение относительно угловой частоты (как параметра, который наиболее легко поддается регулированию) или угла наклона решета – α при изменяющихся начальных данных влажности зерна – U_0 и плотности радиационного потока – q, получим рациональные режимные параметры вибротранспортера – рис .4, 5.

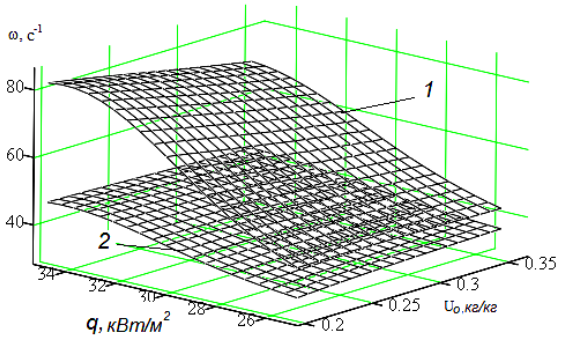


Рис. 4. Зависимости угловой частоты от режимных параметром

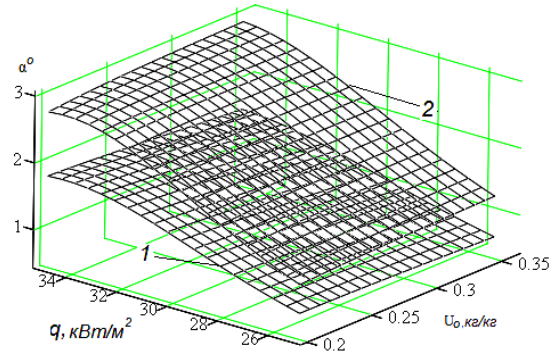


Рис.5. Зависимости угла наклона виброповерхности от режимных параметром

Выводы

Получен математический аппарат, который позволяет определять рациональные режимные параметры работы вибротранспортера в зависимости от исходного влагосодержания зерна и плотности радиационного потока от ИК-нагревателей при термообработке.

Литература

1. *Елькин Н.В.* Теория и практика инфракрасной обработки зерна и крупы / Н.В. Елькин // Хранение и переработка зерна. 2006. № 4. С. 26–30.
2. *Кочанов Д.С.* Научное обеспечение процесса микронизации зерновых культур и разработка технологии производства комбикормов из микронизированого зерна: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.18.12 / Д.С. Кочанов. – Воронеж: ФГБОУВПО «ВГУИТ», 2014. –24 с.
3. *Дрынча В.М.* Основные принципы предпосевного химического протравливания и физического обеззараживания семян / *В.М. Дрынча, Б.Д. Цыпендоржиев* // Хранение и переработка зерна. 2010. № 12. С. 18–22.
4. *Губиев Ю.К.* Термообработка зерна микроволновым полем / Ю.К. Губиев, С. Пунков, Р.К. Эркинбаева // Известия вузов. Пищевая технология. 1995. №1–2. С. 86–90.
5. *Котов Б.И.* Математическая модель динамических режимов электротермической установки для обработки зерноматериалов импульсными потоками инфракрасного излучения / Б.И. Котов, В.В. Кифяк, Р.А. Калиниченко // Вестник ХНТУСГ имени Петра Василенко. 2014. Вып. 152. С. 181–191.
6. *Блехман И.И.* Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. – М.: Наука, 1964. – 410 с.
7. *Гортинский В.В.* Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. –304с.
8. *Губанов А.А.* О результатах экспериментального изучения коэффициента динамического трения семян зерновых культур / А.А. Губанов, В.И. Калинин, В.С. Ромалийский, А.С. Абдрахманов // НТБ ВИМ. 1976. Вып. 30. – С. 48–51.
9. *Павлов С.А.* Влияние плотности инфракрасного излучения на обработку фуражного зерна / С.А. Павлов // Сборник научных трудов ВИМ. Т. 100. М.: ВИМ, 1984. – С. 139–143.
10. *Винарский М.С.* Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – М.: Техника, 1975. – 168 с.

Сведения об авторах:

Калиниченко Роман Андреевич – канд. техн. наук, доцент, e-mail: rkalinichenko@ukr.net,
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (НУБиП Украины), г. Киев, Украина;
Степаненко Сергей Петрович – канд. техн. наук, e-mail: stepanenko_s@ukr.net,
Национальный научный центр “Институт механизации и электрификации сельского хозяйства”, г. Глеваха, Украина.

MATHEMATICAL MODELING OF GRAIN VIBRO-DISPLACEMENT IN HEAT TREATMENT

R. Kalinichenko, S. Stepanenko

Heat treatment of grain is used for drying, disinfection, increasing the mass transfer intensity in preparation for storage in a dry state, feeding, removing oil from oil-bearing materials and products. A special place in the newest technologies of grain processing belongs to heat treatment by infrared radiation, since, in addition to removing moisture and absolutely harmless disinfection of harmful microflora, the forage qualities of grain material increase due to physicochemical changes in the processed material and inactivation of anti-nutrients. But with high–intensity processes of IR heat treatment, the energy performance per unit of finished product sharply increases, so the definition of modes and parameters of the process for energy optimization is an actual task. The article studies the results of studies of interrelated processes of vibro-displacement and high-intensity heat treatment of grain for determining rational regimes and parameters of machines for heat treatment of grain.

Keywords: vibro-displacement, heat treatment of grain, coefficient of friction, radiation flux, exposure of micronization.

References

1. Elkin N.V. Teorija i praktika infrakrasnoj obrabotki zerna i krupy [Theory and practice of infrared processing of grain and grain]. J. *Hranenie i pererabotka zerna*. 2006; 4: 26-30. (In Russian)
2. Kochanov D.S. Nauchnoe obespechenie processa mikronizacii zernovyh kul'tur i razrabotka tehnologii proizvodstva kombikormov iz mikronizirovanogo zerna [Scientific ensuring process of micronization of

grain crops and development of the production technology of compound feeds from the micronized grain]: Abstract of the theses … Ph. D. (Engineering): 05.18.12. – Voronezh: FGBOU VPO "VGUIT", 2014. 24 ps. (In Russian)

3. Dryncha V.M., Tsynendorzhiyev B.D. Basic principles of a preseeding chemical treatmentand physical disinfecting of seeds. J. *Hranenie i pererabotka zerna*. 2010; 12: 18-22. (In Russian)
4. Gubiyev Yu.K., Punkov S., Erkinbakva R.K. Termoobrabotka zerna mikrovolnovym polem [Grain heat treatment by the microwave field]. J. *Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija*. 1995; 1-2: 86-90. (In Russian)
5. Kotov B.I., Kifyak V.V., Kalinichenko R.A. Matematicheskaja model' dinamicheskih rezhimov jelektrotermicheskoj ustanovki dlja obrabotki zernomaterialov impul'snymi potokami infrakrasnogo izluchenija [Mathematical model of the dynamic modes of electrothermal installation for processing of zernomaterial pulse streams of infrared radiation]. J. *Vestnik HNTUSG imeni Petra Vasilenko*. 2014; 152: 181-191. (In Russian)
6. Blekhman I.I., Dzhanelidze G.Yu. Vibracionnoe peremeshhenie [Vibration movement]. – Moscow, Nauka, 1964, 410 ps. (In Russian)
7. Gortinsky V.V., Demsky A.V., Boriskin M.A. Processy separirovanija na zernopererabatyvajushhih predprijatijah [Processes of separation at the grain processing enterprises]. – 2nd prod., reslave. and additional. Moscow, Kolos, 1980, 304 ps. (In Russian)
8. Gubanov A.A., Kalinin V.I., Romaliysky V.S. Abdrakhmanov A.S. O rezul'tatah jeksperimental'nogo izuchenija kojefficienta dinamicheskogo trenija semjan zernovyh kul'tur [About results of experimental studying of coefficient of dynamic friction of seeds of grain crops]. J. *NTB VIM*. 1976; 30: 48-51. (In Russian)
9. Pavlov S.A. Vlijanie plotnosti infrakrasnogo izluchenija na obrabotku furazhnogo zerna [Influence of density of infrared radiation on processing of fodder grain]. *Nauchnye trudy VIM*; 100: 139-143. Moscow, WEAM, 1984. (In Russian)
10. Vinarsky M.S., Lurye M.V. Planirovanie jeksperimenta v tehnologicheskih issledovanijah [Planning of an experiment in technological researches]. – Moscow, Tehnika, 1975. 168 ps. (In Russian)

Authors:

R. Kalinichenko – Ph. D. (Engineering), associate professor, e-mail: rkalinichenko@ukr.net,

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine;

S. Stepanenko – Ph. D. (Engineering),

e-mail: stepanenko_s@ukr.net,

National scientific center "Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture", Glevakha, Ukraine.

• **For citation:** Kalinichenko R.A., Stepanenko S.P. Mathematical modeling of grain vibro-displacement in heat treatment. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 129-133. (In Russian)

УДК 631.362

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ЗЕРНА СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИКИ

А.Д. Курганский
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (НУБиП Украины), г. Киев, Украина

Изложены основные положения, определяющие целесообразность охлаждения зерна после высушивания в высокотемпературных сушках с использованием выносных охладителей. Проанализированы на основе имеющихся публикаций возможности интенсификации процесса охлаждения воздушным потоком при увеличении скорости обтекания частиц зернового потока. При этом установлено, что эффективным способом реализации интенсивного охлаждения является его совмещение с процессом транспортирования зерна. Приведено математическое описание динамического теплообмена в процессе охлаждения зерна с учетом распределения температуры компонентов двухфазного потока по координате перемещения. Для синтеза системы автоматического управления (САУ) режимом разработана линеаризованная динамическая модель процесса охлаждения с учетом изменения параметров по длине теплового тракта. На основе анализа модели предложена система автоматического управления процессом охлаждения путем изменения холодопроизводительности парокомпрессорной установкой в функции тепловой нагрузки на холодильную камеру. Разработаны математические модели стационарного режима охлаждения зерна воздухом в состоянии пневматического транспорта. Получены аналитические зависимости для определения параметров и режима процесса.

Ключевые слова: *охлаждение зерна, аэрогравитационное движение, математичская модель, САУ.*

Статья поступила в редакцию 31.05.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования:** Курганский А.Д. Реализация энергосберегающих режимов охлаждения зерна средствами автоматики // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 134-138.

Постановка проблемы. Необходимость охлаждения зерна после тепловой сушки является одной из важных агротехнических требований к зерносушильных агрегатов и комплексов. Такая технологическая операция осуществляется непосредственно в сушилках (шахтных или колонковых). Практика эксплуатации зерносушилок со встроенными охлаждающими камерами, которые являются продолжением сушильного тракта показала, что они не обеспечивают надлежащего эффекта охлаждения просушенного зерна и, по сути, тормозят процесс сушки в целом.

Выносные охладительные колонки имеют существенные недостатки: необходимость в дополнительных компенсирующих емкостях и транспортных средствах (нории значительной высоты для загрузки просушенного и перегрузки охлажденного зерна). Внедрение прогрессивных способов охлаждения зерна с одновременным его транспортированием в одном технологическом процессе без дополнительных транспортных средств может обеспечить существенное удешевление процесса сушки зерна в целом и имеет важное значение для зерна производственных хозяйств. Метод охлаждения зерна атмосферным или искусственно охлажденным воздухом распространен не только для уменьшения температуры нагретого в сушилках зерна, но и для ликвидации самосогревания влажного зерна при его хранении [1, 2]. Процесс конвективного охлаждения зерна, нагретого при сушке или иной термообработке атмосферным воздухом, в течение более 40 лет [3, 5] остается основным способом, несмотря на его реализацию в установках различных конструкций [6–9].

За последние несколько лет в связи с изменениями в сельскохозяйственном комплексе страны возникла необходимость в механизации послеуборочной обработки зерна для предприятий с малым объемом производства. В частности, стали использовать передвижные зерносушилки малой производительности (3–5 т/ч) зарубежных производителей со встроенными камерами охлаждения, которые являются частью сушильного тракта, на одну треть длины. Таким

образом, при использовании выносных охладителей производительность сушильной установки можно повысить как минимум на 30% [3, 5].

Результаты исследований ряда авторов: А. Тимонина [10], А.В. Авдеева [3], П.Ф. Ханхасаева [8], С. Шуханова [9], М. Соловьева [6] – раскрывают возможности существенной интенсификации процесса воздушного охлаждения путем увеличения скорости обтекания частиц зернового материала потоком охлаждающего агента. Наиболее просто совмещение процессов охлаждения и транспортировки реализуется установкой пневматического [6, 10, 11] и аэрогравитационного транспорта [7, 11], где воздух является транспортирующим и охлаждающим агентом.

В существующих научных работах [6–8] при определении времени (экспозиции) охлаждения (пребывание в контакте с воздухом), как правило, не учитывают изменение температуры воздуха по времени, который теряет охлаждающую способность (температурный напор) при взаимодействии с нагретым зерновым материалом. В работе [7] охлаждение, по величине которого определяют конструктивные параметры установки, рассчитывают без учета интенсивности теплообмена.

Материалы и методы исследования. Специфика вопроса обусловливает аналитический метод определения динамических ресурсов объекта, так как не требует ограничения по конструктивным параметрам оборудования.

Результаты исследований. Динамический процесс охлаждения потока зерноматериала при перемещении с взаимодействием с потоком воздуха имеет температуру, меньшую, чем температура зерна, можно проанализировать, составив математическую модель на основе уравнений теплового баланса зерна и воздуха для элементарного промежутка времени.

Основные допущения, на которых базируется модель нестационарного теплообмена зерна и воздуха:

– теплофизические свойства воздуха и зерна в процессе охлаждения изменяются мало и равны средним значениям за процесс;

– коэффициент теплообмена и удельная поверхность материала принимаются постоянными, не зависящими от температуры; составляющие теплообмена излучением и контактом учитываются коэффициентом теплообмена;

– теплопередача от воздуха и зерна через стенки аппарата не учитывается; теплоемкость стенки канала также не учитывается.

Согласно принятым допущениям запишем дифференциальные уравнения для воздуха и зерна:

$$G_v C_p H \frac{\partial t}{\partial} + m_v C_p \frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha F \cdot (\theta - t), \quad (1)$$

$$G_3 C_3 H \frac{\partial \theta}{\partial} + m_3 C_3 \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \alpha F \cdot (t - \theta), \quad (2)$$

где t, θ – соответственно температура воздуха и зерна, °С; m_v, m_3 – масса воздуха и зерна в объеме пневмоканала, C_p, C_3 – соответственно удельная теплоемкость воздуха и зерна; α – коэффициент теплообмена; F – поверхность зерна; τ – текущее время; H – высота охлаждающей колонки.

Принимая $\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = 0$, получаем уравнение, описывающее устоявшийся режим:

$$\frac{dt}{dx} = K_1 \cdot (\theta - t), \quad (3)$$

$$\frac{d\theta}{dx} = -K_2 \cdot (\theta - t). \quad (4)$$

Вычитая из уравнения (4) уравнение (3), получаем:

$$\frac{d(\theta - t)}{dx} = -(K_1 + K_2) \cdot (\theta - t). \quad (5)$$

Стационарное распределение температуры воздуха и зерна получим решением уравнения (5) при граничных условиях: x = 0; $t = t_1$; $\theta = \theta_1$; $(\theta - t) = \theta_1 - t_1$:

$$\theta = t + (\theta_1 - t_1) \cdot e^{-kx}, \quad (6)$$

$$t = \theta - (\theta_1 - t_1) \cdot e^{-kx}. \quad (7)$$

Подставляя значение θ из уравнения (6) в уравнение (3), значение e из уравнения (7) в уравнение (4), получим:

$$\frac{dt}{dx} = K_1 \cdot (\theta_1 - t_1) \cdot e^{-kx}, \quad (8)$$

$$\frac{d\theta}{dx} = -K_2 \cdot (\theta_1 - t_1) \cdot e^{-kx}. \quad (9)$$

Подставляя величины градиентов температуры из (8) и (9) соответственно в (1) и (2), после преобразований получим систему уравнений динамики:

$$T_1 \frac{\partial t}{\partial \tau} + t = \theta - (\theta_1 - t_1) \cdot e^{-kx}, \quad (10)$$

$$T_2 \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \theta = t + (\theta_1 - t_1) \cdot e^{-kx}. \quad (11)$$

Уравнения (10), (11) нелинейны, так как в общем случае величины: $t_1(\tau), G_v, G_3(\tau), \theta_1(\tau)$ могут быть переменными во времени. Функции $F_1(x)$ и $F_2(x)$ трансцендентные относительно управляющей величины G_v и возмущающей G_3.

Для линеаризации уравнений (10) и (11) запишем их в приростах с учетом минерализации функции e^{-kx} расположением ее в ряд $e^{-kx} = 1 - Kx$. Переписывая уравнение (10) и (11) в приростах $y = y_0 + \Delta y$ (где y_0 - значения параметра *y* в установившемся режиме) после преобразований получим систему линейных дифференциальных уравнений:

$$T_1 \frac{\partial \Delta t}{\partial \tau} + \Delta t = \Delta\theta + K_1 \Delta t_1 + K_2 \Delta\theta_1 + K_3 \Delta G_v + K_4 \Delta G_3, \quad (12)$$

$$T_2 \frac{d\theta}{d\tau} + \Delta\theta = \Delta t + K_5 \Delta t_1 + K_6 \Delta\theta_1 + K_7 \Delta G_v + K_8 \Delta G_3. \quad (13)$$

После преобразований по Лапласу при нулевых начальных условиях получили систему управлений в операторной форме:

$$(T_1 p + 1)\Delta t(p) = \Delta\theta(p) + K_1 \Delta\theta_1(p) + K_2 \Delta t_1(p) + K_3 \Delta G_v(p) + K_4 \Delta G_3(p). \quad (14)$$

$$(T_2 p + 1)\Delta\theta(p) = \Delta t(p) + K_1 \Delta\theta_1(p) + K_2 \Delta t_1(p) - K_3 \Delta G_v(p) - K_4 \Delta G_3(p) \quad (15)$$

В уравнениях (10) – (15) обозначено:

$$T_1 = \frac{m_v C_p}{\alpha F}; T_2 = \frac{m_3 C_3}{\alpha F}; K_1 = (A + B_1 G_v + B_2 G_3)x = K_2;$$

$$K_3 = B_1 x(t_1 - \theta_1);$$

$$K_4 = B_2 x(t_1 - \theta_1); A = (1 - \frac{\alpha F}{C_p H} a_1 - \frac{\alpha F}{C_m H} a_2)x;$$

$$B_1 = \frac{\alpha F}{C_p H} b_1 G_v; B_2 = \frac{\alpha F}{C_m H} b_2 G_3,$$

где a_1, a_2, b_1, b_2 – коэффициенты линеаризации.

При использовании для искусственного охлаждения воздуха, который подается в охладитель зерна, необходимо добавить уравнения, характеризирующие статику холодильной установки [11]. Зависимость температуры воздуха на выходе воздухоохладителя (равной температуре воздуха, входящего в зерноохладитель) от параметров компрессорной установки получим в приращениях

$$\Delta t = K_5 \Delta\theta_0 + K_6 \Delta G_v + \Delta t_0,$$

где $K_5 = \frac{1}{KF} + \frac{a_3 + b_3 G_v}{2C_p}; K_6 = \frac{b_3 \theta_0}{2C_p}; \Delta\theta_0$ – холоднопроизводительность холодильного агрегата; t_0 – температура кипения хладоагента; KF – коэффициент теплопередачи и поверхность испарителя.

Решение системы уравнений (14) и (15) получено в виде пересадочных функций и структурной схемы линеаризованной математической модели динамики тепловых процессов при охлаждении зерна при перемещении воздушных потоков:

$$W_1(P) = \frac{\Delta\theta(P)}{\Delta\theta_1(P)} = \frac{K_1}{T_{2p} + 1}; W_2(P) = \frac{\Delta\theta(P)}{\Delta t_1(P)} = \frac{K_2}{T_{2p} + 1} W_3(P) = \frac{\Delta\theta(P)}{\Delta G_v(P)} = \frac{K_3}{T_{2p} + 1};$$

$$W_4(P) = \frac{\Delta\theta(P)}{\Delta G_3(P)} = \frac{K_4}{T_{2p} + 1}; W_5(P) = \frac{\Delta\theta(P)}{\Delta t(P)} = \frac{1}{T_{2p} + 1} W_6(P) = \frac{\Delta t(P)}{\Delta\theta_1(P)} = \frac{K_1}{T_{1p} + 1};$$

$$W_7(P) = \frac{\Delta t(P)}{\Delta t_1(P)} = \frac{K_2}{T_{1p} + 1}; W_8(P) = \frac{\Delta t(P)}{\Delta G_v(P)} = \frac{K_3}{T_{1p} + 1}; W_9(P) = \frac{\Delta t(P)}{\Delta G_3(P)} = \frac{K_4}{T_{1p} + 1};$$

$$W_{10}(P) = \frac{\Delta t(P)}{\Delta\theta(P)} = \frac{1}{T_{1p} + 1}; W_{11}(P) = \frac{\Delta t_1(P)}{\Delta\theta_0(P)} = K_5; W_{12}(P) = \frac{\Delta t_1(P)}{\Delta G_v(P)} = K_6$$

Структурная схема с контуром автоматического регулирования приведена на рис. 1.

Учитывая значительные расходы атмосферного воздуха на охлаждение зерна, изменять этот параметр нерационально. Изменение же холодопроизводительности компрессорной установки в функции тепловой нагрузки на испаритель дает возможность реализовать процесс охлаждения в оптимальном режиме.

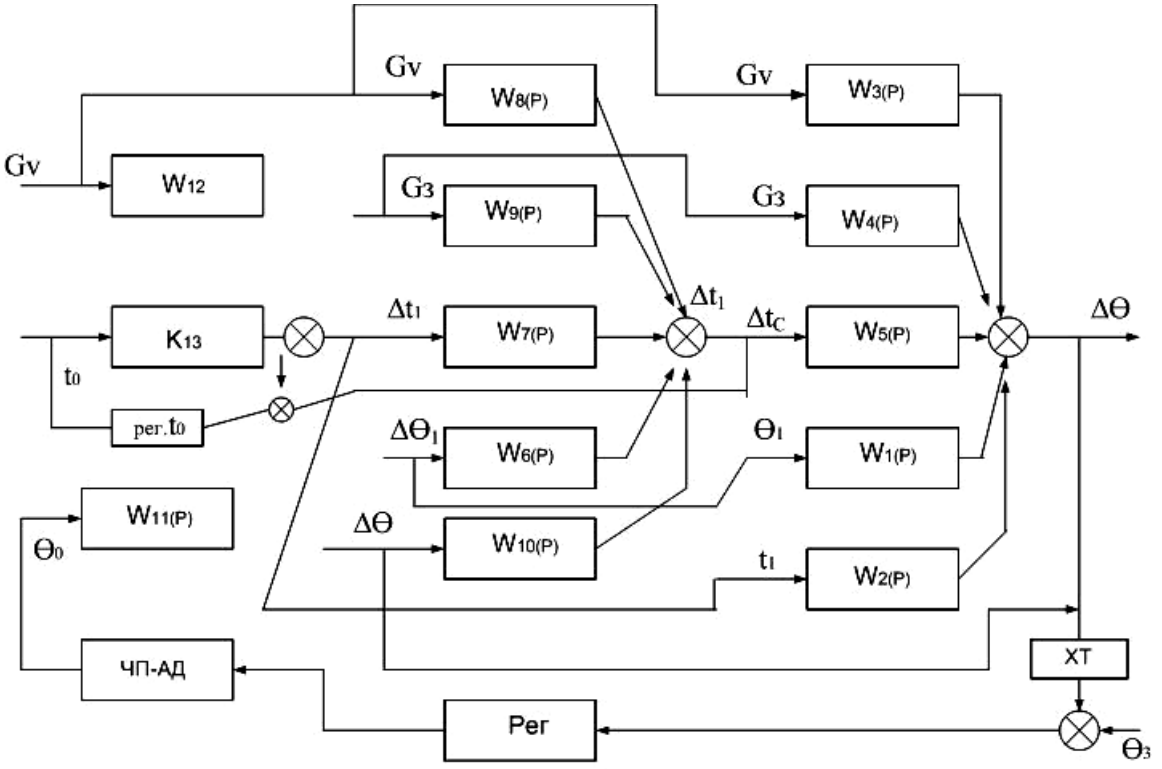


Рис. 1. Структурная схема модели динамики охладителя зерна с САУ холодильной установки

Выводы

Разработана математическая модель динамических режимов установки для охлаждения зерна с использованием компрессорного холодильного агрегата и на основе ее анализа синтезирована САУ энергоэффективным режимом.

Литература

1. Послеуборочная обработка и хранение зерна. Ростов-на-Дону: Март, 2001. – 240 с.
2. *Станкевич Г.Н.* Техника и технологии использования искусственно охлажденного воздуха в процессе хранения зерна / Г.Н. Станкевич, Б.Н. Петруня // Хранение и переработка зерна. 2003. №3. С. 52–53
3. *Авдеев А.В.* Изыскание и исследование рациональных охладителей для зерносушилок сельскохозяйственного назначения: Автореф. дис. … канд. техн. наук. М.: ВИСКОМ, 1975. – 20 с.
4. *Алтухова Т.А.* Экспериментальные исследования работы вихревого охладителя зерна с помощью полнофакторного эксперимента / Т.А. Алтухова, С.Н. Шуханов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. №9. С. 99–102.
5. *Сорочинский В.Ф.* Повышение эффективности конвективной сушки зерна на основе интенсификаций тепломассообменных процессов: Дис. … докт. техн. наук. М., 2003. – 358 с.
6. *Соловьев М.И.* Исследование теплообмена при движении зернистых материалов в горизонтальной пневмотрубе: Автореф, дис. … канд. техн. наук. Минск, 1964. – 20 с.
7. *Блохин П.В.* Аэрогравитационный транспорт. М.: Колос, 1974 – 120 с.
8. *Ханхасаев П.Ф.* Интенсификация процесса охлаждения зерна путем повышения скорости обдува атмосферным воздухом: Автореф. дис. … канд. техн. наук. Новосибирск, 1989. – 18 с.
9. *Шуханов С.Н.* Охлаждение зерна при порционном метании // Вестник АГАУ. 2011. №4. С. 88–92.
10. *Муштаев В.И.* Сушка в условиях пневмотранспорта / В.И. Мушаев, В.М. Ульянов, А.С. Тимонин. – М.: Колос, 1976. –344 с.
11. *Ужанский В.С.* Автоматизация холодильных машин и установок. М.: Пищевая промышленность, 1973. – 296 с.

Сведения об авторе:

Курганский Александр Дмитриевич – аспирант кафедры конструирования машин и оборудования, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (НУБиП Украины), г. Киев, Украина

REALIZATION OF THE ENERGY SAVING MODES OF GRAIN COOLING WITH MEANS OF AUTOMATIC EQUIPMENT

A. Kurgansky

The basic provisions defining expediency of grain cooling after drying in high-temperature drying with use of portable coolers are stated. On the basis of publications possibilities of an intensification of process of cooling with an air stream at increase in speed of flow of particles of a grain stream are analyzed. At the same time it is established that an effective way of intensive cooling is his combination with grain transportation process. The mathematical description of dynamic heat exchange in the course of cooling of grain taking into account distribution of temperature of components of a two-phase stream on movement coordinate is provided. The linearized dynamic model of process of cooling taking into account change of parameters on length of a thermal path is developed for synthesis of system of automatic control of the mode. On the basis of the analysis of model the system of automatic control of process of cooling is offered. Mathematical models of the stationary mode of cooling of grain with air in a condition of pneumatic transport are developed. Analytical dependences for determination of parameters and the mode of process are received.

Keywords: grain cooling, aero gravitational movement, mathematical model, system of automatic control.

References

1. Posleuborochnaja obrabotka i hranenie zerna [Post-harvest processing and storage of grain]. Rostov-on-Don: March, 2001. 240 ps.
2. Stankievich G.N., Petrunya B.N. Tehnika i tehnologii ispol'zovanija iskusstvenno ohlazhdennogo vozduha v processe hranenija zerna [The equipment and technologies of use of artificially cooled air in the course of grain storage]. J. *Hranenie i pererabotka zerna*. 2003; 3: 52-53. (In Russian)
3. Avdeev A.V. Izyskanie i issledovanie racional'nyh ohladitelej dlja zernosushilok sel'skohozjajstvennogo naznachenija [Research and a research of rational coolers for a grain dryers of agricultural purpose]: Abstract of the thesis … of the Ph.D. (Engineering). Moscow, 1975. – 20 ps. (In Russian)
4. Altukhova T.A., Shukhanov S.N. Jeksperimental'nye issledovanija raboty vihrevogo ohladitelja zerna s pomoshh'ju polnofaktornogo jeksperimenta [Pilot studies of operation of the vortex cooler of grain by means of a full-factorial experiment]. J. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2013; 9: 99-102. (In Russian)
5. Sorochinsky V.F. Povyshenie jeffektivnosti konvektivnoj sushki zerna na osnove intensifikacij teplomassoobmennyh processov [Increase in efficiency of convective drying of grain on the basis of intensifications the processes of a heatmass exchange]: Thesis … of the D. Sc. (Engineering). Moscow, 2003. 358 ps. (In Russian)
6. Solov'ev M.I. Issledovanie teploobmena pri dvizhenii zernistyh materialov v gorizontal'noj pnevmotrube [Heat exchange research at the movement of granular materials in a horizontal pneumopipe]: Abstract of the thesis … of the Ph.D. (Engineering). Minsk, 1964. 20 ps. (In Russian)
7. Blochin P.V. Ajerogravitacionnyj transport [Aero gravitational transport]. Moscow, Kolos, 1974. 120 ps. (In Russian)
8. Hankhasayev P.F. Intensifikacija processa ohlazhdenija zerna putem povyshenija skorosti obduva atmosfernym vozduhom [An intensification of process of cooling of grain by increase in speed of blowing by atmospheric air]: Abstract of the thesis … of the Ph.D. (Engineering). Novosibirsk, 1989. 18 ps. (In Russian)
9. Shukhanov S.N. Ohlazhdenie zerna pri porcionnom metanii [Cooling of grain at portion throwing]. J. *Vestnik AGAU*. 2011; 4: 88-92. (In Russian)
10. Mushtayev V.I., Ulyanov V.M., Timonin A. S. Sushka v uslovijah pnevmotransporta [Drying in the conditions of pneumotransport]. – Moscow, Kolos, 1976. 344 ps. (In Russian)
11. Uzhansky V.S. Avtomatizacija holodil'nyh mashin i ustanovok [Automation of refrigerators and refrigeration units]. Moscow, Pishhevaja promyshlennost', 1973. 296 ps. (In Russian)

Author:

A. Kurgansky – postgraduate student of department of designing of cars and the equipment,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

• **For citation:** Kurgansky A.D. Realization of the energy saving modes of grain cooling with means of automatic equipment. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 134-138. (In Russian)

УДК 621.3.067

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТИРИСТОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ С ФАЗО-ИМПУЛЬСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

И.М. Голодный, А.Ю. Синявский, А.В. Санченко
Национальный университет биоресурсов и природопользования (НУБиП Украины), г. Киев, Украина

На созданной компьютерной модели и лабораторной установке электропривода вентиляционной установки с тиристорным регулятором напряжения станции управления "Климатика 1" получены энергетическая и регулировочная характеристики, формы кривой напряжения и тока, их спектральный состав. Анализ результатов исследований подтвердил адекватность компьютерной модели реальным характеристикам электропривода, отклонение показаний не превышает 5%.

Ключевые слова: *полупроводниковые преобразователи напряжения, регулировочная характеристика, энергетическая характеристика, высшие гармоники, компьютерная модель.*

Статья поступила в редакцию 31.05.2017 **Принято к публикации 19.11.2017**

• **Для цитирования**: Голодный И.М., Синявский А.Ю., Санченко А.В. Исследование трехфазного асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 139-143.

Актуальность темы. Для регулируемого асинхронного электропривода часто используют полупроводниковые преобразователи напряжения, в частности тиристорные регуляторы [1, 2]. К сожалению, в технической литературе мало уделяется внимания исследованию их рабочих характеристик. Это связано со сложностью или высокой стоимостью проведения таких исследований. С развитием компьютерного моделирования появилась возможность углубить исследования различных характеристик электропривода и сравнить полученные результаты с фактическими данными реального электропривода вентиляционной установки со станцией управления "Климатика-1".

Цель исследования – уменьшение времени и затрат при исследовании регулируемого асинхронного электропривода с помощью компьютерного моделирования и подтверждения адекватности полученных результатов на компьютерной модели результатам реального электропривода вентиляционной установки.

Материалы и методика исследований. Анализ характеристик регулируемого электропривода с тиристорным регулятором напряжения проводился с использованием положений теории электропривода и статистических методов обработки результатов исследований на физической и компьютерной модели в системе MatLab [3].

Результаты исследований. Для проведения исследований асинхронного электропривода разработана модель (рис. 1), которая состоит из асинхронного двигателя АИРП80-А6У2. Двигатель имеет повышенное сопротивление обмотки ротора, что обусловливает увеличенное скольжение при номинальном моменте, повышенный пусковой момент и небольшую кратность пускового тока. Благодаря этому данный двигатель при вентиляторной нагрузке допускает регулировку частоты вращения в широком диапазоне изменением подведенного напряжения.

Трехфазный тиристорный регулятор напряжения состоит из трех однофазных регуляторов, каждый из которых имеет свою систему управления. Синхронизирующие сигналы пилообразного напряжения с каждой фазы через блоки Voltage Measuretment1, Voltage Measuretment2, и Voltage Measuretment3 поступают на соответствующие системы управления тиристорами. Для облегчения пользования моделью силовые тиристорные блоки фаз А и В и их соответствующие системы управления сгруппированы в подсистемы Subsystem, Subsystem1, Subsystem2, Subsystem3.

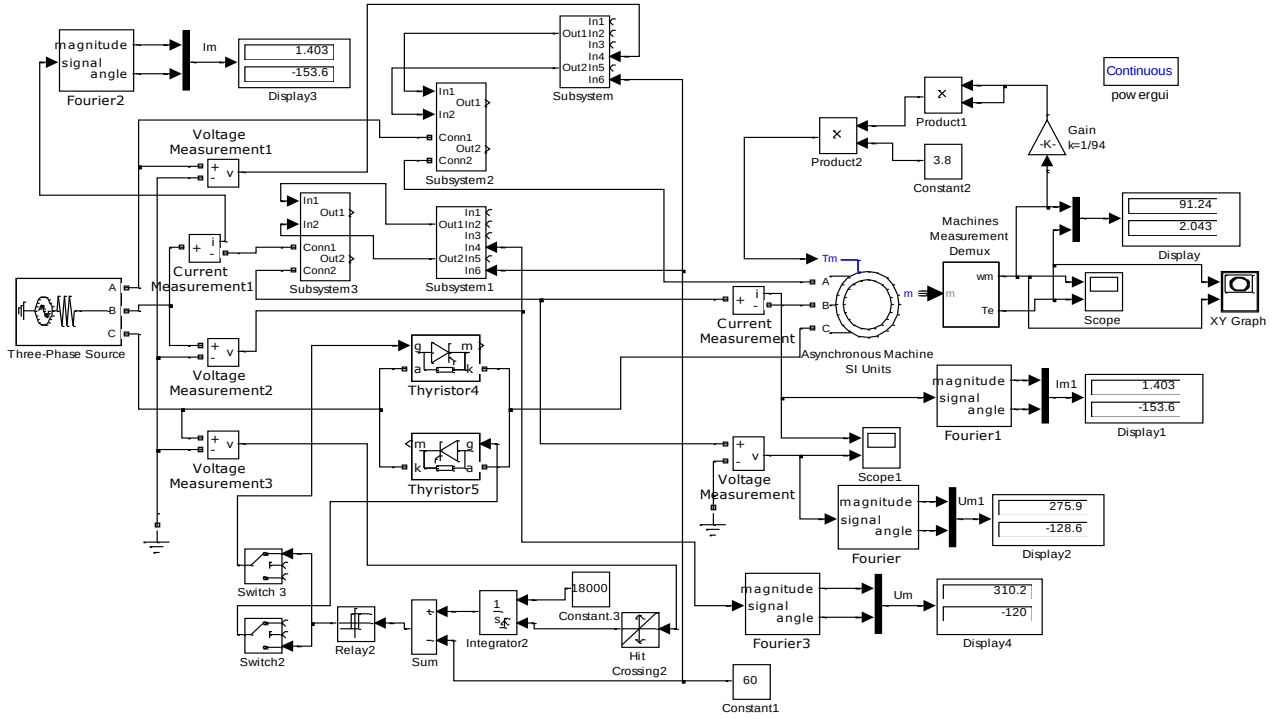


Рис. 1. Модель трехфазного электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением

Блоками Gain, Product1, Constant2 и Product2 создана вентиляторная нагрузка для электродвигателя (пусковой момент не отражен).

Угол открывания тиристоров на всех фазах задается блоком Constant1.

Модель имеет набор виртуальных измерительных приборов, позволяющих проводить исследования энергетических, регулировочных, электромеханических, электромагнитных характеристик. В частности для исследования электромагнитных характеристик использованы блоки: измерение мгновенных значений тока и напряжения на выходе тиристорного регулятора – виртуальный осциллограф Scope1, анализ спектрального состава тока и напряжения проводился с помощью блока Scope1 с использованием блока Powergui.

Блоки Fourier, Fourier1, Fourier2 предназначены для измерения гармонических составляющих тока, напряжения на нагрузке, напряжения питания (верхние значения) и их начальных фаз (нижнее значение).

Исследования характеристик, как на модели, так и на лабораторном стенде, проводились при установившемся режиме работы электропривода и изменении величины напряжения от $0{,}34U_H$ до U_H.

Для регулировочной характеристики $\omega^*=f(U^*)$ значения скорости соответствующему напряжению записывали с измерительного блока Display (верхнее значение). Значение мощности для энергетической характеристики $P^*=f(U^*)$ определяли как произведение $P^*=M\omega/P_H$, где M – текущее значение электромагнитного момента электродвигателя (блок Display, нижнее значение).

Рабочие характеристики (рис. 2), полученные на компьютерной модели, приведены в относительных единицах, то есть текущие значения величин разделены на соответствующие их номинальные значения.

Для сравнения полученных результатов на компьютерной модели с помощью цифрового осциллографа Vellman, комплекта измерительного К-505, тахометра Д-1ММ и цифрового мультиметра DMK-32 были проведены исследования на лабораторном стенде регулируемого электропривода осевого вентилятора ВО-7,1М с двигателем АИРП80А6У2. Линейное напряжение на электродвигателе меняли с помощью тиристорного преобразователя напряжения станции "Климатика-1" с фазо-импульсным управлением. По результатам исследований получили зависимости в относительных единицах $\omega^*=f(U^*)$, $P^*=f(U^*)$. Они приведены на рис. 2 в виде маркеров, соответственно, для регулировочной характеристики - треугольник Δ, для энергетической – х.

При сравнении полученных результатов (рис. 2), видно, что отклонение показаний компьютерной модели и лабораторного стенда не превышает 5%. То есть можно сказать, что результаты исследований подтвердили адекватность компьютерной модели реальным характеристикам электропривода.

На рис. 3 приведены формы кривых тока и напряжения на нагрузке трехфазного тиристорного регулятора.

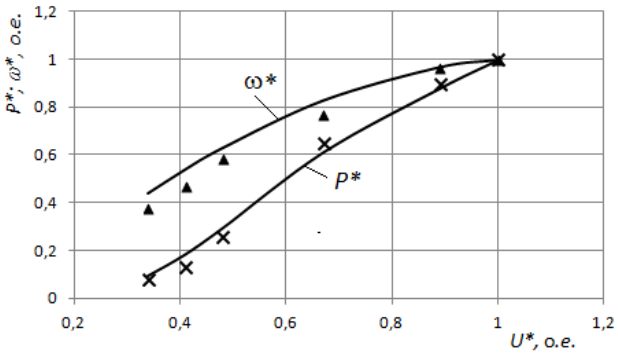


Рис. 2. Рабочие характеристики трехфазного регулируемого асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением

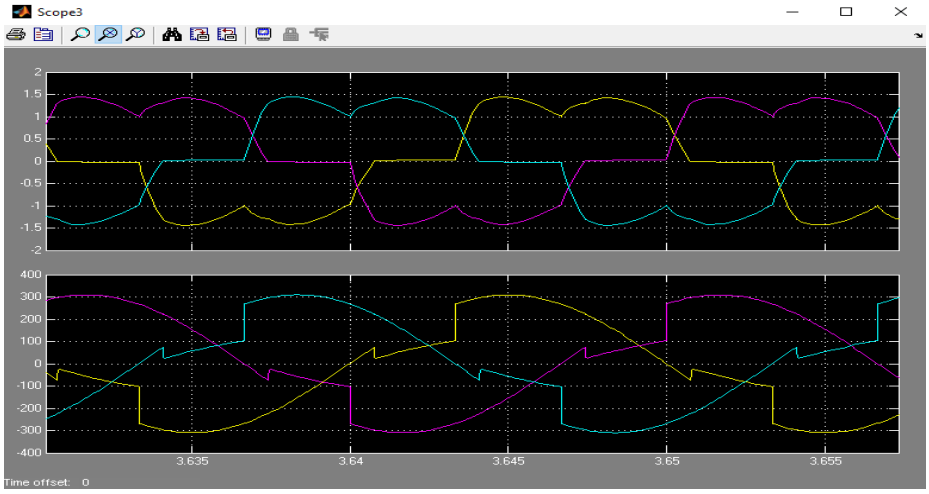
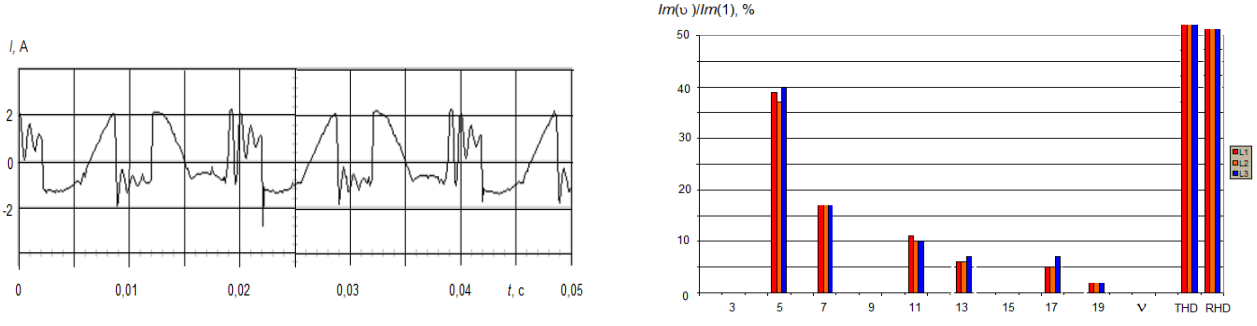


Рис. 3. Мгновенные значения тока (верхняя кривая) и напряжения (нижняя кривая) в нагрузке при $U_{Фm}$(1) 275 В



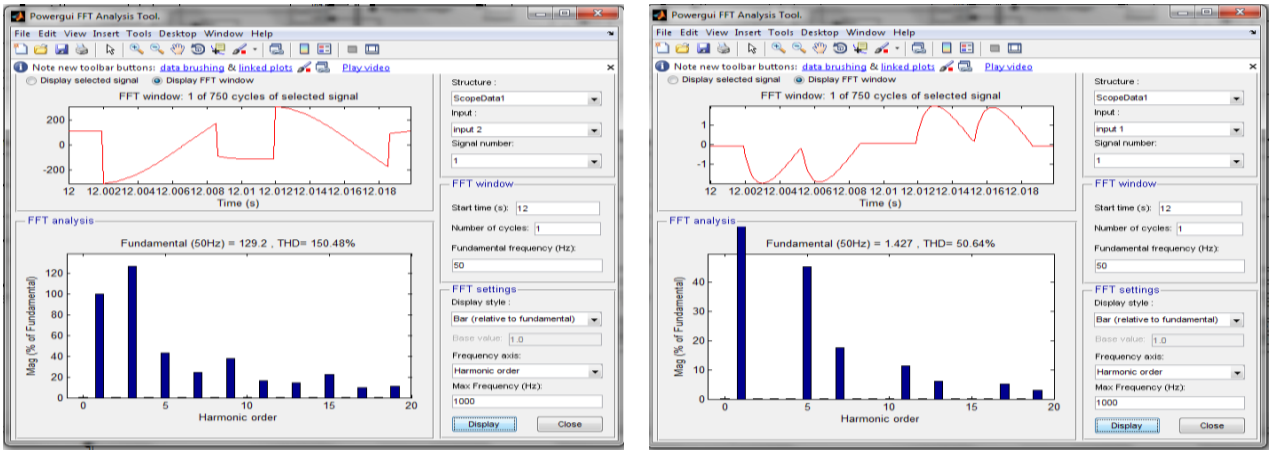
а *б*

Рис. 4. Форма кривой тока (*а*) и спектр тока (*б*), полученные на лабораторном стенде при $U_{Фm}$(1) = 130 В

Как видно из рис. 3, рабочий тиристор из-за наличия индуктивности в нагрузке закрывается с некоторым опозданием, когда ток через него достигает нулевого значения. Форма кривой тока имеет провал в верхней части синусоиды. Это обусловлено тем, что на данном участке отключена одна фаза. Если рассмотреть форму кривой напряжения, то из рисунка видно, что на выключенной фазе напряжение не равно нулевому значению. Потенциал напряжения формируется двумя другими включенными фазами. То есть создается перекос фазных напряжений на обмотках двигателя.

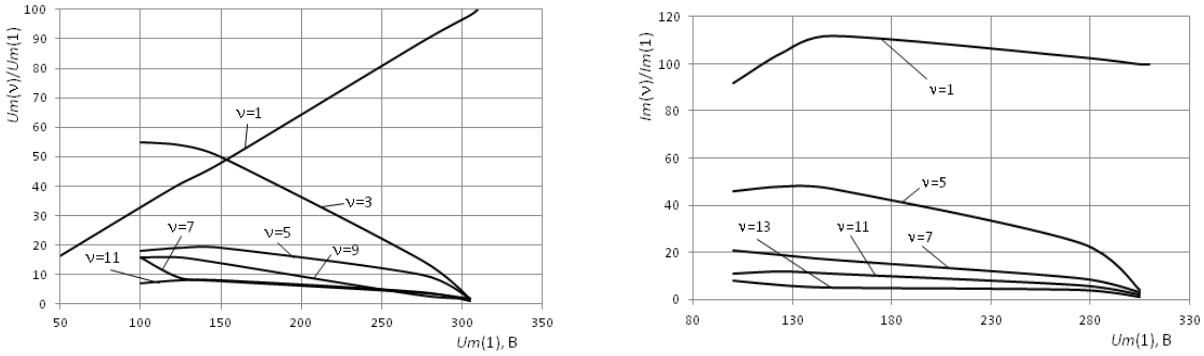
Для сравнения на рис. 4, *а* приведена форма кривой тока, полученная на лабораторном стенде при амплитудном значении выходного напряжения тиристорного регулятора первой гармоники $U_{Фm}$(1) = 130 В. Как видно из ри-

сунка 4, кривая, аналогично рис. 3 и 5, *б* (верхнее окно), имеет провалы тока в верхней части синусоиды. Кривая тока лабораторного стенда более искажена по сравнению с кривой тока, смоделированной на модели. Это объясняется тем, что модель не учитывает искажения, обусловленные внешними возбудителями.



а *б*

Рис. 5. Спектр выходного напряжения (*а*) и тока (б), полученных при $U_{Фm(1)}$ = 130 В



а *б*

Рис. 6. Гармоничный состав выходного напряжения (*а*) и тока (*б*) трехфазного тиристорного регулятора асинхронного электропривода

Спектр выходного напряжения и тока, полученный на компьютерной модели, приведен на рис. 5. Спектр выходного напряжения содержит все нечетные гармоники. Спектр тока имеет также нечетные гармоники кроме третьей и кратных ей. Для сравнения, аналогичный вид имеет спектр тока, полученный на лабораторном стенде (рис. 4, *б*).

Выводы и перспективы

Результаты исследований на компьютерной модели энергетической и регулировочной характеристик, формы кривой выходного напряжения и тока трехфазного тиристорного регулятора напряжения асинхронного электропривода и их гармоничный состав подтвердили адекватность результатам исследований на лабораторном стенде регулируемого электропривода со станцией управления "Климатика-1". Отклонение показаний не превышают 5%.

Исследованиями установлено, что рабочий тиристор, из-за наличия индуктивности в нагрузке, закрывается с некоторым опозданием, когда ток через него достигает нулевого значения. На выключенной фазе напряжение не равно нулевому значению. Потенциал напряжения формируется двумя другими включенными фазами. То есть создается перекос фазных напряжений на обмотках двигателя.

Спектр выходного напряжения содержит все нечетные гармоники. Высшая 3 гармоника напряжения доминирует. В процессе снижения выходного напряжения она приближается к основной и при $Um(1) < 150$ В даже превышает основную.

Форма кривой тока имеет провал в верхней части синусоиды. Это обусловлено тем, что на данном участке отключена одна фаза.

Спектр тока имеет нечетные гармоники кроме третьей и кратных ей. Первая высшая гармоника 5, она доминирует и наиболее искажает форму тока. Максимальное значение 5 гармоника принимает при значении выходного напряжения на уровне 130 В.

По результатам моделирования, можно утверждать, что компьютерная модель пригодна для использования при разработке трехфазного регулируемого электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением.

Литература

1. Регулированный электропривод: учебник для вузов / Под ред. И.М. Голодного. – К.: ООО "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с. [укр.].
2. *Глазенко Т.А.* Полупроводниковые системы импульсного асинхронного электропривода малой мощности / Т.А. Глазенко, В.И. Хрисанов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1983. – 170 с.
3. *Герман-Галкин С.Г.* Силовая электроника: Лабораторные работы на ПК: учебное пособие для студ. вузов / С.Г. Герман-Галкин. – С.-Пб.: КОРОНА принт, 2002. – 304 с.

Сведения об авторах:

Голодный Иван Михайлович – канд. техн. наук, доцент кафедры электропривода и электротехнологий, e-mail: golodnyi@ukr.net

Синявский Александр Юрьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры электропривода и электротехнологий, e-mail: sinyavsky2008@ukr.net

Санченко Александр Владимирович – аспирант, e-mail: aleksandr sansash@ukr.net

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (НУБиП Украины), Киев, Украина.

INVESTIGATION OF THREE-PHASE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH PHASE-PULSE CONTROL THYRISTOR VOLTAGE REGULATOR

I. Golodnyi, A. Sinyavsky, A. Sanchenko

The modern asynchronous controlled electric drive is based on the use of semiconductor voltage converters of various types, which, due to complexity or high cost, pay little attention to the study of various performance characteristics. With the development of computer modeling, it became possible to deepen the research of these processes. The aim of the work is to reduce the time and costs for studying a controlled asynchronous electric drive by computer simulation and to confirm the adequacy of the results obtained on the model and physical installation. The materials and methods of research. The analysis of the performance of the regulated electric drive with the chosen control method was carried out using the provisions of the electric drive theory and statistical methods for processing the results of research on the physical and computer model in the MatLab system. The results of the research. In order to analyze the characteristics of a three-phase adjustable asynchronous electric drive with a thyristor voltage regulator with phase-pulse control, a computer model is developed in MatLab, the power circuit of which consists of an alternating voltage source, two thyristors in each phase, connected counter-parallel and the motor AIRP80A6U2. On the created computer model and laboratory installation of the adjustable electric drive of the ventilation system with thyristor regulation of the voltage by the control station "Klimatika 1", the energy and regulating characteristics, the shapes of the voltage and current curve and their spectral composition were obtained. Conclusion and perspectives. Analysis of the results of the studies confirmed the adequacy of the computer model to real electromagnetic processes, the deviation of the indications does not exceed 5%. The results of the studies on the computer model are suitable for use in the development of a three-phase asynchronous electric drive with a thyristor voltage regulator with phase-pulse control.

Keyword: semiconductor voltage converters, control characteristic, power characteristic, higher harmonics, computer model.

References

1. Regulirovannyj jelektroprivod: uchebnik dlja vuzov [Adjustable Electric] / under ed. Golodnyi I.M. – Kiev, Ltd. "ZP "Komprynt", 2015. – 509 ps. (In Ukrain)
2. Glazenki T.A., Khrisanov V.I. Poluprovodnikovye sistemy impul'snogo asinhronnogo jelektroprivoda maloj moshhnosti [The semiconductor system of low power asynchronous electric pulse]. – Leningrad, Energoatomisdat, 1983. – 170 ps. (In Russian)
3. German-Galkin S.G. Silovaja jelektronika: Laboratornye raboty na PK: uchebnoe posobie dlja stud. vuzov [Power Electronics: Laboratory work on the PC]. – St. Petersburg, KORONA print, 2002. – 304 ps. (In Russian)

Authors:

I. Golodnyi – Ph.D. (Engineering),
e-mail: golodnyi@ukr.net

A. Sinyavsky – Ph.D. (Engineering),
e-mail: sinyavsky2008@ukr.net

A. Sanchenko – postgraduate,
e-mail: aleksandr sansash@ukr.net

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

• **For citation:** Golodnyi I.M., Sinyavsky A.Yu., Sanchenko A.V. Investigation of three-phase asynchronous electric drive with phase-pulse control thyristor voltage regulator. *Vestnik VIESH.* 2017; 4(29): 139 -143 (In Russian)

Содержание выпусков №№ 1(26), 2(27), 3(28), 4(29) за 2017 год

Вестник ВИЭСХ № 1(26)

К юбилею главного научного редактора Д.С. Стребкова……3

Электрификация и автоматизация в сельском хозяйстве. Электротехнологии. Эксплуатация электрооборудования

Мартынов К.В., Носков В.А., Пантелеева Л.А. Совершенствование конструкции обмотки статора асинхронного двигателя……..5

Подобедов П.Н., Масленников П.А. Применение диэлектрических материалов для изготовления межполюсных перегородок в выключателях 10 кВ……13

Широбокова Т.А., Шувалова Л.А., Иксанов И.Н. О влиянии искусственного освещения на продуктивность крупного рогатого скота……..18

Жданкин Г.В., Меженина Е.И., Ершова И.Г., Новикова Г.В. Разработка сверхвысокочастотной установки для варки отходов убоя птицы и животных……..23

Коробков А.Н., Осокин В.Л., Михайлова О.В., Белов А.А. Разработка установки для обеззараживания сыпучего сырья в непрерывном режиме……27

Трунов С.С., Растимешин С.А. Энергосберегающая геотермальная установка охлаждения воздуха в животноводческом помещении…….32

Халин Е.В., Михайлова Е.Е. О национальном стандарте по электронному обучению персонала безопасности производства……37

Никитин Б.А., Гусаров В.А., Стребков Д.С., Харченко В.В. О дуализме свойств электрона в свете работ Луи де Бройля……...46

Механизация в сельском хозяйстве. Проблемы машиноиспользования

Кормановский Л.П., Цой Ю.А. Государственная поддержка малых форм хозяйствования на селе……...49

Суюнчалиев Р.С., Тургенбаев М.С. Механизированная установка для купания овец против эктопаразитов ……52

Карташов С.Г. Модульный двухстадийный турбо-инерционный измельчитель кормов…...57

Сергеев Н.В., Сенкевич С.Е., Чичиль Р.А. Курсовая устойчивость агрегата……...61

Несмиян А.Ю. Влияние соотношения основных параметров культиватора на показатели его работы……...67

Возобновляемая энергетика

Сон Э.Е., Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И., Николаев В.В. О разработке бестопливных источников энергоснабжения на принципах пневматического преобразования энергии…...72

Виноградов Ю.В.. Стребков Д.С. Исследование природного механизма стабилизации параметров климата……..81

Кузнецов П.Н., Юферев Л.Ю. Повышение эффективности работы фотоэлектрических преобразователей при последовательном подключении..……..90

Даус Ю.В., Харченко В.В., Свентицкий И.И. Оценка данных из различных источников актинометрической информации об интенсивности суммарного солнечного излучения……98

Стребков Д.С., Борисов В.К., Свентицкий И.И., Поляков В.И., Вершинин В.С. Разработка технологии высоковольтных матричных солнечных элементов с высокой эффективностью…….104

Евдокимов В.М., Майоров В.А. Методы расчета и исследование предельных энергетических и тепловых характеристик фотоэлектрических преобразователей солнечного концентрированного излучения……...111

Экономические проблемы сельского хозяйства

Дубровин А.В. Управление тепловым комфортом животного или птицы и обогревом помещения по экономическому признаку……...122

Биотехнологии и агроинженерия

Ковалев Д.А., Ковалев А.А., Караева Ю.В., Колесникова Н.А. Энергетический анализ системы аэробно-анаэробно-аэробной обработки навоза……..129

Свентицкий А.Г., Смирнов А.А., Свентицкий И.И. Рациональное использование в агротехнологиях солнечной энергии по К.А. Тимирязеву. Главный закон энергетики и самоорганизации……...136

Вестник ВИЭСХ № 2(27)

Электрификация и автоматизация в сельском хозяйстве. Электротехнологии. Эксплуатация электрооборудования

Виноградов А.В., Васильев А.Н., Семенов А.Е., Синяков А.Н., Большев В.Е. Анализ времени перерывов в электроснабжении сельских потреби-

телей и методы его сокращения за счет мониторинга технического состояния линий электропередачи……3
Маркелова Е.К., Тихомиров А.В., Уханова В.Ю. Обоснование и расчет усредненных нормативов энергетических затрат в сельскохозяйственном производстве……..……..12
Халин Е.В., Михайлова Е.Е. О национальной стандартизации требований к электронному портфолио работника по безопасности производства……23
Дубровин А.В. Технологически или экономически оптимальная инфракрасная и кондуктивная сушка и обеззараживание озоном зерна и комбикормов для птицы……..32
Коробков А.Н. Обоснование эффективных технологических параметров и режимов работы установки для обеззараживания комбикорма……..45
Крауспп В.Р. Автоматизированная технология сушки, очистки и обеззараживания зерна в поточном зерноочистительно-сушильном комплексе КЗС-10……...54
Кондратьева Н.П., Духтанова Н.В., Краснолуцкая М.Г., Большин Р.Г., Литвинова В.М. Компактная светодиодная УФ облучательная установка для предпосевной обработки семян хвойных растений……62
Юферев Л.Ю., Довлатов И.М. Повышение эффективности энерго-ресурсосберегающей системы УФ облучения……70
Трунов С.С., Растимешин С.А. Требования к тепловому режиму животноводческих помещений с молодняком и предпосылки применения локального обогрева……...76
Никитин Б.А., Гусаров В.А., Стребков Д.С., Харченко В.В. Сравнительный анализ параметров эллиптических орбит относительно круговых для электрона в атоме водорода заданного энергетического уровня.....83
Механизация в сельском хозяйстве. Проблемы машиноиспользования
Кравченко В.А. Результаты исследований пахотного агрегата на базе трактора класса 1,4 с УДМ в трансмиссии……...87
Коптева Н.А., Удинцова Н.М. Оптимизация кинематики машинно-тракторных агрегатов……92
Садыков Ж.С., Тойлыбаев М.С., Тургенбаев М.С. Разработка прибора для определения уборочной спелости семенников технических культур……98
Суюнчалиев Р.С., Тургенбаев М.С. Тепловой метод диагностики режущего аппарата машинки для стрижки овец……...103
Возобновляемая энергетика
Бекиров Э.А., Быков М.А. Модель токопереноса носителей в тонких фотопреобразующих пленках на основе α-Si:H…….....108
Гусарова Е.В. Автономное электроснабжение железнодорожных переездов.....112
Руди Д.Ю. Особенности алгоритма расчета аэродинамических сил, действующих на криволинейный контур, с целью выбора конструкции ротора Савониуса……...119
Биотехнологии и агроинженерия
Клычев Е.М. Утилизация собственных отходов зернопроизводства …….....124
По материалам 8-й МНТК молодых ученых и специалистов «Агроинженерные инновации в сельском хозяйстве»
Козырский В.В., Савченко В.В., Синявский А.Ю. Влияние предпосевной обработки в магнитном поле на посевные качества семян сельскохозяйственных культур……132
Синявский А.Ю., Савченко В.В. Система автоматического управления подачей питательного раствора в теплицах……..137
Холманский А.С., Смирнов А.А. Зависимость физиологии и анатомии птиц от внешних условий……141

Вестник ВИЭСХ № 3(28)

Электрификация и автоматизация в сельском хозяйстве. Электротехнологии. Эксплуатация электрооборудования
Орлов П.С., Шкрабак В.С., Юдаев И.В., Шкрабак Р.В., Кочкин С.П. Инженерно-технические мероприятия по снижению потерь энергии и электропоражений потребителей электроэнергии……..3
Некрасов А.И., Некрасов А.А. Эксплуатационный контроль технического состояния и прогнозирования ресурса подшипников электродвигателей…….....8
Емелин А.А., Жогалев А.П. Расчет элементов САУ асинхронного электродвигателя электроприводов насосов……16
Серебряков А.С., Осокин В.Л. Активные и неактивные мощности в цепях переменного тока с неуправляемыми нелинейнымии элементами……...21

Халин Е.В., Михайлова Е.Е. Метод контроля компетенций работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства……27
Кузьмичев А.В. Описание процессов теплообмена в системе животное-среда…….....33
Трунов С.С., Кузьмичев А.В., Растимешин С.А. Локальный электрообогрев молодняка кроликов…….39
Васильев А.Н., Будников Д.А. Энергетические затраты на влагосъем при различной плотности зернового материала……44
Топорков В.Н. Электротехнологический метод получения удобрения из почвы и воды для теплиц, ЛПХ и мелкоземельных фермерских хозяйств……49
Кондратьева Н.П, Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р., Литвинова В.М., Сомова Е.Н. Результаты опытов по дозированию фотосинтетически активной радиации микропроцессорной системой, управляющей работой LED фитоустановками…….56
Горобец В.Г., Антипов Е.А. Эксергетический анализ аккумулятора теплоты фазового перехода усовершенствованной конструкции с учетом данных экспериментальных исследований…...65
Кусков А.И. Комплексное производство тепла и электроэнергии с использованием твердого топлива…….69
Коршунов Б.П., Коршунов А.Б., Марьяхин Ф.Г., Учеваткин А.И., Иванов А.В. Оценка энергоэффективности теплохолодильных систем на сельскохозяйственных объектах……..……74
Марьяхин Ф.Г., Учеваткин А.И. Математическая модель и метод расчета режимов работы электроприводов системы контроля и регулирования потоков молока и хладоносителя в энергосберегающих системах охлаждения……81
Никитин Б.А., Харченко В.В., Гусаров В.А. Спектральное распределение мощности солнечного заатмосферного излучения АМ-0, как эталонный базис вывода аналитической зависимости интенсивности излучения нагретого тела от длины волны…….90
Свентицкий И.И., Чиркина Д.Н., Свентицкий А.Г. Постоянная тонкой структуры и закон выживания……94

Механизация в сельском хозяйстве. Проблемы машиноиспользования

Кормановский Л.П. Исследование возможности перевода доильных установок на роботизированное доение……100
Соловьев С.А., Тургенбаев М.С., Русаков А.Н., Амшоков А.В. Повышение качества при первичной обработке немытой овечьей шерсти……105
Тойлыбаев М.С., Бекбосынов С.Б., Тойлыбаев Н.С., Тургенбаев М.С. Совершенствование технологии уборки семян пастбищных растений при прямом комбайнировании…….110
Карташов С.Г. Новый способ и устройство для уборки и трёхстадийной очистки клубней топинамбура……..114

Возобновляемая и нетрадиционная энергетика

Майоров В.А., Сагинов Л.Д., Вершинин В.С. Исследование параметров тепло-и фотоэлектрической установки в составе солнечных модулей с концентраторами и следящей системой……..120
Трубников В.З. Исследование электрофизических свойств низкопотенциальной полуволновой передачи электрической энергии…….125

По материалам 8-й МНТК молодых ученых и специалистов «Агроинженерные инновации в сельском хозяйстве»

Кондратьева Р.В., Березенко Н.В., Слинько О.В. Инновационные направления обеспечения экологической безопасности в аграрном секторе……...135
Скоркин В.К., Ларкин Д.К., Аксенова В.П. Влияние мощности ферм крупного рогатого скота на экологию окружающей среды…….139
Уханова В.Ю. Российская система автоматизации процесса охлаждения и хранения молока в фермерских хозяйствах……144
Собченко Ю.А. Термокинетические параметры реакции переэтерификации изопропиловым спиртом при воздействии СВЧ энергии…….148

Вестник ВИЭСХ № 4(29)

Электрификация и автоматизация в сельском хозяйстве. Электротехнологии. Эксплуатация электрооборудования

Халин Е.В., Михайлова Е.Е. Требования к интерфейсу модели компетенций по электробезопасности сельскохозяйственного производства…...3
Тихомиров Д.А., Трунов С.С. Редуктор-регулятор давления воды для систем горячего водоснабжения на фермах КРС…….....9
Трунов С.С., Дудин С.Н. Определение оптимальной доли использования тепло-аккумуляторов в общем энергобалансе электротепловых установок фермы…..……13

Растимешин С.А., Трунов С.С. Выбор основных конструктивных параметров локальных электрообогревателей для молодняка сельскохозяйственных животных…….21
Кузьмичев А.В. Определение и оценка тепловых условий в зоне обогрева инфракрасными обогревателями молодняка животных…….26
Дубровин А.В. СВЧ сушка и обеззараживание сыпучих кормов по технологическому или по хозяйственному признаку……..32
Александров Д.В., Соколов А.В. Применение станций катодной защиты в сельском хозяйстве……..41
Никитин Б.А., Харченко В.В., Гусаров В.А. Спектр заатмосферного солнечного излучения АМ-0, как эталонный критерий числовой оценки коэффициентов связи параметров излучения с температурой нагретого тела в законах смещения Вина и Стефана-Больцмана……47
Похмельных Л.А. Две поправки к закону Кулона……..50
Механизация в сельском хозяйстве. Проблемы машиноиспользования
Иванов Ю.А., Гриднев П.И. Направления развития фундаментальных исследований по проблемам механизации производства продукции животноводства…….....56
Уханова В.Ю. Современное отечественное оборудование для автоматизированного управления пресс-гранулятором кормов……..62
Возобновляемая и нетрадиционная энергетика
Стребков Д.С. На пороге эры бестопливной энергетики……66
Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Серебряков Р.А., Моренко К.С. Влияние конструктивных параметров ветроприемных устройств при работе малых ветроустановок на низких скоростях ветрового потока……..79
Майоров В.А. Феноменологическая теория и исследование термодинамических характеристик и параметров реальных теплоносителей для приемников солнечного излучения…….83
Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М., Майоров В.А., Сагинов Л.Д. Исследование фотоэлектрических преобразователей, применяемых в экспериментальной солнечной установке……90
Биотехнологии и агроинженерия
Собченко Ю.А. Математические особенности роста клеток…….....98
По материалам 8-й МНТК молодых ученых и специалистов «Агроинженерные инновации в сельском хозяйстве»
Смолянинов Ю.Н. Состояние и пути совершенствования механизации послеуборочной обработки зерна в Дальневосточном регионе……...102
Юрин А.Н., Чеботарев В.П., Чечеткин А.Д., Горный А.В., Зенов А.А. Агрегат для уборки плодов семечковых культур в условиях Республики Беларусь…….107
Иноземцев Г.Б., Окушко А.В. Электротехнологический процесс некорневой обработки растений в тепличном овощеводстве……113
Джафаров А.А. Конструктивные решения малогабаритной комбинированной установки для кормоприготовления……..117
Горячкина И.Н., Тетерина О.А., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Юхин И.А. Установка для нанесения аэрозоля гуматов в потоке сельскохозяйственной продукции……..124
Калиниченко Р.А., Степаненко С.П. Математическое моделирование виброперемещения зерна при термообработке……...129
Курганский А.Д. Реализация энергосберегающих режимов охлаждения зерна средствами автоматики……134
Голодный И.М., Синявский А.Ю., Санченко А.В. Исследование трехфазного асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением……139

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!
Правила оформления статей

Редакция принимает к публикации рукописи статей, отпечатанные через 1,5 интервала на компьютере. Рукопись должна быть подписана всеми авторами. Вместе с бумажными копиями обязателен диск с текстом, набранным в Word 97//2003/2007/2010 шрифтом 14 пт, или файл по электронной почте vestnikviesh@gmail.com.

Объем статьи – от 8 до 12 стр., включая таблицы (не более 5), рисунки (не более 7), библиографию (до 20 названий).

Приведенные в статье формулы должны иметь пояснения и расшифровку всех входящих в них величин с указанием единиц измерения в СИ. Таблицы должны иметь порядковый номер и название.

Все графические материалы должны быть выполнены четко (фотографии jpg или tif с разрешением не меньше 300 dpi), вставлены в текст статьи, пронумерованы, подписаны и иметь ссылку в тексте.

Использованная литература приводится в порядке очередности упоминания, в тексте – цифровые ссылки в квадратных скобках. Список литературы помещается в конце статьи и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008.

Статья должна содержать следующие обязательные элементы:

1. Название и ФИО авторов статьи на русском и английском языках.
2. Реферат (200-250 слов) на русском и английском языках.
3. Ключевые слова (3–6 слов/словосочетаний) на русском и английском языках.
4. Список литературы – на русском и английском языках.
5. Индекс статьи по Универсальной десятичной классификации (УДК).
6. Сведения обо всех авторах (в конце статьи) на русском и английском языках – фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, ученое звание, полное название научного или учебного учреждения и его структурного подразделения, контактный телефон и адрес электронной почты автора.

Статья должна быть четко структурирована.

Рукописи авторам не возвращаются. Автору выдается бесплатно один экземпляр журнала с его публикацией. С аспирантов плата за публикацию не взимается.

Подробные требования к оформлению статьи размещены на сайте журнала: vestnik.viesh.ru