

На правах рукописи

АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ

**Научно-методологические основы энерго-ресурсосбережения  
в технологических процессах АПК**

Специальность: 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование  
и энергоснабжение агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена на кафедре автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородин в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

**Научный консультант** **Загинайлов Владимир Ильич**,  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электроснабжения и электротехники имени академика И. А. Будзко ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

**Официальные оппоненты:** **Цугленок Николай Васильевич**  
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Первый вице-президент, научный руководитель Восточно-Сибирской ассоциации биотехнологических кластеров

**Лекомцев Пётр Леонидович**  
доктор технических наук, профессор, декан факультета энергетики и электрификации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет»

**Белов Александр Анатольевич**  
доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории «Электро-теплотехнологий и энергосбережения» Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет»

Защита состоится «20» июня 2024 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 35.2.030.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19; тел./факс: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н. И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» и на сайте университета [www.timacad.ru](http://www.timacad.ru).

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 35.2.030.03,  
кандидат технических наук, доцент

Н. Н. Пуляев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Современное сельскохозяйственное производство сопровождается непрерывными материальными и энергетическими преобразованиями, происходящими с использованием разнообразных технических средств. При этом эффективность производства во многом зависит от качества этих преобразований, определяемого техническими, экономическими, экологическими и социальными факторами, а также их взаимным влиянием. К сожалению, расходование имеющихся энергетических и материальных ресурсов в АПК России происходит недостаточно рационально. Из 22 млрд кВт·ч электроэнергии, отпущенной сельскохозяйственному сектору экономики в 2021 г., 8 млрд кВт·ч оказались безвозвратно утраченными при передаче и в результате неэффективного использования. Доля автономных, экологически чистых источников энергии на селе не превышает 3 % из 3,1 т у.т., приходящихся на одного человека в АПК, около 0,8 т у.т. ежегодно теряется из-за несовершенства используемого оборудования. Потеря водных ресурсов в производственной сфере сельского хозяйства достигает 40 %, свыше 30 % используемых семян не образуют плодоносящих растений, велик риск выхода из строя неремонтопригодных элементов оборудования сельскохозяйственного назначения.

Перечисленные проблемы явились следствием отсутствия единой методологии в толковании вопросов эффективного использования энергетических и материальных ресурсов, механистического подхода к разграничению возобновляемых и невозобновляемых источников, а также несовершенства общего подхода к оценке эффективности и целесообразности применения разнотипных преобразований. Кроме того, на сегодняшний день нуждаются в существенном совершенствовании электротехнологические способы и технические средства для воздействия на биологические объекты, необходима разработка нового энерго-ресурсосберегающего оборудования для экономии водных ресурсов и эффективного отопления зданий и сооружений, для создания новых преобразователей энергии, повышающих долю экологически чистого децентрализованного энергообеспечения объектов АПК.

Таким образом, разработка научно-обоснованной методологии энерго-ресурсосбережения в технологических процессах АПК, а также электротехнологических способов и технических средств соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в РФ, утвержденным Указом Президента Российской Федерации № 899 от 7 июля 2011 г.: п. 8 «Энергоэффективность и энергосбережение» согласуется с перечнем критических технологий РФ, утвержденных вышеназванным Указом, а именно п. 20 «Технология создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии» и является актуальной.

**Степень разработанности темы.** Существенный вклад в развитие современного представления о взаимном обращении энергии и материи в функции времени внес основатель теологии А. Пуанкаре. Гипотеза А. Пуанкаре о трехмерной сфере, доказанная Г.Я. Перельманом в 2002 г., дала возможность подтвердить теорию Большого Взрыва, и сделать заключение о единстве и бесконечности мировых запасов всех видов энергетических и материальных ресурсов. Основные закономерности распространения энергии в пространстве сформулированы Н.А. Умовым и Дж. Пойнтингом, а развитие физических взглядов по оценке эффективности материальных и энергетических преобразований принадлежит академику П.Л. Капице. Однако знания, полученные названными учеными, не претендуют на их использование в практике решения каждодневных инженерных задач.

Прикладные положения теории преобразования энергетических и материальных ресурсов сформулированы А.В. Лыковым и Л.А. Ленским. Вопросами энерго-ресурсосбережения в АПК активно занимались В.Я. Федянин и М.Е. Ерюков, глубокую проработку правовых аспектов использования автономных энергетических источников осуществила М.С. Шклярук. Вместе с тем, проводимые исследования осуществлялись вне единой методологии, вследствие чего энергетические и материальные преобразования рассматривались изолированно друг от друга, не позволяя применять метод аналогий и осуществлять научную интерполяцию результатов. Значительных успехов в создании энерго-ресурсосберегающих технологий в АПК и технических средств для их осуществления в разное время достигли И.Ф. Бородин, Н.В.Цугленок, П.Л.Лекомцев, А.В. Тихомиров, В.И. Загинайлов, В.Д. Мухин, А.А.Белов, Д.А. Михеев, С.П. Рудобашта, Д.А. Нормов и Я.Э. Пулатов. В то же время появление новой научно-технической информации по изучаемому вопросу, развитие материально-технической базы сельскохозяйственного производства, насыщение рынка высокопроизводительными и достаточно дешевыми средствами микроэлектроники позволяют сделать новые шаги в направлении совершенствования электро-технологических способов и технических средств ресурсо-энергосбережения в АПК.

**Целью диссертационной работы** является обоснование научно-методологических основ энерго-ресурсосбережения и разработка способов эффективного использования энергетических и материальных ресурсов в технологических процессах АПК.

**Задачи исследования:**

1. Произвести анализ современных научных концепций по проблеме эффективного использования материальных и энергетических ресурсов, обосновать методологию выбора направлений в обеспечении энерго-ресурсосбережения в технологических процессах АПК и разработать способ сравнительной оценки эффективности разнотипных материально-энергетических преобразований.

2. Разработать электротехнологические способы энерго-ресурсосбережения в системах тепло- и водообеспечения объектов АПК.

3. Разработать способы энерго-ресурсосбережения в микроволновом электрооборудовании сельскохозяйственного назначения.

4. Разработать методики расчета и оценки эффективности преобразования кинетической энергии воздушных потоков ресурсосберегающими силовыми ветродвигателями в составе ветроэлектростанций.

5. Обосновать перспективные направления разработки новых электротехнологических способов и технических средств обеспечения энерго-ресурсосбережения в технологических процессах АПК.

**Объектом исследования** диссертационной работы является эффективность энергетических и материальных преобразований, сопровождающих технологические процессы АПК.

**Предметом исследования** являются физические закономерности преобразования энергетических и материальных ресурсов при тепло-водообеспечении объектов АПК, микроволновой обработке сельскохозяйственных материалов и генерировании электроэнергии в системах децентрализованного электроснабжения.

**Научная новизна** работы заключается в получении и систематизации новых знаний в области физики преобразования энергии и материи, позволивших анализировать разнотипные материально-энергетические преобразования в соответствии с законом сохранения и взаимного обращения массы и энергии с учетом зависимости эффективности этих преобразований от произведения плотности потока рассматрива-

емых субстанций и скорости их распространения в упругой среде, обосновать научно-методологические основы энерго-ресурсосбережения, разработать способ сравнительной оценки эффективности разнотипных материально-энергетических преобразований и решить ряд прикладных задач по сбережению энергетических и сырьевых ресурсов в технологических процессах АПК.

**Теоретическая значимость работы** заключается в разработке:

– концепции выбора направлений в обеспечении энерго-ресурсосбережения в технологических процессах АПК и способа сравнительной оценки эффективности разнотипных материально-энергетических преобразований;

– ресурсо-энергосберегающего способа подключения грунтовых теплообменников в теплонасосных системах отопления в осциллирующем режиме, электротехнологического способа осаждения пыли в системах отопления с обогреваемыми полами, методики расчета низкотемпературных децентрализованных систем отопления;

– электротехнологического способа интенсификации сжигания топлива в топках водогрейных котлов, математической модели импульсного озонирования топочной камеры и уравнений динамического баланса концентрации озона;

– способа построения энерго-ресурсосберегающей автоматизированной системы коммерческого учета воды при водоснабжении объектов АПК, способа определения условий возникновения вихревой дорожки при ламинарном течении воды в пьезоэлектрических преобразователях и способа преобразования энергии электромагнитного фона промышленного происхождения для питания электронных схем, способа динамической коммутации накопителей электрической энергии, ресурсо-энергосберегающего комбинированного способа управления поливом по отклонению фактической влажности почвы от заданного значения, возмущающим воздействиям и прогнозу выпадения осадков;

– способа экспериментально-теоретического определения эквинапряженного пространства в рабочей камере микроволнового электрооборудования циклического действия, ресурсосберегающих способов распознавания аварийных режимов и алгоритма управления микроволновым генератором;

– методики расчета ресурсосберегающих ветродвигателей с периодически меняющейся активной поверхностью лопастей и многолопастных ветродвигателей, использующих силовые свойства ветра, методики определения минимально допустимого межосевого расстояния двухосевых ресурсосберегающих ветродвигателей;

– перспективных направлений научных исследований по созданию электротехнологических способов и технических средств энерго-ресурсосбережения в производственных процессах АПК, в частности:

- 1) способа осушения воздуха;
- 2) способа оценки качества дражирования семян и определения их размеров без остановки производственного процесса;
- 3) способа дражирования семян в непрерывном режиме и методики расчета рабочих параметров дражиратора с ленточным рабочим органом;
- 4) способа использования инерционных накопителей энергии в системах автономного энергообеспечения стационарных объектов АПК;
- 5) способа утилизации кинетической энергии теплоносителя в автономных отопительных системах;
- 6) способа проведения противоварроатозных мероприятий с применением электромагнитных полей.

**Практическая значимость работы** заключается в возможности использования ее результатов при разработке энерго-ресурсосберегающих преобразователей энергии

и материальных ресурсов в системах энергообеспечения объектов АПК, при проектировании энерго-ресурсосберегающих систем отопления, в том числе систем отопления с грунтовыми тепловыми насосами и обогреваемыми полами, при разработке ресурсосберегающих газовых водогрейных котлов с озоновым наддувом и проектировании энерго-ресурсосберегающих систем водообеспечения, при разработке ресурсо-энергосберегающих микроволновых установок сельскохозяйственного назначения с управляемыми режимами обработки и автоматическим отключением при возникновении аварийного режима, и проектировании энерго-ресурсосберегающих преобразователей кинетической энергии ветра, при разработке энергосберегающих установок для осушения воздуха, ресурсо-энергосберегающих дражировщиков семян сельскохозяйственных растений, инерционных накопителей энергии для систем автономного энергообеспечения стационарных объектов АПК утилизации кинетической энергии теплоносителя в автономных системах отопления, а также электротехнологического оборудования для борьбы с варроатозом пчел.

**Методология и методы исследования.** При решении поставленных задач использовались элементы системного анализа, в частности: материальные, информационные, математические и языковые средства познания, методы физических аналогий, абстрагирования и индукции. Применялись методы математического анализа, моделирования, математической статистики, сведения из теории классической электротехники, физической химии, теоретической механики и теории автоматического управления. В работе широко использовались современные цифровые вычислительные средства с языками программирования Python, Visual Basic, JavaScript, C++, а также гибридная аналого-цифровая вычислительная машина «Экстрема-1». Обработка результатов исследований выполнена с применением программного обеспечения Visual Studio Code, Microsoft Excel.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Разработанные научно-методологические основы энерго-ресурсосбережения, базирующиеся на установленных физических закономерностях и их взаимосвязях, позволяют определять актуальные направления разработки новых способов рационального использования энергетических и материальных ресурсов в технологических процессах АПК, а также осуществлять сравнительную оценку преобразований с учетом плотности и скорости субъектов процесса, а также стереометрических показателей преобразователей.
2. Использование осциллирующего режима подключения грунтовых теплообменников при эксплуатации электрифицированных систем отопления с тепловыми насосами обеспечивает сбережение энергии и исключает отрицательные экологические последствия.
3. Подача озono-воздушной смеси в топочные камеры маломощных газовых водогрейных котлов в соответствии с разработанным режимом определяет снижение затрат топлива и улучшает состав продуктов сгорания.
4. Повышение материальной и энергетической эффективности сельскохозяйственного водоснабжения достигается посредством использования разработанной автоматизированной системы коммерческого учета водопотребления, оснащенной энергосберегающими измерительно-передающими устройствами, реализацией энергоэффективного способа связи и разработанного способа управления поливом.
5. Использование разработанного способа определения эквинапряженного объема в рабочей камере, методики стабилизации СВЧ-воздействия при изменении массы обрабатываемых материалов, а также способов автоматической защиты магнетро-

нов от аварийных режимов обеспечивает сбережение энергетических и материальных ресурсов при эксплуатации микроволнового электрооборудования.

6. Разработанные методики расчета многолопастных силовых ветродвигателей, ветродвигателей с периодически меняющейся активной поверхностью лопастей, также методика минимизации межосевого расстояния двухосевых силовых ветродвигателей в составе ветроэлектрических станций позволяет разрабатывать устройства преобразования кинетической энергии ветра, обеспечивающие сбережение энергетического и пространственного ресурсов.
7. Энергосберегающее осушение воздуха на объектах АПК достигается использованием разработанного способа регенерации селикагеля в озоновой среде, ресурсосберегающая подготовка семян к посеву обеспечивается применением предложенного электротехнологического способа дражирования в непрерывном режиме с автоматическим определением размеров драже по диэлектрической проницаемости рабочей среды, энергосберегающее аккумулирование энергии в автономных системах энергообеспечения стационарных потребителей реализуется применением инерционных накопителей в соответствии с разработанной методикой расчета.

**Реализация результатов исследований.** По результатам исследований изготовлены работоспособные установки для микроволновой обработки сельскохозяйственных материалов и переданы для эксплуатации в Киргизскую опытно-селекционную станцию по сахарной свекле. Разработано техническое задание на устройство защиты от аварийных режимов источника СВЧ-энергии сельскохозяйственного назначения. Техническое задание утверждено Министерством электронной промышленности СССР и ВАСХНИЛ и передано предприятию-изготовителю. Результаты научных исследований осциллирующего режима подключения грунтовых теплообменников к испарительному контуру теплового насоса по патентам РФ № 140455 U1, МПК F24D3/08 (2006/01), опубл. 10.05.2014 и № 149505 U1, МПК F24D12/02, (2006/01), опубл. 10.01.2015 переданы ЗАО «Компания «СвязьИнТех», являющегося официальным представителем фирмы NIBE Energy System, для использования при проектировании и монтаже системы обогрева теннисного корта в соответствии с актом внедрения от 09.11.2016. Техническая документация на изготовление электронезависимых газовых водогрейных котлов с озоновым наддувом передана для использования на специализированное производственное предприятие ООО «Термофор» и проектно-исследовательское предприятие ООО «ТехноПромСервис» (г. Новосибирск). Результаты проведенных исследований в области сбережения водных и энергетических ресурсов внедрены на объектах ООО «ЭнергоСтандарт» (Московская область) и используются в учебном процессе по дисциплине «Гидравлика» кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей» ФГБОУ ВО Тверская ГСХА. Промышленные испытания образца вихревого расходомера проведены на объектах ОАО НТП «СФЕРА».

**Достоверность исследований.** Степень достоверности основных положений и выводов подтверждена: результатами экспериментальных исследований процессов преобразования энергетических и материальных ресурсов в электрогенерирующих установках, в системах водообеспечения и автономного теплообеспечения объектов АПК, микроволновых установках сельскохозяйственного назначения, электрифицированных установках для предпосевной обработки семян, а также при аккумулировании энергии, использованием современных методик, ГОСТов, и измерительных приборов.

**Научная апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на 126 научных, научно-практических и научно-технических всесоюзных, всероссийских и международных конференциях, симпозиумах и семинарах, в том

числе проводимых: МИИСП имени В.П. Горячкина в 1982–1993 гг.; МГАУ имени В.П. Горячкина в 1993–2015 гг.; РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2015–2020 гг.; Центральным и Латвийским правлением НТО с.-х. в 1985 г.; Московским технологическим институтом мясомолочной промышленности в 1985 г.; Саратовским политехническим институтом в 1986 г.; Всесоюзным советом научно-технических обществ и Комитетом ВСНТО по автоматизации и механизации производственных процессов в 1987 г.; Центральным и Белорусским республиканским правлением Всесоюзного государственного агропромышленного научно-технического общества в 1989 г.; Всесоюзным сельскохозяйственным институтом заочного образования в 1989 г.; Государственным Комитетом СССР по науке и технике в 1990 г.; Всероссийским институтом механизации сельского хозяйства в 1997, 2012 г.; Институтом охраны окружающей среды Республики Осетия в 1998 г.; Всероссийским институтом электрификации сельского хозяйства в 1998, 2012, 2014, 2016 г.; Саратовским государственным аграрным университетом имени Н.И. Вавилова в 2011, 2012 г.; Пензенской государственной сельскохозяйственной академией в 2011, 2012, 2015, 2016 г.; ФГОУ ВПО Ставропольским государственным аграрным университетом в 2011 г.; Воронежской государственной технологической академией в 2011 г.; Юго-Западным государственным университетом в 2011, 2012, 2014–2017 гг.; Бурятской государственной сельскохозяйственной академией им. В.Р. Филиппова в 2011 г.; Саратовским государственным техническим университетом в 2011 г.; Санкт-Петербургским политехническим университетом в 2012 г.; Санкт-Петербургским государственным аграрным университетом в 2012 г.; ФГБОУ ВПО Вятской государственной сельскохозяйственной академией в 2013 г.; Брянским научно-техническим центром «НДМ» в 2014 г.; Смоленской государственной сельскохозяйственной академией в 2013, 2015 г.; ФГБОУ ВПО Мичуринским государственным аграрным университетом в 2014 г.; Инновационным центром развития образования и науки в 2015, 2016 г.; Международным центром научного сотрудничества «Наука и просвещение» в 2016–2022 гг.; ФГБОУ ВО Чувашским государственным университетом имени И.Н. Ульянова в 2017 г.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликованы 270 печатных работ, в том числе 60 в изданиях из перечня ведущих периодических изданий, определенных ВАК РФ Министерства науки и образования Российской Федерации, 2 в международной базе цитирований Scopus, 57 авторских свидетельств и патентов на изобретения и полезные модели, 6 монографий.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, общего заключения и списка литературы из 369 наименований, 4 приложений из 135 позиций, включает 388 страниц, 36 рисунков и 4 таблицы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы, формулируется научная концепция, определяются объект и предмет исследования, представляются основные положения, выносимые на защиту диссертации, а также данные о научной новизне и практической ценности работы.

**В первой главе** «Состояние энерго-ресурсосбережения в АПК» произведена оценка роли материальных и энергетических ресурсов в жизни и производственной деятельности человека, рассмотрен современный взгляд на классификацию ресурсов и эффективность их взаимопреобразования, сформулирована проблема энерго-ресурсосбережения в сельскохозяйственном производстве и определен круг наиболее важных задач по обеспечению экономии энергетических и материальных ресурсов в технологических процессах АПК.

Современный подход к разработке новых способов сбережения материальных и энергетических ресурсов основывается на частных и в большинстве случаев бессистемных действиях по повышению эффективности технологических процессов. Такой подход способен привести к положительному результату, однако этот результат может оказаться временным (как, например, при интенсификации отбора тепловой энергии от грунта теплонасосными отопительными системами), иметь нежелательные побочные эффекты (при увеличении производительности установок для микроволновой обработки сельскохозяйственных материалов без учета равномерности воздействия), реализовываться преобразователями при чрезмерном расходовании пространственного ресурса (при попытке увеличить скорость ветра в ветроэнергетических установках с помощью диффузора) и т.д. При анализе физической природы разнотипных преобразований не принимается во внимание их общность, аналогия и сходства в математическом описании. Отсюда следуют заблуждения при классификации энергетических источников и отсутствие учета их релаксационных свойств. К сожалению, до сих пор не разработан способ оценки эффективности разнотипных преобразований.

Значительную роль в жизни и производственной деятельности человека играет искусственный обогрев помещений. В настоящее время наряду с централизованным теплоснабжением объектов АПК получает распространение автономное теплообеспечение с использованием локального теплогенерирующего оборудования. Поддержание требуемой температуры на объекте может быть достигнуто при различных сочетаниях температуры теплоносителя и размеров теплообменных аппаратов. Однако выбор этого сочетания обычно осуществляется интуитивно и не всегда оказывается рациональным.

Активное развитие теплонасосных систем автономного отопления типа «грунт–воздух» в последнее время сдерживается чрезмерной тепловой перегрузкой грунта, в результате которой в зимнее время происходит его переохлаждение, приводящее к гибели растений, уничтожению почвенной фауны и разрушению подземных элементов строительных конструкций. Существенным препятствием развития низкотемпературных систем отопления, в частности с использованием обогреваемых полов, является появление в отапливаемых помещениях взвешенной пыли. Известные на сегодня способы физической или электрофизической очистки воздуха, а также способы осаждения пыли являются неудобными в эксплуатации и весьма энергоемкими.

Несмотря на успехи в области конструирования газовых водогрейных котлов малой мощности, на сегодняшний день остается нерешенной проблема тщательного соблюдения коэффициента избытка воздуха в топочной камере. К сожалению, современные конструкции атмосферных горелок не могут обеспечить требуемое соотношение газа и воздуха, а использование в качестве окислителя кислорода остается экономически нецелесообразным. В то же время несоблюдение требуемого значения коэффициента избытка воздуха приводит к перерасходу газа и ухудшает экологические показатели продуктов сгорания.

Современные водопроводные сети сельского назначения характеризуются большими потерями водных ресурсов из-за несанкционированного расхода, протечек и значительных затрат времени на их обнаружение. Отсутствие оперативной информации о масштабах водопотребления в реальном времени препятствует эффективному планированию и согласованию графиков расхода и подачи воды. Значительный перерасход водных ресурсов приходится на оросительные системы вследствие недостаточной гибкости алгоритмов управления поливом, которые не предусматривают одновременный учет фактической влажности почвы и возмущающих факторов.

При эксплуатации современного микроволнового электрооборудования для обработки сельскохозяйственных материалов значительные сложности возникают в процессе дозирования подводимой энергии. К настоящему времени не создана научно обоснованная методика определения эквинапряженного пространства в рабочих камерах для различных допустимых отклонений дозы. Не сформирован универсальный алгоритм управления микроволновым генератором при изменении массы обрабатываемого материала. Ощутимые ограничения в распространении микроволновых технологий обусловлены высокой вероятностью выхода из строя СВЧ-генераторов при их включении с незагруженной рабочей камерой. К сожалению, работа микроволнового оборудования без нагрузки вызывает выход из строя магнетрона, стоимость которого составляет 30...40 % от стоимости установки. В то же время достаточно простой и достоверный способ автоматического обнаружения аварийного режима пока не разработан.

Среди энергогенерирующего оборудования в автономных и комбинированных системах электроснабжения объектов АПК значительное распространение получили ветроэнергетические установки. Особый интерес представляют ветродвигатели, использующие силовые свойства ветра, сохраняющие работоспособность при скорости воздушного потока 1,5...2 м/с. Несмотря на низкий коэффициент использования энергии ветра, такие ветродвигатели в составе ветроэлектростанций в течение продолжительной эксплуатации обеспечивают преобразование большего объема энергии. Вместе с тем, современные конструкции силовых ветродвигателей остаются громоздкими и металлоемкими, а их эксплуатация сопровождается вибрациями и акустическими помехами.

Современная реализация процессов осушения воздуха на объектах АПК является весьма энергоемкой. В производственных условиях для снижения относительной влажности 1 кг воздуха с 90% до 60% адсорбционным способом затраты энергии составляют 3600...4500 кДж. Остаются нерешенными задачи по разработке устройств для аккумуляции энергии в системах автономного энергообеспечения, а также утилизации части кинетической энергии жидкого теплоносителя в гелиосистемах. Не вызывает сомнения актуальность экономии материальных и энергетических ресурсов при подготовке семян к посеву посредством их дражирования. Несмотря на перспективность дражирования, оболачивание семян быстрозастывающими смесями производится крайне медленно и часто сопровождается значительным перерасходом наполнителей. Эксплуатация барабанных дражировщиков осуществляется в циклическом режиме, что затрудняет автоматизацию процесса и создает дополнительные неудобства при его встраивании в технологическую линию предпосевной обработки семян. Не решены вопросы автономного питания исполнительных механизмов, автоматически изменяющих расположение солнечных коллекторов в гелиосистемах. В результате рекогносцировочного эксперимента установлено, что для питания этих потребителей может быть использована часть кинетической энергии потока, обусловленного разностью плотностей нагретого и остывшего теплоносителя. Однако научное обоснование способа и определение режимов и условий его реализации не произведены. К сегодняшнему дню не завершены исследования энергосберегающих электротехнологических приемов борьбы с варроатозом пчел и не получил научного обоснования ряд других способов и технических средств по обеспечению ресурсо-энергосбережения в АПК.

**Во второй главе** «Обоснование научно-методологических основ энергоресурсосбережения в технологических процессах АПК» рассмотрены основные направления материально-энергетических преобразований и зависимость их эффективности от произведения плотности потока и скорости распространения преобразуе-

мых субстанций в упругой среде, описаны научно-методологические основы энерго-ресурсосбережения в технологических процессах АПК, обоснован способ оценки эффективности разнотипных материально-энергетических преобразований с учетом стереометрических показателей преобразователей.

Большинство технологических процессов современного АПК сопровождается взаимным преобразованием различных видов энергетических и материальных ресурсов. При этом конечной целью преобразований могут являться как превращение энергии в удобный для последующего использования вид, так и получение материальной продукции. Основными направлениями преобразования ресурсов являются: преобразование одного вида энергии в другой; использование материальных ресурсов для получения энергии; преобразование энергетических ресурсов в материальную субстанцию; взаимопреобразование материальных ресурсов; а также аккумуляирование энергетических и материальных ресурсов для последующего использования.

В общем случае уравнения материально-энергетических преобразований имеют вид:

$$E(t) = E_3(t, \eta_1) + E_M(t, \eta_2) + E_n(t, \eta_2) \pm E_{акк}(t, \eta_3),$$

$$M(t) = M_3(t, \eta_4) + M_M(t, \eta_5) + M_n(t, \eta_6) \pm M_{акк}(t, \eta_7),$$

где  $E(t)$  и  $M(t)$  – затраченные энергетические и материальные ресурсы при осуществлении технологических процессов соответственно;  $E_3(t, \eta_1)$  – энергия, расходуемая на преобразование в энергию иного вида;  $E_M(t, \eta_2)$  – энергия, затрачиваемая на производство материальной продукции;  $E_n(t, \eta_2)$  – потери энергии (нецелевые энергетические преобразования);  $M_3(t, \eta_4)$  – затраты сырья на получение энергии;  $M_M(t, \eta_5)$  – затраты сырья на производство продукции;  $M_n(t, \eta_6)$  – сырьевые потери;  $E_{акк}(t, \eta_3)$  и  $M_{акк}(t, \eta_7)$  – энергетические и материальные ресурсы, запасаемые в накопителях;  $t$  – время;  $\eta_1 \dots \eta_7$  – коэффициенты, характеризующие эффективность преобразований. Научно-методологические основы энерго-ресурсосбережения, позволяющие создавать новые способы сокращения потребления материальных и энергетических ресурсов, базируются на формализации и последующем анализе разнотипных материально-энергетических преобразований в соответствии с законом сохранения и взаимного обращения массы и энергии с учетом зависимости эффективности этих преобразований от произведения плотности потока рассматриваемых субстанций и скорости их распространения в упругой среде.

В зависимости от постановки задачи динамику изменения материальных и энергетических ресурсов предложено представить тремя совокупностями:

$$\begin{cases} E(t) = (k_1 \frac{d\varphi_1}{dt} + k_2 \frac{dx_1}{dt} + k_3 \frac{dz_1}{dt})k_5 \cdot \xi + k_4 \\ M(t) = (k_1 \frac{d\varphi_2}{dt} + k_2 \frac{dx_2}{dt} + k_3 \frac{dz_2}{dt})k_7 \cdot \xi + k_6 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} E(t, \xi) = \int (k_1 \frac{d\varphi_1}{dt} + k_2 \frac{dx_1}{dt} + k_3 \frac{dz_1}{dt})k_5 \cdot d\xi + k_4 \\ M(t, \xi) = \int (k_1 \frac{d\varphi_2}{dt} + k_2 \frac{dx_2}{dt} + k_3 \frac{dz_2}{dt})k_7 \cdot d\xi + k_6 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} E(t, \xi) = \int (k_1 \frac{d\varphi_1}{dt} + k_2 \frac{dx_1}{dt} + k_3 \frac{dz_1}{dt})k_5 \cdot d\xi^\tau + k_4 \\ M(t, \xi) = \int (k_1 \frac{d\varphi_2}{dt} + k_2 \frac{dx_2}{dt} + k_3 \frac{dz_2}{dt})k_7 \cdot d\xi^\tau + k_6 \end{cases} \quad (3)$$

где  $k_1, k_2, k_3$  – коэффициенты, учитывающие состояние среды,  $k_5$  – коэффициент деформации массы;  $k_4$  – коэффициент, характеризующий низкоуровневые энергетические преобразования и потери энергии при ее преобразовании из одной формы в другую;  $k_6$  – коэффициент, характеризующий потери массы взаимодействующих суб-

станций;  $\varphi$  – угловое перемещение заряда;  $x$  – перемещение тела в пространстве;  $z$  – характеристика подвижности молекул;  $\xi$  – массовый коэффициент ( $\xi = \sum_{i=1}^3 k \cdot m_i$ );  $k$  – количество, участвующих в процессе материальных объектов;  $m_i$  – масса материального объекта;  $i$  – номер материального объекта, соответствующий номеру коэффициента, учитывающий состояние среды;  $\tau$  – длительность восстановления ресурса.

Плотность потока энергии определяется векторным произведением скорости распространения энергии и плотностью среды. Это утверждение справедливо для всех видов энергии, в том числе для электромагнитной, механической и тепловой. Переход энергии из одного вида в другой сопровождается уменьшением одного из трех слагаемых и увеличением другого. При этом одновременному изменению могут подвергаться несколько слагаемых. В соответствии с законом сохранения энергии общая сумма остается постоянной, однако энергетические преобразования при КПД=1 в природе не происходят. Часть энергии всегда будет преобразовываться в иные формы и с точки зрения потребителя восприниматься в виде потерь.

При анализе любого технологического процесса, сопровождающегося энергетическими, материально-энергетическими или материальными преобразованиями, можно обратиться к записанному уравнению и в зависимости от конечной цели проанализировать влияние на интересующую нас функцию остальных аргументов. При этом легко выявляются аргументы, оказывающие наиболее существенное влияние на функцию, и определяются возможные направления изменения этих аргументов для достижения желаемого результата. Совокупность (2) иллюстрирует динамику приобретения энергии (материального ресурса) или ее (его) отдачу материальному объекту (преобразования в энергию). Эта зависимость позволяет оценить продолжительность энергетических (материальных) преобразований в результате осуществления электромагнитных, механических или тепловых процессов. Совокупность (3) характеризует зависимость выделяемой или поглощаемой энергии (потраченного или приобретенного материального ресурса) от участвующей в процессе преобразования массы (энергии) материальных объектов (энергетическим ресурсом) во времени.

Это выражение представляет собой сложную функцию от двух независимых переменных, которыми являются массовый коэффициент и длительность процесса. Аналогично энергии масса также может переходить из одного состояния в другое в зависимости от агрегатного состояния тела и прочих факторов. При этом время может рассматриваться как параметрическая величина, допускающая варьирование. В зависимости от статуса этой величины показатель интегрирования  $\xi^t$  проявляет либо свойства степенной функции, описывающей аккумулярующий эффект, либо свойства показательной функции, характеризующей природную релаксацию, как показано в совокупности (3).

Поскольку интерес участников производственных процессов сводится к повышению эффективности материальных и энергетических преобразований, их высокой скорости, минимальным затратам медленно релаксирующих природных ресурсов или обеспечению условий для их ускоренного восстановления, последующие исследования должны быть направлены на поиск оптимальных соотношений коэффициентов  $k_1, \dots, k_6$ , а затем на разработку способов и технических средств для их количественной реализации (рисунок 1).

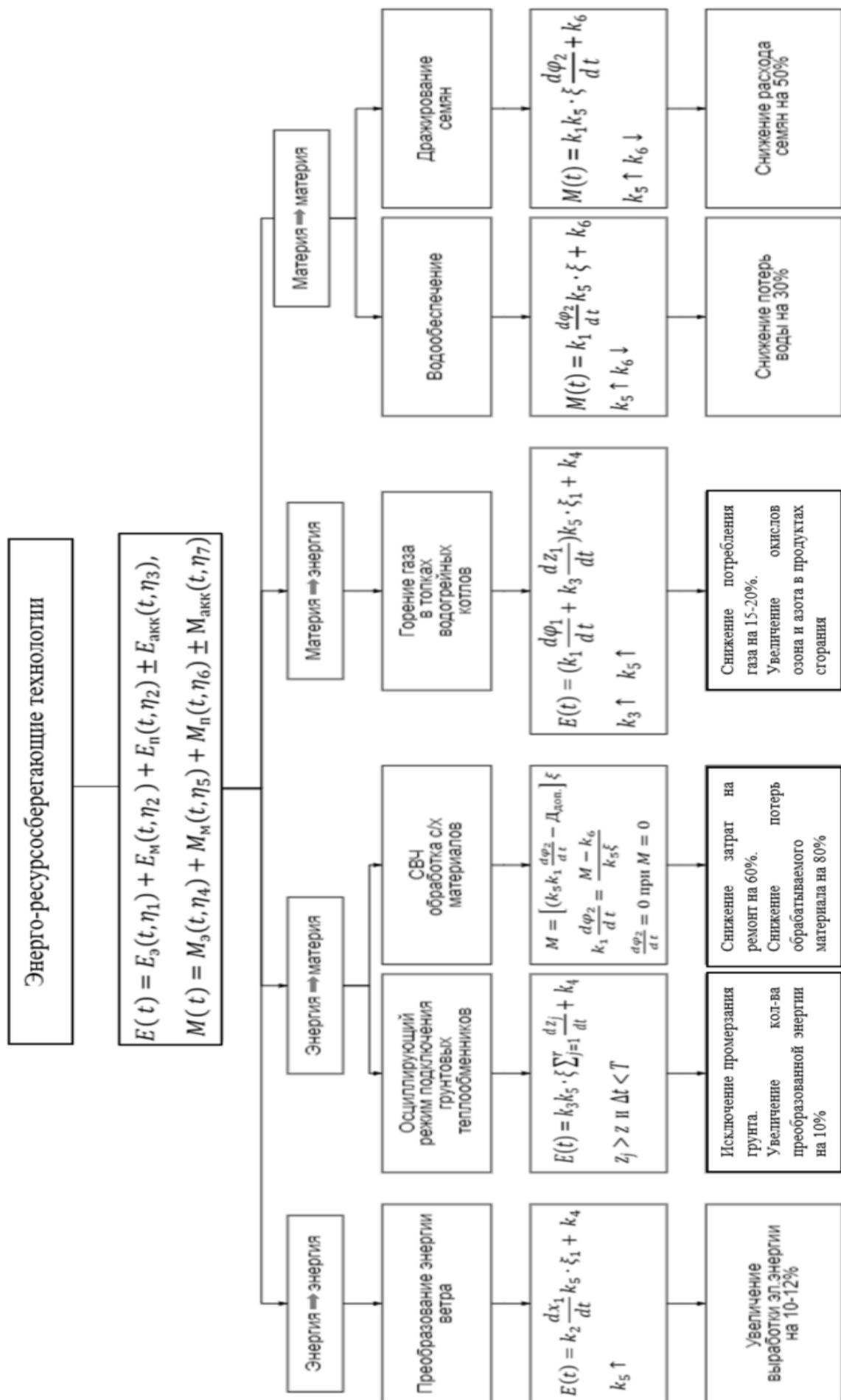


Рисунок 1 – Прикладная интерпретация методологии обоснования направлений повышения эффективности материально-энергетических преобразований

Суть способа оценки эффективности разнотипных преобразований сводится к определению отношения преобразованной  $E_M$  и преобразуемой  $E_B$  энергий и приведением частного к рабочему пространству. Под рабочим пространством предлагается понимать сумму объемов, занимаемых преобразователем  $V_{уст}$ , и пространства  $\Delta V$ , где материально-энергетические преобразования на тех же физических принципах невозможно:

$$K = \frac{E_M}{E_B} \frac{1}{V_{уст} + \Delta V}, \quad (1)$$

Например, применительно к ветроэнергетическим установкам  $E_M$  – энергия в механической форме, Дж;  $E_B$  – кинетическая энергия ветра, приходящегося на поверхность, ометаемую лопастями, Дж;  $V_{уст}$  – объем, занимаемый ветроустановкой, м<sup>3</sup>;  $\Delta V$  – объем пространства в окрестности преобразователя, в котором размещение других ветроустановок невозможно, м<sup>3</sup> (рисунок 2а).

Аналогично учет рабочего пространства необходим для гелиоэнергетической системы с двумя плоскими фотоэлектрическими преобразователями, которые расположены друг над другом (рисунок 2б). Для геотермальных преобразователей или преобразователей низкопотенциальной теплоты грунта с использованием тепловых насосов «грунт–вода» или «грунт–воздух» рабочее пространство включает в себя и объем теплового насоса, и объем труб, и объем  $V$  грунта, занимаемого теплообменником (рисунок 2в).

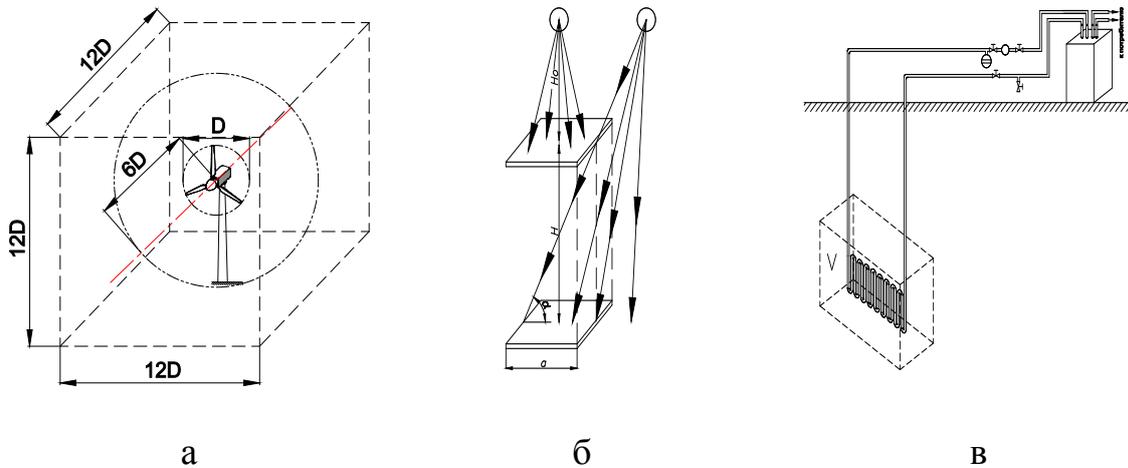


Рисунок 2 – К определению рабочего пространства ветроэнергетической (а), фотоэлектрической (б) и теплонасосной установок с грунтовым теплообменником (в)

**В третьей главе** «Электротехнологические способы и технические средства энерго-ресурсосбережения в тепло- и водообеспечении объектов АПК» рассмотрены вопросы оптимизации подвода тепловой энергии в обогреваемые объекты АПК, экологически безопасного извлечения низкопотенциальной энергии из грунта, снижения запыленности воздушной среды отапливаемых сооружений, изложены результаты исследований по проблеме ресурсосбережения при эксплуатации газовых водогрейных котлов малой мощности, рассмотрены вопросы организации взаимодействия элементов телеметрического оборудования в автоматизированных системах коммерческого учета водопотребления, описаны новые способы автономного питания измерительно-передающих устройств, доказана целесообразность использования ионисторов и способа их динамической коммутации для аккумулирования электрической энергии, а также описан новый способ энерго-ресурсосберегающего управления поливом.

Для разработки способа оптимизации конструкций децентрализованных отопительных систем следует обратиться к первому уравнению совокупности (1) и положению об эффективности использования пространства, формализованное выражением (4). В правой части уравнения  $k_1 \frac{d\varphi}{dt} = k_2 \frac{dx}{dt} = 0$ . В таком случае энергосбережение будет достигаться при увеличении  $k_3 \frac{dz_2}{dt} k_5 \cdot \xi_2$ , уменьшении нецелевых потерь  $k_4$  при соблюдении условия  $V_{уст} + \Delta V \rightarrow \min$ .

Для определения параметров энерго-ресурсосберегающей системы автономного отопления предложено рассматривать площадь  $F$  теплообменных аппаратов и температуру теплоносителя  $T_{тн}$  как функции нескольких переменных:

$$F = f_1(T_{тн}; q_{тн}; T_{вн}; Q_{пот}; K_{ос}; B_{мат}); \quad (5)$$

$$T_{тн} = f_2(F; q_{тн}; T_{вн}; Q_{пот}; K_{ос}; B_{мат}), \quad (6)$$

где  $T_{тн}$  – температура теплоносителя, град.;  $T_{вн}$  – требуемая температура воздуха в помещении, град.;  $Q_{пот}$  – суммарные тепловые потери, кДж;  $K_{ос}$  – коэффициент, учитывающий особенности распространения теплоты от конвективной системы отопления данного типа;  $B_{мат}$  – коэффициент, учитывающий теплопроводные свойства материала теплообменного аппарата.

Аргументами функций (5) и (6) являются одни и те же параметры, кроме явно взаимозависимых величин  $F$  и  $T_{тн}$ . Вместе с тем  $f_1$  и  $f_2$  являются различными функциями и по отношению к каждому индивидуальному аргументу, и по отношению к их совокупности. Для получения функционала выражений (5) и (6) произведена минимизация новой функции  $f_3$ , учитывающей обе составляющие.

Принимая во внимание сложность и нелинейный характер функций (5) и (6), поиск их оптимального сочетания предложено осуществлять численным методом. Разработанный алгоритм предусматривает расчет  $f_3$  при выбранных теплотехнических параметрах, сравнение полученного результата с заданным значением, многократное повторение вычислительных операций с приращением температуры теплоносителя и определение минимального значения функционала.

С целью рационального использования природной тепловой энергии грунта и уменьшения влияния на окружающую среду теплонасосных отопительных систем отбор теплоты грунта предложено осуществлять несколькими поочередно подключаемыми теплообменниками. Иллюстрацией нового подхода к энергосбережению в децентрализованной отопительной системе с использованием теплового насоса и грунтовых теплообменников является способ их подключения к испарительному контуру в осциллирующем режиме. Этот подход основан на рассмотрении первого уравнения совокупности (1) в виде:  $E(t) = k_3 k_5 \cdot \xi \sum_{j=1}^r \frac{dz_j}{dt} - k_4$ , где  $j$  – номер теплообменника;  $r$  – количество теплообменников. Преимущества осциллирующего режима станут очевидными при рассмотрении графика изменения температуры теплоносителя при кратковременном нагреве. Скорость изменения температуры теплоносителя в начале нагрева всегда больше, чем в окрестности установившегося режима. Следовательно, при поочередном подключении нескольких теплообменников и выполнении условия  $\Delta t < T$ , где  $\Delta t$  – продолжительность подключения  $j$ -го грунтового теплообменника и  $T$  – продолжительность подключения теплообменника в обычном режиме, сомножитель  $\frac{dz_1}{dt}$  возрастет. В то же время, ограничение верхнего предела изменения

температуры теплоносителя в каждом теплообменнике позволяет избежать чрезмерного охлаждения и промерзания грунта.

Теплообменники должны располагаться на некотором расстоянии друг от друга и подключаться к первичному контуру теплового насоса в соответствии с заданным алгоритмом. Продолжительность подключения каждого грунтового теплообменника в импульсном режиме не должна достигать длительности переходного процесса нагрева теплоносителя при традиционном способе отбора теплоты. В результате анализа динамики теплообменных процессов при традиционном режиме, сопровождающимся нагревом теплоносителя от начальной  $v_{\text{нач}}$  до установившейся  $v_{\text{уст}}$  температуры за время от 0 до  $\tau$  и при импульсном режиме за время от 0 до  $1/3\tau$  определены и сравнены между собой соответствующие им количества извлеченной тепловой энергии  $Q_2^{(1)}$  и  $Q_2^{(2)}$ :

$$\begin{aligned} Q_2^{(2)} - Q_2^{(1)} &= 3mc(v_{\text{нач}} - v_{\text{уст}}) \left( e^{\frac{-\tau}{3T}} - 1 \right) - mc(v_{\text{нач}} - v_{\text{уст}}) \left( e^{\frac{-\tau}{T}} - 1 \right) = \\ &= mc(v_{\text{нач}} - v_{\text{уст}}) \left( 3e^{\frac{-\tau}{3T}} - 3 - e^{\frac{-\tau}{T}} + 1 \right) = mc(v_{\text{нач}} - v_{\text{уст}}) \left( 3e^{\frac{-\tau}{3T}} - e^{\frac{-\tau}{T}} - 2 \right), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $m$  – масса нагреваемого теплоносителя, кг;  $c$  – теплоемкость теплоносителя, Дж/кг·град.;  $v$  – текущая температура теплоносителя, град.;  $T$  – постоянная времени, с.

Из выражения (7) следует, что при всех реальных значениях аргументов искомая разность является положительной. На рисунке 3 представлены графики изменения температуры теплоносителя при непрерывном и импульсном режимах нагрева для отопительной системы с одним (а) и тремя (б, в, г) грунтовыми теплообменниками в интервале от 1 до 7 °С. Для технической реализации осциллирующего режима разработаны устройства с механическим и электронным блоками управления.

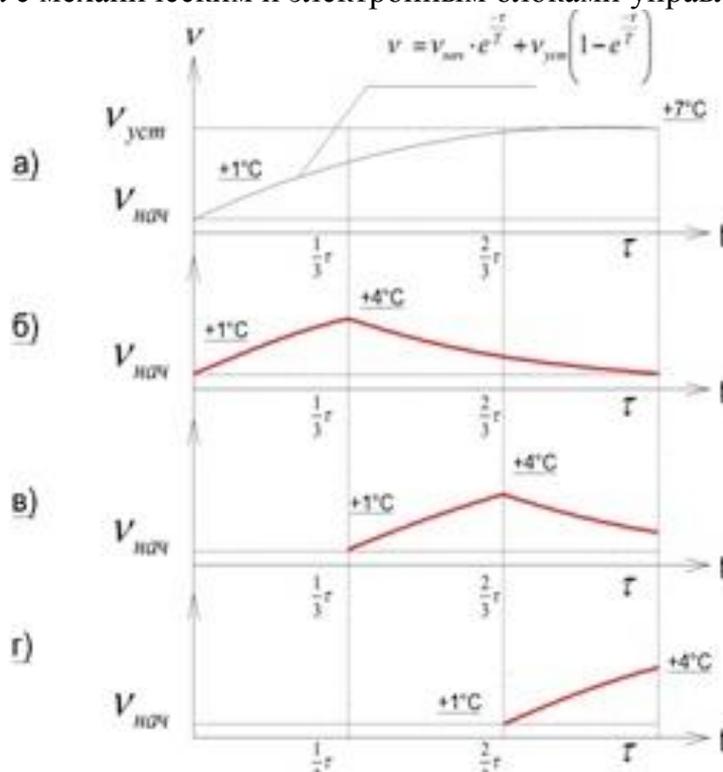


Рисунок 3 – Изменения температуры теплоносителя в непрерывном и импульсном режимах

Для уменьшения тепловых потерь из отапливаемых помещений при вентиляции, а также для предотвращения ухудшения теплоотдачи отопительных приборов при оседании на них пыли предложен энергоэффективный способ очистки воздуха, иллюстрируемый уменьшением коэффициента  $k_{4,в}$  в первом уравнении совокупности (1). Способ базируется на принудительном осаждении пыли с помощью электрического поля с использованием пондеромоторных сил, образующихся в незаряженном диэлектрическом теле под влиянием неоднородного поля и втягивающих его в область с более высокой напряженностью (рисунок 4). Теоретическое обоснование приема производилось при допущениях об однородном составе частиц пыли, их шарообразной форме и равномерном распределении плотности по объему (рисунок 5).

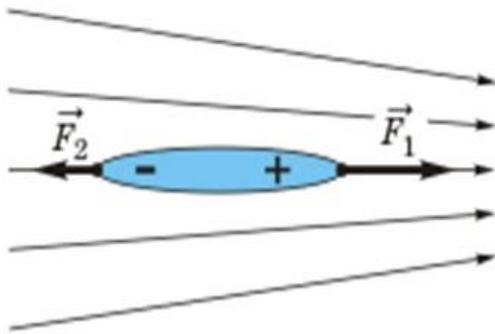


Рисунок 4 – Втягивание диэлектрической частицы пыли в область поля с большей напряженностью

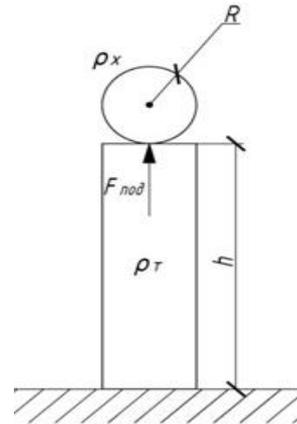


Рисунок 5 – Действие подъемной силы, обусловленной восходящим потоком теплого воздуха

Для расчета пондеромоторной силы, действующей на частицу пыли шарообразной формы, предложено выражение:

$$F_{эл} = \varepsilon_1 R^3 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1} E \frac{dE}{dx}, \quad (8)$$

где  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – диэлектрические проницаемости воздуха и вещества частицы соответственно;  $E$  – напряженность поля, В/м;  $dE/dx$  – производная напряженности в направлении максимального изменения.

Для создания неоднородного электрического поля использована система электродов, представляющих собой бифилярную обмотку из двух параллельных проводников. Эта обмотка выполнена изолированным проводом, подключенным к источнику разнополярного напряжения и уложенной под верхней поверхностью пола (рисунок 6). Распределение электрического поля в окрестности бифилярной обмотки представлено на рисунке 7. Повышение эффективности принудительного осаждения пыли достигается размещением дополнительной пары электродов между электродами основной пары. При этом второй электрод дополнительной пары располагается с внешней стороны основной пары, а основная и дополнительная пары бифилярной обмотки идентичны (рисунок 8).

Экономии топлива при одновременном улучшении экологических показателей газовых водогрейных котлов малой мощности предложено осуществлять посредством использования в качестве окислителя озono-воздушной смеси. Предложенный способ определяется созданием условий для увеличения слагаемого  $k_3 k_5 \cdot \xi \frac{dz_2}{dt}$  в совокупности (1).

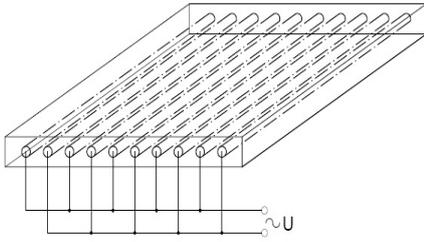


Рисунок 6 – Размещение и подключение электродов

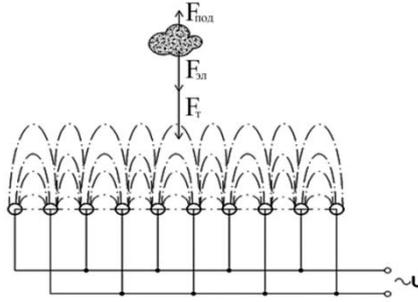


Рисунок 7 – Действие сил на частицу пыли в неоднородном электрическом поле

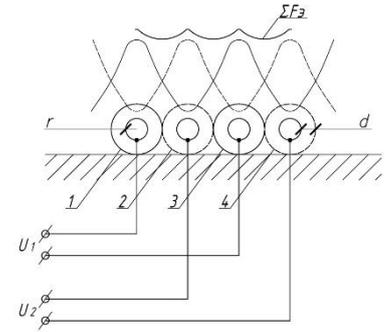


Рисунок 8 – Чередующееся расположение и подключение электродов для образования суммарной силы  $\Sigma F_{эл}$

В результате сопоставления стехиометрических коэффициентов в уравнениях горения в присутствии кислорода и озона, а также суммирования необходимых объемов окислителя по каждой составляющей природного газа определены общие объемы кислорода  $S_1$  и озона  $S_2$ :  $S_1 = 4,23 \text{ м}^3$ ;  $S_2 = 2,19 \text{ м}^3$ . На основе уравнения Арениуса сделан вывод о возможности повышения скорости реакции при снижении энергии активации молекул. Увеличение количества столкновений влечет за собой повышение температуры, вследствие чего интенсифицирующий эффект становится более заметным.

Синтезирование озона технически несложно, а при давлении потока  $0,13 \dots 0,2 \text{ МПа}$  требуемая для этого энергия рассчитывается по формуле Мейли. Принимая во внимание, что концентрация озона должна составлять  $200 \text{ мг/м}^3$  применительно к водогрейному котлу с тепловой мощностью  $25 \text{ кВт}$  и средним потреблением газа  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ , определено, что суточная масса расхода озона составляет  $72 \text{ г}$ . При этом на получение озона потребуется энергия в объеме  $4,1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ .

При перемещении озono-воздушной смеси в зону горения происходит разложение озона, интенсивность которого зависит от совокупного действия начальной концентрации, температуры, скорости и характера его подачи:  $C = f(N_0, \vartheta, V, R)$ . В результате исследований установлена количественная взаимосвязь изучаемых признаков:

$$C = L \frac{0,126 N_0}{\exp(-0,0579)} + L_1 (A + BV) + L_2 \sum_{i=1}^n F_i \sin \alpha_i,$$

где  $L$ ,  $L_1$  и  $L_2$  – масштабирующие коэффициенты;  $F_i$  и  $\alpha_i$  – сечение препятствия и угол его расположения по отношению направлению движения озона соответственно;  $i$ ,  $n$  – номер и количество препятствий движению озона;  $A$ ,  $B$  – постоянные параметры.

Для определения условий минимального разложения озона предложена система уравнений, полученная в результате частного дифференцирования исследуемой функции по каждому аргументу и приравнивания полученных выражений к нулю.

Необходимость управления подачей озono-воздушной смеси обусловлена наличием зависимости концентрации озона от стадии горения, вида и физико-химического состава топлива, его количества и условий подачи, а также от режима удаления продуктов сгорания. Условие баланса количества озона в топочной камере предложено представить уравнением:

$$xdt = \rho dy + kydt, \quad (9)$$

где  $x$  – расход (подача) озона;  $y$  – концентрация озона;  $\rho$  – плотность озона;  $k$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий характер расхода озона на интенсификацию горения в функции его концентрации и времени.

Решение уравнения (9) показало, что в целом концентрация озона изменяется во времени монотонно, принимая установившееся значение при  $t \rightarrow \infty$ . Для обеспечения устойчивого и качественного режима работы системы с апериодическим звеном в качестве объекта управления рекомендовано управляющее устройство, реализующее пропорционально-интегральный закон управления.

Математическое описание процесса реакции пламени на импульсную подачу озono-воздушной смеси в топочную камеру оказалось возможным на основе общего уравнения динамики системы, в которое в виде отдельных звеньев вошли входное воздействие в форме прямоугольного импульса и физический отклик в виде возрастающей и уменьшающейся во времени амплитуды пламени. Уравнение динамики системы представляется произведением передаточных функций прямоугольного импульса  $W_{\text{имп}}$  и линейной части. В таком случае линейная часть иллюстрируется нарастающей и зеркально убывающей величиной в соответствии с апериодическим законом второго порядка с коэффициентом передачи  $K$  и постоянными времени  $T_1$  и  $T_2$ . Для математического описания системы использован язык дискретных преобразований на основе теории Тэллера-Боксера. Передаточная функция прямоугольного импульса рассмотрена в виде:

$$W_{\text{имп}}(w) = \frac{BT_k}{a} \frac{2 + 3w + W^2}{w},$$

где  $T_k$  – период квантования;  $B, a$  – амплитуда и продолжительность импульса соответственно.

Полученная передаточная функция системы имеет вид:

$$W_{\text{общ}} = \frac{KB^2T_k^3(-2w^6 - 12w^5 - 25w^4 - 18w^3 + 5w^2 + 4)}{\left[ (24T_2 - 4T_k^2)w^3 + 12T_1T_kw^2 + 2T_k^2w \right] a}. \quad (10)$$

Выражение (10) позволяет анализировать влияние частоты подачи озono-воздушной смеси на амплитуду пламени с учетом параметров топки котла.

В ходе экспериментальных исследований (рисунок 8) получена информация о влиянии напряжения питания и частоты включения озонатора на интенсивность горения топлива, а также определены наилучшие параметры процесса. Для математического описания исследуемого процесса предложено уравнение регрессии в виде:  $y = 3,35 + 0,6x_1 + 0,9x_2$ , где  $x_1$  – напряжение на первичной обмотке повышающего трансформатора, В;  $x_2$  – частота включения озонатора, Гц (рисунок 10).

Наибольшая интенсивность горения наблюдалась при частоте 1 Гц и напряжении питания электроразрядного озонатора 230 В. При этом взаимное влияние исследуемых факторов не установлено.



Рисунок 9 – Экспериментальная установка

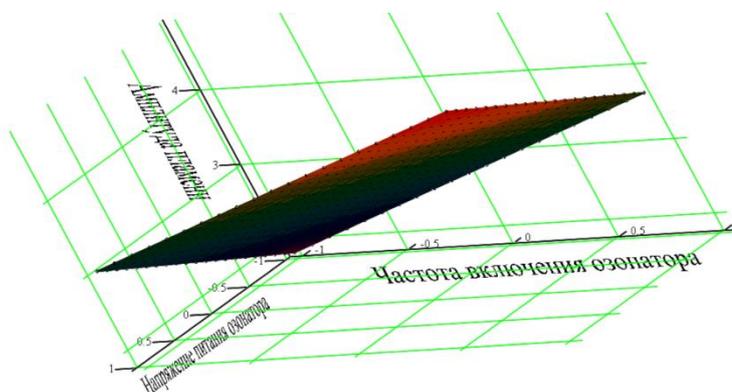


Рисунок 10 – Зависимость амплитуды пламени от напряжения питания и частоты включения озонатора

Для достижения энерго-ресурсосбережения при водоснабжении объектов АПК предложено использовать автоматизированные системы коммерческого учета водопотребления (АСКУВ). АСКУВ включают ряд измерительно-передающих устройств (ИПУ), содержащих расходомеры, установленные у потребителей и на водораспределительных узлах, беспроводные линии связи и удаленные серверы. АСКУВ обеспечивают сбор информации о текущих расходах воды, первичную обработку полученных данных, их хранение и обработку. Новый способ сбережения водных ресурсов иллюстрируется равенством нулю слагаемых  $k_3 k_5 \cdot \xi \frac{dz_1}{dt}$  и  $k_2 \frac{dx}{dt}$  второго уравнения совокупности (1) и реализуется принятием мер для выполнения условия  $k_6 = M(t) - k_1 \frac{d\varphi_2}{dt} k_5 \cdot \xi \rightarrow \min$ .

С целью снижения энергозатрат при работе ИПУ предложен новый способ организации связи, при котором передача информации осуществляется ступенчато. При реализации этого способа каждое ИПУ выполняет две функции: передачу информации от «своего» расходомера и ретрансляцию информацию от «чужих».

Для автономной работы ИПУ предложено использовать локальные накопители электрической энергии, заряжаемые от преобразованной кинетической энергии потока воды и рассеянной электромагнитной энергии промышленного происхождения. В качестве преобразователей энергии потока в трубопроводах с диаметром менее 65 мм рекомендовано применять пьезоэлектрические преобразователи. Величину энергии, преобразованную пьезоэлементом в электрическую форму, предложено оценивать соотношением:

$$E_s = f(F; dF/dt; M), \quad (11)$$

где  $F$  – статическая составляющая (величина механического усилия), Н;  $dF/dt$  – динамическая составляющая (скорость приложения усилия), Н/с;  $M$  – обобщающий коэффициент, учитывающий конструктивные свойства пьезоэлемента, гидравлического препятствия и их взаимное расположение.

С целью достижения наибольшей энергетической эффективности преобразователей определены условия их размещения по отношению к искусственным препятствиям с помощью компьютерного моделирования. Результаты компьютерного моделирования экспериментально проверены на лабораторном стенде, общий вид и функциональная схема которого представлены на рисунке 11. Установлено, что объем преобразованной пьезоэлектрическим элементом энергии зависит от частоты срыва вихрей и скорости вторичного потока. Для достижения максимальных значений скорости и ускорения вторичного потока расстояние между пьезоэлектрическим преобразователем и препятствием в форме круга должно составлять 0,8...1,1 от характеристической длины трубы.



управления поливом, а также технических средств для их осуществления подтверждается патентами №№ 119860, 119857, 119856, 131459, 1311461, 137091, 140455, 140809, 144540, 147360, 147722, 2535296, 149505, 155165, 2622695, 2527546, 175890, 189080.

**В четвертой главе** «Способы и технические средства для энерго-ресурсосбережения при проектировании и эксплуатации СВЧ-оборудования сельскохозяйственного назначения» приведены результаты исследования распределения СВЧ-энергии в рабочей камере микроволнового электрооборудования, обоснованы способы и технические средства повышения надежности микроволновых генераторов и алгоритм управления ими при переменной нагрузке. Для сбережения обрабатываемых материалов при воздействии на них СВЧ-энергией сформирована задача определения их количества, при котором отклонение дозы воздействия не превысит допустимую величину:  $k_{\text{доп.}} \rightarrow 0$ . Второе уравнение совокупности (1) для рассматриваемого случая примет вид:  $M(t) = (k_1 \frac{d\varphi_2}{dt} + k_3 \frac{dz_2}{dt})k_5 \cdot \xi + k_{\text{доп.}}$ . Анализируя это уравнение с позиций ресурсосбережения можно сделать вывод о необходимости проведения исследований по определению  $M(t)$  для минимизации  $k_{\text{доп.}}$  по условию  $M = [(k_1 \frac{d\varphi_2}{dt} + k_3 \frac{dz_2}{dt})k_5 - D_{\text{доп.}}] \xi$ .

Для экспериментальных исследований распределения СВЧ-поля в пространстве рабочей камеры использована серийная микроволновая установка КБН-82. Пространство рабочей камеры было разбито на 27 областей, располагающихся на трех уровнях по длине  $Y$ , ширине  $X$ , и высоте  $Z$ . Места расположения каждой области определялись координатами точек, сосредоточенных в их центрах.

Поскольку зависимость дозы СВЧ-воздействия от каждой переменной является нелинейной, рекогносцировочная математическая модель распределения поля в пространственных координатах определялась в виде системы регрессионных уравнений второго порядка. Для описания процесса использовалось выражение:

$$D = \frac{1}{D_0^2} (a_1 x^2 + d_1 x + c_1) (a_2 y^2 + d_2 y + c_2) (a_3 z^2 + d_3 z + c_3),$$

сформированное предложенным методом центрального узла с дозой  $D_0$ . Коэффициенты  $a_i$ ,  $b_i$  и  $c_i$  определены из систем линейных уравнений, сформированных на основе метода наименьших квадратов. Из совокупности стационарных точек выбраны значения, соответствующие глобальному максимуму, которые признавались координатами точки, соответствующей максимальной дозе. Удаление от точки максимума в любом направлении сопровождается уменьшением дозы. Поэтому максимальный объем обрабатываемых материалов рассматривался в зависимости отклонения дозы от установленного значения. При известном допустимом отклонении все точки в объеме обрабатываемых материалов должны получать дозу облучения, отличающуюся от установленного значения на величину, не превышающую это отклонение.

Для определения максимального объема обрабатываемых материалов были вычислены координаты поверхности второго порядка, описывающей пространство с допустимым отклонением дозы. Решение задачи достигалось численным исследованием модели распределения поля в окрестности точки с координатами  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$ . Для упорядоченного приращения независимых переменных использована модель расходящейся спирали Архимеда на дискретных высотах, представленная в полярных и прямоугольных координатах:

$$\theta = \omega t; \quad \text{и} \quad \begin{cases} x = vt \cos \omega t; \\ y = vt \sin \omega t, \end{cases}$$

$$\tau = vt$$

где  $\omega$  – угловая скорость луча, рад/с;  $v$  – поступательная скорость движения луча из центра полярных координат, см/с;  $t$  – время, с.

Искомая поверхность второго порядка определяется образующими цилиндров, совмещенных основаниями и имеющих общую ось вращения. При неограниченном увеличении количества цилиндров с одновременным уменьшением их высот найденная поверхность вырождается в эллипсоид вращения (рисунок 12). Для приближенного вычисления объема этого тела предложено выражение:

$$V = \pi h \sum_{i=1}^{23} R_i^2,$$

где  $h$  – высота цилиндра,  $h = 0,5$  см;  $R_i$  – радиус основания  $i$ -го цилиндра, см.

Объемы эллипсоидов и для допустимых отклонений дозы 5, 10, 15 и 20% составили 470, 1538, 2466, 3072 см<sup>3</sup> соответственно (рисунок 13). Для расчета производительности микроволновой установки предложена формула:

$$\Pi = 3,6 \frac{V\rho}{t + t_{\text{оп}}},$$

где  $V$  – объем эллипсоида при допустимом отклонении дозы, см<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность обрабатываемого продукта г/см<sup>3</sup>;  $t$  – средняя продолжительность СВЧ-обработки,  $t_{\text{оп}}$  – продолжительность вспомогательных операций, с.

Для выполнения расчетов повышенной точности математическое описание распределения поля предложено осуществлять по нелинейной трехфакторной полиномиальной модели с десятью параметрами:

$$D_{\text{нелин}} = b_0 + b_1x + b_2y + b_3z + b_4x^2 + b_5y^2 + b_6z^2 + b_7xy + b_8xz + b_9yz.$$

В основу стратегии поиска параметров  $b_0, \dots, b_9$  положен метод наименьших квадратов, позволивший минимизировать сумму  $M$  квадратов отклонений  $S_i$  теоретических и экспериментальных значений дозы  $D_{\text{экс}i}$  во всех 27 точках эксперимента:

$$M = \sum_{i=1}^{27} S_i^2 = (b_0 + b_1x_1 + b_2y_1 + b_3z_1 + b_4x_1^2 + b_5y_1^2 + b_6z_1^2 + b_7x_1y_1 + b_8x_1z_1 + b_9y_1z_1 - D_{\text{экс}1})^2 +$$

$$+ (b_0 + b_1x_2 + b_2y_2 + b_3z_2 + b_4x_2^2 + b_5y_2^2 + b_6z_2^2 + b_7x_2y_2 + b_8x_2z_2 + b_9y_2z_2 - D_{\text{экс}2})^2 + \dots +$$

$$+ (b_0 + b_1x_{27} + b_2y_{27} + b_3z_{27} + b_4x_{27}^2 + b_5y_{27}^2 + b_6z_{27}^2 + b_7x_{27}y_{27} + b_8x_{27}z_{27} + b_9y_{27}z_{27} - D_{\text{экс}27})^2.$$

Эквинапряженное пространство в рабочей камере рассматривалось в форме шара, описываемого аналитическими функциями и характеризующегося максимальным объемом при минимальной поверхности (рисунок 14).

В результате деления поверхности шара с радиусом  $R$  на  $2N$  поясов и принятия за начало отсчета верхнего (северного) полюса шара, а также и нумерации поясов числами от 1 до  $N$  с текущим номером  $k$ , получено выражение для расчета значений радиусов нижних оснований срезов, пронизывающих весь объем шара:

$$f = \sqrt{k \frac{R}{N} \left( 2R - k \frac{R}{N} \right)}.$$

Для виртуального перемещения контрольной точки по исследуемому поясу разработанная методика исследования пространства предполагает многократные расчеты

координат  $x$  и  $y$  при различных значениях угла  $\alpha$ , образуемого вектором, исходящим из начала координат в центре шара в диапазоне  $0 \leq \alpha \leq 360$ .

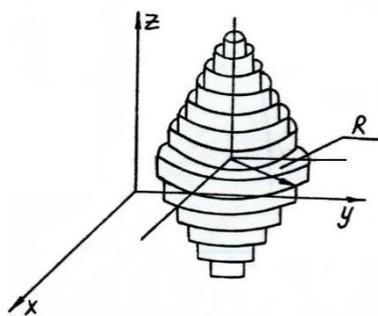


Рисунок 12 – Область рабочей камеры с точками равной напряженности поля

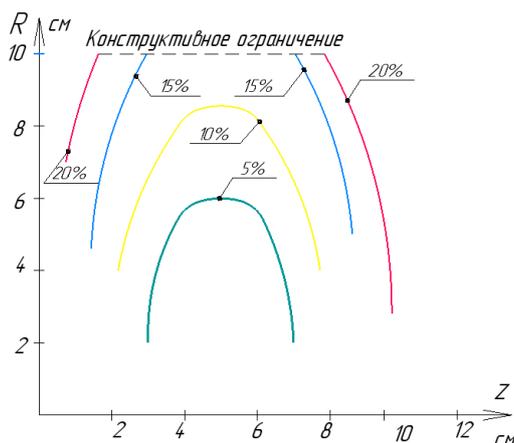


Рисунок 13 – Зависимость радиусов цилиндров от высоты расположения обрабатываемого материала и допустимого отклонения дозы

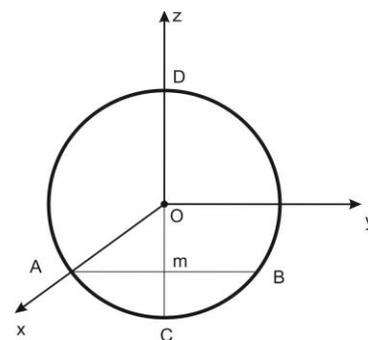


Рисунок 14 – Расположение нижнего основания произвольного слоя внутри шара

Для сбережения элементов микроволнового оборудования разработан способ распознавания аварийного режима и автоматического отключения питания СВЧ-генератора в соответствии с условием  $\frac{d\varphi_2}{dt} = 0$  при  $M = 0$  по второму уравнению совокупности (1). С целью выявления электрического параметра, несущего информацию о режиме работы микроволнового генератора, произведен анализ системы дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы в цепи анодного питания магнетрона. Установлено, что при переходе от нормального режима к аварийному, сопровождающемуся изменением активного сопротивления магнетрона, происходит существенное искажение формы кривой анодного тока. Гармонический анализ показал, что в искажении формы кривой тока доминирующая роль принадлежит ряду нечетных, и в особенности – пятой гармонической составляющей. На основе обнаруженного эффекта разработана серия устройств защиты микроволновых генераторов, состоящих из блоков распознавания и усилительно-коммутирующей части. Для упрощенного распознавания аварийного режима предложены способы, основанные на измерении уровня низкочастотного электромагнитного фона в окрестности магнетрона, а также на измерении электрической емкости между изолированными гранями объемного резонатора.

Для корректировки режимов работы микроволнового генератора при изменении массы обрабатываемых материалов разработан способ, исходным условием для которого явилось полученное из второго уравнения совокупности (1) равенство  $k_1 \frac{d\varphi_2}{dt} = \frac{M - k_6}{k_5 \xi}$ .

Корректировку предложено осуществлять изменением напряжения в цепи анодного питания магнетрона. С целью определения количественных параметров корректировки при изменении массы обрабатываемых материалов и требуемой дозы воздействия произведено исследование характеристик микроволновой установки при варьировании напряжения  $U$  на первичной обмотке повышающего трансформатора в цепи анодного питания магнетрона в пределах от 140 до 220 В на 5 уровнях и массы обрабатываемых материалов  $m$  от 0,07 до 0,4 кг на 7 уровнях. Поскольку влияние каждо-

го фактора является нелинейным, определение эмпирической зависимости проводилось в два этапа:

1.  $D = f_1(a, b, m)$  при  $U = 140, 160, 180, 200$  и  $220$  В.

2.  $a = f_2(c, d, U)$ ;  $b = f_3(e, f, U)$ ,

где  $D$  – доза СВЧ-воздействия, кДж/кг;  $a, b, c, d, e, f$  – параметры эмпирических формул.

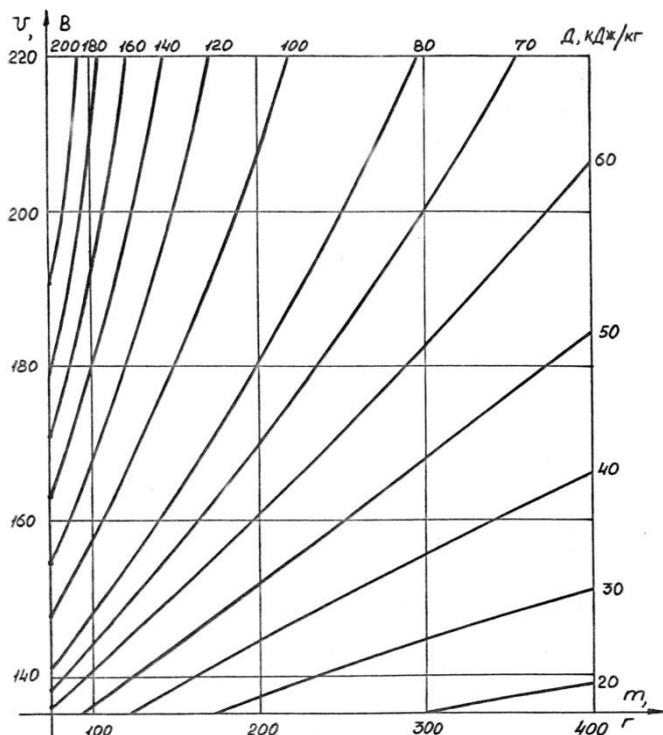


Рисунок 15 – Номограмма для ручной реализации алгоритма

Выбор вида эмпирической зависимости осуществлялся из условия максимальной точности воспроизведения экспериментальных данных при минимальном количестве входящих в нее параметров. В результате преобразования анализируемой зависимости получен алгоритм управления микроволновым генератором для обеспечения требуемой дозы при  $m$  от 0,07 до 0,4 кг:

$$U = \frac{5,4 \cdot 10^3 - 4,56 \cdot 10^6}{3,7 \cdot 10^4 - (D - 47,49)m}$$

Для оперативной реализации алгоритма при ручном управлении генератором построена номограмма (рисунок 15). Оригинальность и новизна способов энергосберегающего использования микроволнового электрооборудования для обработки сельскохозяйственных материалов, повышения надежности микроволновых генераторов и управления ими

при переменной нагрузке, а также технических средств для их осуществления подтверждается авторскими свидетельствами и патентами №№ 1209057, 1232157, 1459620, 1453626, 1475509, 1596493, 1699364, 1688467, 1722271, 1822630, 120535, 170428.

**В пятой главе** «Энерго-ресурсосбережение при использовании силовых ветроэнергетических установок» произведены исследования, направленные на повышение эффективности силовых ветродвигателей, в частности, разработана методика расчета элементов конструкции и рабочих параметров, многолопастных ветродвигателей в составе ветроэлектростанций, рассмотрен способ уравнивания силовых ветродвигателей со взаимно-перпендикулярными валами и способ минимизации межосевого расстояния двухосевых силовых ветродвигателей.

При обосновании способов энерго-ресурсосбережения силовых ветродвигателей рассматривалось первое уравнение совокупности (1), сведенное к виду:

$E(t) = k_2 \frac{dx}{dt} \times k_5 \xi + k_4$ . Поскольку увеличение слагаемого  $k_2 \frac{dx}{dt}$  без снижения приведенного коэффициента эффективности (4) в настоящее время невозможно, перечисленные исследования сводились к определению условий для повышения коэффициента  $k_5$  и уменьшению  $k_4$ .

При исследовании ветродвигателей, использующих силовые свойства ветра, было принято во внимание, что сила воздействия воздушного потока на поверхность лопасти при ее вращении существенно зависит от угла, образуемого этой лопастью по отношению к потоку, а в каждой элементарной точке, характеризующейся индивидуальным удалением от оси, плечо приложения силы будет различным (рисунок 16).

Общий вращающий момент определялся суммой элементарных моментов  $dM$  в пределах изменения  $x$  от 0 до  $R\cos\alpha$ :

$$M(\alpha) = \int_0^{R\cos\alpha} dM = \frac{kR^2\cos^2\alpha}{12} \left[ 3\omega^2 R^2 \cos^2\alpha - 8\omega V_0 R \cos\alpha + 6V_0^2 \right],$$

где  $R$  – длина лопасти, м;  $\alpha$  – угол поворота лопасти, рад;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $k = C_x a \rho / 2$ ;  $C_x$  – коэффициент лобового сопротивления;  $V_0$  – скорость ветра, м/с;  $\omega$  – угловая скорость вращения лопасти, рад/с. Для оценки работы, произведенной потоком при повороте лопасти на угол  $\pi$ , предложено выражение:

$$A = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{kR^2}{12} \left[ 3\omega^2 R^2 \cos^4\alpha - 8\omega V_0 R \cos^3\alpha + 6V_0^2 \cos^2\alpha \right] d\alpha,$$

в результате интегрирования которого получено:

$$A = kR^2 \left[ \frac{3}{32} \omega^2 R^2 \pi - \frac{8}{9} \omega V_0 R + \frac{1}{4} \pi \right].$$

При этом мощность, развиваемая силовым ветродвигателем, оценивается соотношением:

$$N = \frac{kR^2\omega \left[ \frac{3}{32} \omega R^2 \pi - \frac{8}{9} \omega V_0 R + \frac{1}{4} V_0^2 \pi \right]}{\pi},$$

а мощность потока как  $N_1 = \frac{\rho F V_0^3}{2}$ . В то же время коэффициент использования энергии ветра:

$$\xi = \frac{C_x}{2} \left[ \frac{3}{32} R^3 \pi \left( \frac{\omega}{V_0} \right)^3 - \frac{8}{9} R^2 \left( \frac{\omega}{V_0} \right)^2 + \frac{1}{4} R \pi \left( \frac{\omega}{V_0} \right) \right], \quad (13)$$

где  $F$  – поверхность лопасти, м<sup>2</sup>.

Анализ выражения (13) показал, что коэффициент использования энергии ветра силовых ветродвигателей зависит от соотношения частоты вращения и линейной скорости воздушного потока, а также от размеров лопастей. Наивысшая эффективность использования энергии ветра ( $\xi_1 = 6,871 \cdot 10^{-2}$ ,  $\xi_2 = 10,793 \cdot 10^{-2}$ ) достигается при выполнении условия.  $\frac{n}{V_0} R = 6,255$ . Для оперативного поиска оптимального режима работы ветродвигателя построена номограмма, приведенная на рисунке 17.

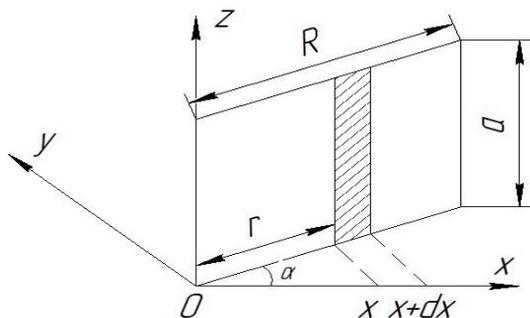


Рисунок 16 – Изображение лопасти в плане (на плоскости YOZ)

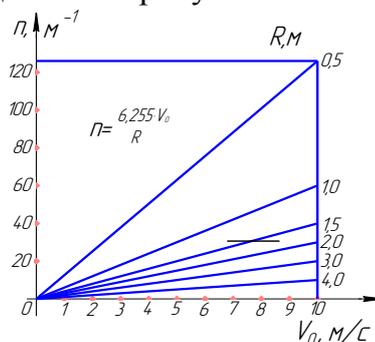


Рисунок 17 – Номограмма для определения оптимального режима работы ветродвигателя

Полученные результаты использованы при совершенствовании конструкций силовых ветродвигателей с периодически меняющейся активной поверхностью лопастей (рисунок 18), в частности, применением сплошного горизонтального вала 11, установленного перпендикулярно вертикальному валу 13, а также упорных элементов 16 и 17, расположенных у нижнего края лопастей 14 и 15.

Для определения мощности силовых многолопастных ветродвигателей рассмотрена модель замещения, представленная на рисунке 19.

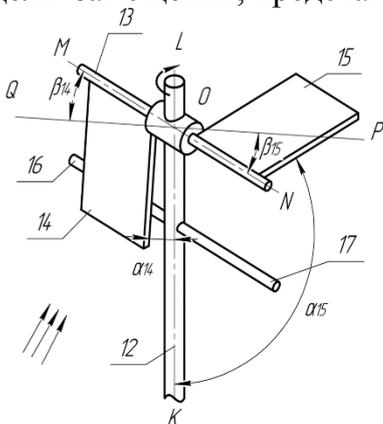


Рисунок 18 – Упрощенное изображение лопастей ветродвигателя с периодически меняющейся активной поверхностью

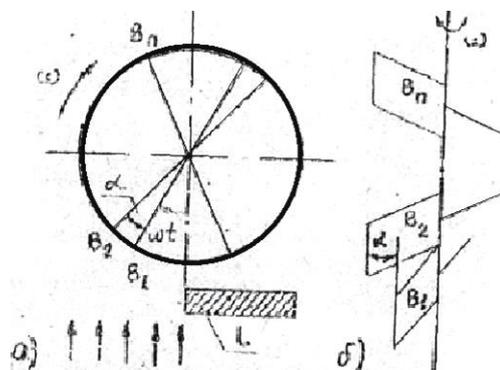


Рисунок 19 – Модель замещения силового ветродвигателя

Появление тормозящего эффекта на пути ветрового потока в первом и четвертом квадрантах предотвращено установкой экрана  $L$  (рисунок 19а). Лопасти модели имеют прямоугольную форму (рисунок 19б) и расположены на разных уровнях при общей оси, что обеспечивает свободное взаимодействие потока со всеми лопастями и исключает их взаимное влияние. Принятые обозначения:  $\omega$  – круговая частота вращения лопасти, рад/с;  $\alpha$  – угол между соседними лопастями, рад;  $R$  – расстояние от центра до конца лопасти, м;  $h$  – протяженность стороны лопасти, параллельной общей оси, м;  $n$  – количество пар лопастей количество лопастей, находящихся на интервале  $\pi$ . Мощность ветродвигателя пропорциональна активной поверхности лопастей, произведена оценка этой величины для модели замещения.

Величина активной поверхности лопасти  $B_1$  представлена выражением:

$$S_{B_1} = hR \sin \omega t,$$

где произведение  $\omega t$  определяет угол поворота лопасти относительно направления ветра. Аналогично для лопастей  $B_2, B_3 \dots B_n$ :

$$S_{B_2} = hR \sin(\omega t + \alpha); S_{B_3} = hR \sin(\omega t + 2\alpha), \dots; S_{B_n} = hR \sin[\omega t + (n-1)\alpha].$$

Суммированием определена активная поверхность лопастей ветродвигателя:

$$S = hR \left\{ \sin \omega t + \sin[\omega t + \alpha] + \sin[\omega t + 2\alpha] + \dots + \sin[\omega t + (n-1)\alpha] \right\}$$

$$\text{или } S = hR \sum_{i=1}^n \sin[\omega t + (i-1)\alpha]. \quad (14)$$

Выражение (14) пригодно для описания процесса изменения суммарной активной поверхности при любых  $t$ .

Оценка периодически меняющейся активной поверхности лопастей проведена по ее среднему значению. Среднее значение  $S_{\text{ср}}$  для ветродвигателей с различными  $n$  определена в соответствии с выражением:

$$S_{\text{cp}} = \frac{\pi R}{T} \int_{\omega t_1}^{\omega t_2} S(\omega t) d\omega t, \quad (15)$$

где  $\omega t_1$  и  $\omega t_2$  – значения аргументов функции  $\omega t$  на краях интервала  $T$ .

$$\text{В результате получено: } S_{\text{cp}_1} = \frac{hR}{\pi} \int_0^{\pi} \sin \omega t d\omega t \cong 0,64hR;$$

$$S_{\text{cp}_2} = \frac{2hR}{\pi} \int_0^{\pi/2} [\sin \omega t + \sin(\omega t + \alpha)] d\omega t \cong 1,24hR;$$

$$S_{\text{cp}_3} = \frac{3hR}{\pi} \int_0^{\pi/3} [\sin \omega t + \sin(\omega t + \alpha)] + \sin(\omega t + 2\alpha) d\omega t \cong 1,91hR;$$

$$S_{\text{cp}_4} = \frac{4hR}{\pi} \int_0^{\pi/4} [\sin \omega t + \sin(\omega t + \alpha)] + \sin(\omega t + 2\alpha) + \sin(\omega t + 3\alpha) d\omega t \cong 2,54hR;$$

$$S_{\text{cp}_5} = \frac{5hR}{\pi} \int_0^{\pi/5} [\sin \omega t + \sin(\omega t + \alpha)] + \sin(\omega t + 2\alpha) + \sin(\omega t + 3\alpha) + \sin(\omega t + 4\alpha) d\omega t \cong 3,18hR;$$

$$S_{\text{cp}_6} = \frac{6hR}{\pi} \int_0^{\pi/6} [\sin \omega t + \sin(\omega t + \alpha)] + \sin(\omega t + 2\alpha) + \sin(\omega t + 3\alpha) + \sin(\omega t + 4\alpha) + \\ + \sin(\omega t + 5\alpha) d\omega t \cong 3,82hR.$$

Для приближенного расчета значений развиваемой мощности по величине активной поверхности лопастей предложена формула:

$$P = 6,13 \cdot 10^{-4} V^3 \xi S, \text{ кВт},$$

где  $V$  – скорость ветра, м/с;  $\xi$  – коэффициент использования энергии ветра.

Для повышения эффективности силовых ветродвигателей при слабом ветре предложено использовать уравновешивающую систему, для расчета которой разработана методика, основанная на анализе равенства:

$$mg \frac{l}{2} \sin \alpha - mg \frac{l}{2} \cos \alpha - P \frac{l}{2} \cos^2 \alpha - P \frac{l}{2} \sin^2 \alpha + m_0 g l_0 \cos^2 \alpha - m_0 g l_0 \sin^2 \alpha = 0,$$

где  $m$  – масса лопасти, кг;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;  $l$  – длина боковой стороны лопасти, м;  $P$  – давление ветра на нижнюю часть лопасти при ее расположении, перпендикулярном направлению ветра;  $\alpha$  – угол поворота лопасти относительно оси горизонтального вала, град.;  $m_0$  – масса противовеса, кг;  $l_0$  – длина штока, м.

Установлено, что для достижения статического уравновешивания конструкции необходим подбор параметров ветродвигателя, обеспечивающий равенство:

$$p = mg (\sin \alpha - \cos \alpha) - \frac{2m_0 g l_0}{l} (\sin \alpha - \cos \alpha).$$

Оперативное определение параметров уравновешивающей системы предложено производить по номограмме, представленной на рисунке 20. Перед использованием номограммой необходимо найти величину  $K = Ga/2$ , а затем, обратившись к соответствующей кривой, подобрать наиболее удобное сочетание  $m_0$  и  $l_0$ .

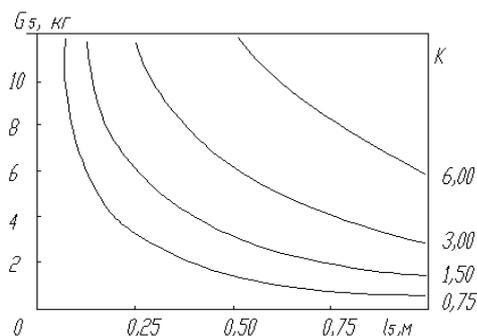


Рисунок 20 – Номограмма для определения параметров уравнивающей системы

ветродвигателя  $a_3 \cong 1,052R$ , четырехлопастного –  $a_4 \cong 1,12R$ , пятилопастного –  $a_5 \cong 1,23R$  и шестилопастного –  $a_6 \cong 1,23R$ . Аналогичные результаты (с точностью до второго знака после запятой) были получены при численном решении задачи с применением компьютера.

Оригинальность и новизна предложенных способов по определению коэффициента использования энергии ветра силовыми ветродвигателями, расчета параметров многолопастных ветродвигателей с периодически меняющейся активной поверхностью лопастей, определения параметров уравнивающей системы в ветродвигателях со взаимно перпендикулярными валами, минимизации межосевого расстояния ресурсосберегающих силовых ветродвигателей с двумя валами подтверждена авторскими свидетельствами и патентами №, № 2497022, 135009, 136860, 144542.

**В шестой главе** «Перспективные направления разработки электротехнологических способов и технических средств энерго-ресурсосбережения в производственных процессах АПК» обоснован энерго-ресурсосберегающий способ осушения воздуха на объектах АПК, описаны способы и технические средства определения качества дражирования семян по количеству смеси, не вступившей в процесс образования оболочки, обоснован способ определения размеров драже по диэлектрической проницаемости дражируемой массы, приведено описание технологии дражирования семян в непрерывном режиме, определены рабочие параметры дражиратора с рабочим органом в виде наклонного транспортера, рассмотрен энерго-ресурсосберегающий способ аккумуляции энергии в системах автономного электроснабжения объектов АПК, приведены результаты исследований по утилизации кинетической энергии жидких теплоносителей в автономных системах отопления, обоснована целесообразность ресурсосберегающего электротехнологического способа борьбы с варроатозом пчел и определены показатели эффективности предложенных энерго-ресурсосберегающих технологий и технических средств для их осуществления.

– Энергосберегающий способ осушения воздуха. При обосновании энергосберегающего способа осушения воздуха усилия были направлены на формирование условий для увеличения коэффициента  $k_5$  и уменьшения  $k_6$  в соответствии со вторым уравнением совокупности (1). Для снижения энергоемкости процесса осушения воздуха посредством твердотельной адсорбции предложено проводить регенерацию силикагеля при комнатной температуре в озono-воздушной среде. Экспериментально установлено, что озono-воздушная смесь при концентрации озона в пределах  $10...50 \text{ мг/м}^3$  интенсифицирует регенерацию силикагеля примерно на  $15...20 \%$ . Это явление объяснено изменением состояния воздушной среды под влиянием молекул озона, сопутствующих образованию активных центров в газовой фазе. При этом молекулы воды объединяются в микрокапли, образуя локальную концентрацию влаги.

При решении задачи минимизации межосевого расстояния двухосевого ресурсосберегающего ветродвигателя, были сделаны допущения: радиусы многолопастных элементов равны между собой; лопастями ветродвигателя являются тонкие параллелепипеды, представляемые плоскостями и изображаемые в плане отрезками прямых; поперечные вибрации многолопастных элементов отсутствуют.

Установлено, что для трехлопастного

Эффективная концентрация воды в воздухе снижается, а влажностный напор на границе осушаемого силикагеля и воздушной среды возрастает. Повышенный градиент влажности способствует ускорению перемещению влаги из внешних слоев силикагеля и превращению ее в газообразное состояние. Кроме того, интенсифицирующее действие озона связано с изменением энергетических свойств поверхностного слоя испаряющейся влаги. Являясь химически неустойчивым активным компонентом, озон либо вступает в химические реакции с влагой на поверхности силикагеля, либо адсорбируется с поглощением энергии, которая ему необходима для перехода в устойчивую молекулярную форму. Последнее сопровождается уменьшением энергии поверхностного слоя воды и повышением вероятности преодоления молекулами воды силы поверхностного натяжения при испарении.

– Ресурсосберегающий способ дражирования семян. При обосновании способа дражирования семян задача состояла в формировании условий для увеличения коэффициента  $k_5$  и уменьшения  $k_6$  в соответствии со вторым уравнением совокупности (1). С целью достижения экономии природных, материальных и энергетических ресурсов при предпосевной обработке семян были определены режимы их дражирования экологически безопасными материалами на экспериментальном дражираторе с барабанным рабочим органом в форме эллиптического параболоида. В эксперименте использовалась диатомитно-песочная смесь на начальном этапе дражирования и глино-песочная – на завершающем. Параметром оптимизации являлась механическая прочность оболочки драже. Предложено производить оценку прочности оболочки по количеству смеси, не вступившей в процесс образования драже. Экспериментально установлено, что свыше 85 % изменения количества смеси, статистически значимо определяется прочностью.

Доказана необходимость регулирования частоты вращения рабочего органа с увеличением радиусов драже. Установлено, что процесс дражирования сопровождается уменьшением диэлектрической проницаемости среды  $\varepsilon$ , заполняющей пространство между эквидистантно расположенными электродами:

$$\varepsilon = \frac{kU}{\varepsilon_0 S q_1} \sqrt[3]{\frac{12V - 3a^2 \sqrt{3}h}{\pi \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right)}}$$

где  $k$  – количество драже, способных разместиться друг за другом по прямой линии между электродами;  $U$  – величина прикладываемого напряжения, В;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума, К;  $S$  – площадь электродов, м<sup>2</sup>;  $V$  – сумма объемов драже и воздушного пространства между ними, м<sup>3</sup>;  $a$  – длина стороны равностороннего треугольника, образуемого основанием призмы, определяющей пространство между драже, м;  $h$  – высота призмы, м;  $q_1$  – единичный электрический заряд, К.

С целью повышения производительности дражирования, создания благоприятных условий для его автоматизации, обеспечения возможности встраивания дражираторов в линию по комплексной предпосевной обработки семян, а также для улучшения условий труда персонала предложено осуществлять процесс наращивания оболочки драже на плоской поверхности, расположенной под углом к поверхности земли и движущейся в направлении, противоположном скатыванию семян под действием силы тяжести.

В результате анализа перемещения семян по движущейся наклонной поверхности сформирована и проанализирована система уравнений.

Выявленные математические взаимосвязи изучаемых переменных позволили определить эффективные параметры процесса. Например, для дражирования семян сахарной свеклы с начальной массой 0,07 г и конечной массой драже 0,35 г в течение 20 м скорость движения поверхности должна составлять 72 см/с, а ее длина – 8 м.

– Энергосберегающий способ аккумулирования энергии в автономных системах энергообеспечения. При обосновании энергосберегающего способа аккумулирования энергии осуществлялся поиск условий для увеличения множителя  $\left(\frac{dx}{dt}\right)$  и уменьшения  $k_4$  в соответствии с первым уравнением совокупности (1). В результате исследования динамики вращения маховиков, получено уравнение энергетического баланса инерционной системы:

$$\int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{вн}} dt = \int_{t_1}^{t_2} I \frac{d\omega}{dt} dt - \int_{t_1}^{t_2} M_{\text{тр}} \omega dt,$$

где  $M_{\text{вн}}$  – внешний вращающий момент;  $I$  – момент инерции маховика;  $\omega$  – угловая скорость вращения;  $M_{\text{тр}}$  – момент трения;  $t_1$  и  $t_2$  – границы рассматриваемого интервала времени. После интегрирования и преобразования это уравнение принимает вид:

$$\frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2} - \int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{та}} dt - \int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{тр}} dt = \int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{вн}} dt. \quad (16)$$

Из выражения (16) видно, что в режиме разрядки кинетическая энергия маховичного накопителя, определяемая выражением  $W_{\text{кин}} = 0,5I(\omega_1^2 - \omega_2^2)$ , которая расходуется на полезную отводимую энергию  $W = \int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{вн}} dt$  и на энергию потерь трением

$W_{\text{тр}} = \int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{та}} dt + \int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{тр}} dt$ . Принимая во внимание характеристики инерционных накопителей энергии и подставляя рассчитанные по ним параметры в выражение (16), получены значения их удельной энергоемкости, достигаемые в различные годы последних десятилетий. По представленным на рисунке 21 графикам динамики развития удельной энергоемкости химических и инерционных накопителей сделан вывод о перспективности последних вследствие распространения магнитных подшипников, расширяющимся использованием особо прочных материалов и положительного опыта применения нанотехнологий для изготовления маховиков.

– Утилизация части кинетической энергии теплоносителя в безнасосных жидкостных системах отопления. При обосновании способа утилизации кинетической энергии теплоносителя усилия были направлены на формирование условий для увеличения коэффициентов  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  и  $k_5$ , в соответствии с первым уравнением совокупности (1) при ограничении  $E(t)$  по максимуму, определяемым отрицательными последствиями для работоспособности отопительных систем.

Небольшой, но стабильный энергетический ресурс сосредоточен в автономных отопительных системах, а также в коллекторных гелиосистемах, использующих естественное течение теплоносителя за счет разности его плотностей при различных температурах, составляющих 55...65 °С на выходе теплогенератора и 35...45 °С на входе. Часть кинетической энергии теплоносителя без ущерба для работы системы может быть утилизирована с эффективностью, определяемой гидравлическим расчетом при допущении о движении жидкости по замкнутому трубопроводу в форме тора. Уста-

новлено, что механическая энергия будет определяться диаметром трубопровода, расстоянием между точками нагрева и охлаждения теплоносителя по высоте, зависимостью плотности жидкости от температуры, ее вязкостью, величиной разности температур, а также различными сопротивлениями движению потока.

– Ресурсосберегающий способ борьбы с варроатозом пчел. При обосновании способа решалась задача создания условий для увеличения коэффициентов  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_5$ , массового коэффициента  $\xi_2$ , а также для снижения  $k_6$  в соответствии со вторым уравнением совокупности (1).

При разработке ресурсосберегающего способа борьбы с варроатозом использовано явление биологического действия электрического поля частотой 450...550 Гц на пчел и эффект селективного влияния сверхвысокочастотного электромагнитного поля на объекты различных геометрических размеров. Под воздействием низкочастотного электрического поля происходит выделение пчелами торбиона, приводящего в возбужденное состояние остальных особей пчелосемьи, сопровождающееся повышением температуры внутри улья и осыпанием клещей.

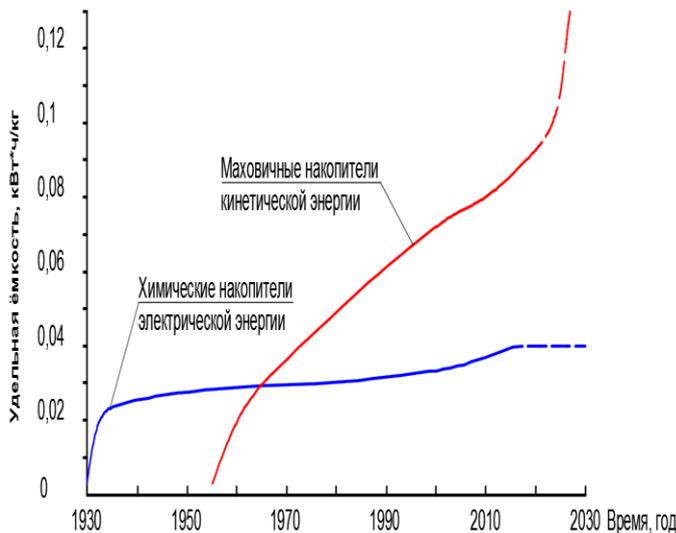


Рисунок 21 – Зависимости удельных энергоемкостей химических и маховичных накопителей энергии от времени разработки

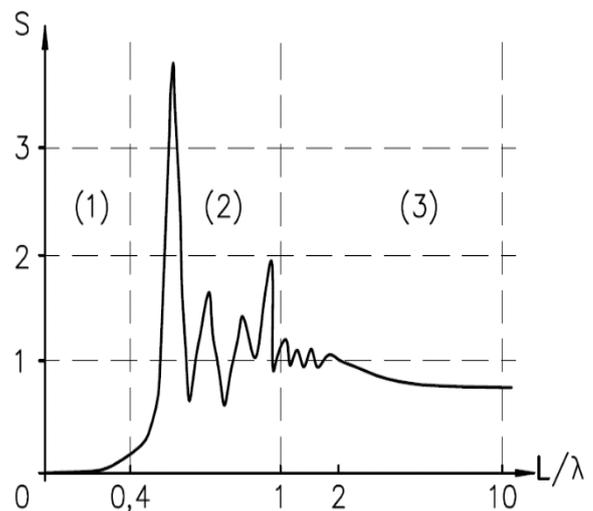


Рисунок 22 – Зависимость эффективной поглощающей поверхности сферы от геометрических размеров облучаемого объекта и длины волны

Рисунок 22 иллюстрирует зависимость эффективной поглощающей поверхности  $S$  (со свойствами биологического объекта) от величины отношения длины окружности на поверхности этой сферы  $L$  к длине волны  $\lambda$  излучения. Исходя из условий максимальной селективности воздействия, а также, сопоставляя размеры пчел и клещей в свободном состоянии, определена требуемая частота поля. Для обеспечения поглощения электрической энергии клещами в 3,5 раза больше его поглощения пчелами, с учетом средних размерах тел рабочих пчел  $13 \times 4,2 \times 4,3$  мм и размеров тел клещей  $1 \times 1,7 \times 1,6$  мм, эта частота составляет 22,7 ГГц.

Способ борьбы с варроатозом пчел заключается в воздействии на пораженную пчелосемью амплитудно-модулированным электрическим полем частотной (от 450 до 550 Гц) сверхвысокочастотной от (22,7 до 25,5 ГГц) составляющими с глубиной модуляции 50...80 %. В процессе обработки напряженность электрического поля амплитудно-модулированного воздействия не должна превышать 200 В/см в течение 15 мин.

Оригинальность и новизна предложенных способов осушения воздуха на объектах АПК, определения качества дражирования семян по количеству смеси, не всту-

пившей в процесс образования оболочки, определения размеров драже по диэлектрической проницаемости дражируемой массы, дражирования семян в непрерывном режиме, определения рабочих параметров дражиратора с рабочим органом в виде наклонного транспортера, аккумуляирования энергии в системах автономного электроснабжения объектов АПК, утилизации кинетической энергии жидких теплоносителей в автономных системах отопления, ресурсосберегающего электротехнологического способа борьбы с варроатозом пчел, а также технические средства для их осуществления подтверждены авторскими свидетельствами и патентами №, № 1319934, 1357321, 1395393, 1561863, 1468443, 1496839, 1628881, 1690579, 1672952, 1666231, 1782388, 109897, 2502023, 137601, 138737, 143227, 147857, 148721, 152417, 2561872, 156079, 171179, 171156, 2632862.

### **Показатели эффективности предложенных энерго-ресурсосберегающих технологий и технических средств для их осуществления.**

Анализ эффективности предложенных энерго-ресурсосберегающих технологий и технических средств для их осуществления показал, что положительные результаты от их использования на объектах АПК определяется совокупностью экономических, социальных и экологических факторов. При этом доминирующая роль фактора зависит от условий и специфики производства, а также от масштабов применения предметов исследования. Положительный социальный эффект при использовании автономных отопительных систем обусловлен снижением зависимости конечных потребителей от энерго-ресурсоснабжающих организаций, уменьшением площади изымаемых земель на сооружение теплотрасс на 25...38 % и повышением качества теплоснабжения. Экономический эффект сводится к исключению потерь теплоты при транспортировке теплоносителя.

Применение осциллирующего режима работы грунтовых теплообменников в теплонасосных отопительных системах уменьшает тепловую нагрузку на верхние слои грунта и предотвращает их промерзание в зимнее время. Использование предложенного способа осаждения пыли в отопительных системах с обогреваемыми полами предотвращает заболевание органов дыхания и расширяет функциональные возможности помещений. Применение озонирования топочных камер в газовых водогрейных котлах определяет снижение потребления газа на 15...20 % и снижает содержание вредных веществ в продуктах сгорания на 30 %. Использование автоматизированной системы коммерческого учета водопотребления позволяет снизить потери воды из-за протечек и несанкционированного отбора на 30 %, а также спланировать экономичный режим водопотребления. Внедрение предложенного комбинированного способа управления поливом обеспечивает снижение водопотребления на 15...20 %. Применение методики определения объема эквинапряженного пространства в рабочих камерах микроволновых установок позволяет обеспечивать равномерность обработки сельскохозяйственных материалов и снизить потери на 80 %.

Использование предложенных способов и технических средств автоматического выключения микроволновых установок при возникновении аварийных режимов обеспечивает снижение затрат на ремонт в среднем на 60 % на одну установку в год и позволяет исключить вынужденные простои оборудования вследствие необходимости замены магнетронов. Применение дражирования семян овощных культур перед посевом диатомитно-песочными и глино-песочными смесями позволяет снизить расход семенного материала на 50 %, использовать сеялки точного высева и исключить затраты ручного труда на прореживание растений при отсутствии ущерба окружающей среде. Использование дражиратора с ленточным рабочим органом существенно улучшает условия труда вследствие непрерывности процесса, повышает производи-

тельность на 30...40 % и открывает возможность включения дражирования в технологическую линию предпосевной обработки семян. Использование ветроэнергетических установок на силовых свойствах потока обеспечивает возможность преобразования ветрового ресурса, начиная со скорости ветра 1,5...2 м/с, что позволяет в течение года дополнительно увеличить получение электроэнергии по сравнению с ветродвигателями на скоростных свойствах потока на 10...12 %.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В результате анализа современных научных концепций по проблеме эффективного использования материальных и энергетических ресурсов установлена их методологическая разобщенность, ограничивающая возможность обоснования новых способов и технических средств энерго-ресурсосбережения в технологических процессах АПК. Разработаны научно-методологические основы энерго-ресурсосбережения, позволяющие создавать новые способы сокращения потребления материальных и энергетических ресурсов и заключающиеся в формализации и последующем анализе разнотипных материально-энергетических преобразований в соответствии с законом сохранения и взаимного обращения массы и энергии с учетом зависимости эффективности этих преобразований от произведения плотности потока рассматриваемых субстанций и скорости их распространения в упругой среде. Обоснован способ оценки эффективности разнотипных материально-энергетических преобразований с учетом стереометрических показателей преобразователей.

2. На основе положения о целесообразности повышения эффективности энергетических и материальных преобразований посредством увеличения их скорости обоснован способ осциллирующего подключения грунтовых теплообменников в электрифицированных системах отопления с применением тепловых насосов, исключая отрицательные экологические последствия и обеспечивающий увеличение поступления тепловой энергии на 18...25%. Разработаны комплекты электрооборудования для реализации осциллирующего режима и методика расчета их рабочих параметров. Обоснован способ снижения потребления природного газа в водогрейных котлах малой мощности на 15...20% при одновременном уменьшении содержания окислов углерода и азота в продуктах сгорания на 30% посредством ускорения окислительного процесса в топочных камерах за счет подачи в зону горения озонородной смеси с концентрацией 90...200 мг/м<sup>3</sup>. Разработаны способ и электрифицированные технические средства для коммерческого учета водопотребления, позволяющие сократить потери воды из-за протечек и несанкционированного отбора на 32...35 %, а также спланировать экономичный режим расхода водных ресурсов. Обоснован комбинированный способ управления поливом, основанный на формировании управляющего воздействия по отклонению влажности почвы, по возмущающим факторам и по прогнозу выпадения осадков, обеспечивающий снижение водопотребления на 12...18 %.

3. Используя положение о зависимости эффективности энергетических воздействий на материальные объекты с целью придания им заданных свойств от плотности энергетического потока и энергетических потерь установлена аналитическая зависимость между точностью дозирования СВЧ-воздействия на сельскохозяйственные материалы и эквинапряженным объемом в рабочих камерах микроволнового оборудования. Найденная зависимость позволяет сократить потери некачественно обработанного сырья на 10...15% и неоправданные энергетические затраты на 22...26%. Для стабилизации режима работы СВЧ-генератора при меняющейся массе обрабатываемых материалов с целью сокращения затрат энергии на 15...18% и материальных ре-

сурсов на 30...35% предложен способ автоматического управления напряжением в цепи питания магнетрона в соответствии с разработанным алгоритмом. Выявлены физические факторы, сопровождающие аварийные режимы работы микроволнового электрооборудования. Обоснованы зависимости формы кривой тока в цепи анодного питания магнетрона, а также уровня низкочастотного фона от наличия нагрузки в рабочей камере. На основе исследованных зависимостей разработаны устройства автоматического распознавания аварийных режимов, исключающие выход из строя магнетронов, стоимость замены которых составляет 25...40% от стоимости микроволновых установок.

4. В соответствии с положением о зависимости эффективности энергетических преобразований от стереометрических показателей преобразователей разработана методика расчета элементов конструкции и рабочих параметров, многолопастных ветродвигателей в составе ветроэлектростанций, использующих силовые свойства ветра, открывающая возможность проектирования ресурсосберегающих преобразователей кинетической энергии воздушного потока в механическую форму с повышенным пусковым моментом. Для обеспечения работоспособности ветроустановок при скоростях ветра от 2,0 м/с разработан ряд силовых конструкций с периодически меняющейся активной поверхностью лопастей. Разработана методика определения минимально допустимого межосевого расстояния двухосевых ветродвигателей, определяющая уменьшение рабочего пространства конструкции на 40%.

5. Обоснованы перспективные направления разработки новых электротехнологических способов и технических средств энерго-ресурсосбережения в технологических процессах АПК, в частности:

1) энергосберегающий электротехнологический способ осушения воздуха, определяющий снижение энергетических затрат по сравнению с традиционным адсорбционным осушением на 20...25 %;

2) ресурсосберегающий способ дражирования семян в непрерывном режиме, обеспечивающий снижение выхода некачественных драже на 15% и позволяющий встраивать процесс наращивания оболочки в технологические линии подготовки семян к посеву;

3) способ использования инерционных накопителей энергии в системах автономного энергообеспечения стационарных объектов АПК, определяющий увеличение срока эксплуатации аккумуляторного оборудования на 80%;

4) способ утилизации кинетической энергии теплоносителя в автономных безнасосных отопительных системах, исключающий зависимость их работоспособности от внешних источников электрической энергии;

5) ресурсосберегающий способ борьбы с варроатозом пчел с использованием амплитудно-модулированного электрического поля, обеспечивающий повышение выживаемости пораженных пчелосемей на 25...30 %.

### **Основные результаты исследования отражены в публикациях:**

#### **Ведущие издания, рекомендуемые ВАК РФ**

1. Андреев, С.А. Энергосберегающее управление влажностью воздуха на объектах АПК / С.А. Андреев, Ю.А. Судник, И.В. Белоусова // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2010. – № 2. – С. 7–12.

2. Андреев, С.А. Обоснование параметров конвективной системы отопления с применением теплового насоса / С.А. Андреев, Ю.А. Судник, Е.А. Флегонтов // Международный научный журнал. – 2010. – № 4.– С. 92–96.
3. Андреев, С.А. К вопросу о возобновляемости углеводородных энергоносителей / С.А. Андреев, Ю.А. Судник, А.В. Вагин // Международный научный журнал. – 2011. – № 1.– С. 81–88.
4. Андреев, С.А. Анализ технико-экологических ограничений использования возобновляемых источников энергии / С.А. Андреев, А.В. Вагин // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2011. – № 1. – С. 11–15.
5. Андреев, С.А. О возможности использования термоэлектрических преобразователей в системах автономного энергообеспечения / С.А. Андреев, Ю.А. Судник, А.А. Слепых // Международный научный журнал. – 2011. – № 4. – С. 49–55.
6. Андреев, С.А. Оценка эффективности энергетических источников с учетом рабочего пространства преобразователей / С.А. Андреев, А.В. Вагин // Природообустройство. Научно-практический журнал ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет природообустройства». – 2011. – № 5. – С. 92–96.
7. Андреев, С.А. Определение коэффициента полезного действия низкотемпературного термоэлектрического преобразователя / С.А. Андреев, А.А. Слепых // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2011. – № 2. – С. 10–13.
8. Андреев, С.А. Ресурсосберегающее автономное теплоснабжение объектов АПК / С.А. Андреев, Ю.А. Судник, Е.А. Петрова // Международный научный журнал. – 2011. – № 5. – С. 83–91.
9. Андреев, С.А. Адсорбционная сушка твердого вещества в озono-воздушной среде // С.А. Андреев, Н.И. Гурецкий, И.В. Белоусова / Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2012. – № 2. – С. 44–47.
10. Андреев, С.А. Совершенствование конструкций электронаезависимых водогрейных котлов с озоновым наддувом / Е.А. Петрова, С.А. Андреев // Международный научный журнал. – 2013. – № 5. – С. 71–76.
11. Андреев, С.А. Исследование количественных характеристик процесса перемещения ионов озона электростатическим движителем / С.А. Андреев, Е.А. Петрова // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2013. – № 1. – С. 19–24.
12. Андреев, С.А. Экспериментальное исследование горения в озono-воздушной среде / С.А. Андреев, Е.А. Петрова // Международный научный журнал. – 2014. – № 3. – С. 84–90.
13. Андреев, С.А. Исследование динамического баланса концентрации озона в топочной камере водогрейного котла / С.А. Андреев, Е.А. Петрова // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2014. – № 3. – С. 11–13.
14. Андреев, С.А. Разработка алгоритма управления озонатором / С.А. Андреев, Е.А. Петрова // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2014. – № 2. – С. 26–29.
15. Андреев, С.А. К вопросу управления концентрацией озона в топочной камере водогрейного котла / С.А. Андреев, Е.А. Петрова, Т.В. Иванова // Международный технико-экономический журнал. – 2014. – № 5. – С. 63–66.
16. Андреев, С.А. Автоматизированная система учета водопотребления в АПК / С.А. Андреев, Н.Г. Кожевникова, А.И. Матвеев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 3. – С. 10–14.
17. Андреев, С.А. Оценка энергозатрат на озонирование топочного пространства водогрейных котлов / С.А. Андреев, Е.А. Петрова // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2015. – № 2. – С. 33–37.

18. Андреев, С.А. Анализ способов интенсификации горения природного газа в топках водогрейных котлов / С.А. Андреев, Е.А. Петрова, Н.И. Гурецкий // Международный технико-экономический журнал. – 2015. – № 4. – С. 90–97.

19. Андреев, С.А. Предотвращение промерзания грунта при эксплуатации теплонасосных отопительных систем / С.А. Андреев, С.П. Рудобашта, Е.А. Флегонтов // Международный технико-экономический журнал. – 2015. – № 5. – С. 77–83.

20. Андреев, С.А. Импульсный режим подключения грунтовых теплообменников в теплонасосных отопительных системах / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов, Е.А. Флегонтов, Т.В. Иванова // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2015. – № 6. – С. 39–44.

21. Андреев, С.А. Повышение эффективности регенерации силикагеля в адсорбционных осушителях воздуха / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов, П.Л. Мещанинова // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина» – 2016. № 1 (71). – С. 57–61.

22. Андреев, С.А. Автономное питание измерительно-передающих устройств в системах автоматического управления сельскохозяйственного назначения / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов, А.И. Матвеев // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина» – 2016. – № 3(73). – С. 63–68.

23. Андреев, С.А. Электротехнологические приемы в процессе дражирования семян / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов, В.И. Тарушкин // Международный научный журнал. – 2016. – № 4. – С. 79–86.

24. Андреев, С.А. Предотвращение аварийных режимов в СВЧ-установках сельскохозяйственного назначения / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов, В.А. Воробьев // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2016. – № 5(75). – С. 60–67.

25. Андреев, С.А. Использование полупроводниковых приборов для замены конденсаторов в схемах электронных устройств / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – № 1(77). – С. 46–51.

26. Андреев, С.А. Использование роботизированных манипуляторов для поштучной подачи и перемещения сельскохозяйственных продуктов / Р.Х. Юсупов, С.А. Андреев // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – № 3(79). – С. 66–71.

27. Андреев, С.А. Роботизированные системы многодиапазонной сортировки сельскохозяйственных продуктов / С.А. Андреев, Р.Х. Юсупов // Международный научный журнал. – 2017. – № 5. – С. 72–76.

28. Андреев, С.А. Аккумуляция энергии в маломощных гелиосистемах автономного электроснабжения / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов, Д.В. Шибаров // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – № 5(81). – С. 70–76.

29. Андреев, С.А. Энерго-ресурсосберегающий способ управления поливом / С.А. Андреев // Природообустройство. – 2017. – № 5. – С. 95–102.

30. Андреев, С.А. Использование явления ионного ветра в технологических процессах АПК / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов, В.А. Воробьев // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – № 6. – С. 72–77.

31. Андреев, С.А. Двухмерное моделирование течения жидкости через препятствие с применением метода решетчатых уравнений Больцмана / С.А. Андреев, А.И. Матвеев, А.И. Зданчук // Международный научный журнал. – 2017. – № 6. – С. 52–60.

32. Андреев, С.А. Электротехнологический прием борьбы с варроатозом пчел / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 1. – С. 59–66.

33. Андреев С.А. Электропитание измерительно-передающих устройств в телеметрических системах сельскохозяйственного назначения / С.А. Андреев, С.А. Матвеев // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 2. – С. 34–39.
34. Андреев, С.А. Исследование параметров гидроэлектрического преобразователя для питания измерительно-передающих устройств / А.И. Матвеев, С.А. Андреев // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 7. – С. 47–51.
35. Андреев, С.А. Утилизация кинетической энергии жидкого теплоносителя в коллекторных гелиосистемах / С.А. Андреев, Н.Г. Кожевникова, Д.В. Шибаров // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2018. – № 4. – С. 69–74.
36. Андреев, С.А. Исследование энергетических показателей процесса разряда конденсаторов на переменную нагрузку / А.И. Матвеев, С.А. Андреев // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 3. – С. 85–92.
37. Андреев, С.А. Новая технология СВЧ-обработки почвы // С.А. Андреев, П.М. Уманский // Природообустройство. – 2018. – № 4. – С. 111–116.
38. Андреев, С.А. Оценка энергетических показателей роботизированных газонокосилок. / Д.В. Анашин, С.А. Андреев // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2018. – № 5. – С. 63–69.
39. Андреев, С.А. Определение рабочего объема в камере микроволновой установки периодического действия / С.А. Андреев, В.М. Карнаухов // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 4. – С. 43–50.
40. Андреев, С.А. Определение эквинапряженного пространства в рабочей камере сверхвысокочастотной установки циклического действия / С.А. Андреев, Т.В. Иванова // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2018. – № 6. – С. 56–64.
41. Андреев, С.А. Обеспечение равномерности СВЧ-обработки сельскохозяйственных материалов в объемном резонаторе / Н.Е. Кабдин, С.А. Андреев // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 4. – С. 42–49.
42. Андреев, С.А. Технические средства для осциллирующего подключения грунтовых теплообменников в системах отопления с тепловыми насосами / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов // Международный технико-экономический журнал. – 2019. – № 6. – С. 28–39.
43. Андреев, С.А. Снижение энергопотребления телеметрическими системами сельскохозяйственного назначения / С.А. Андреев, В.П. Воробьев, А.И. Матвеев // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2019. – № 1. – С. 60–65.
44. Андреев, С.А. Оптико-электронная роботизированная система для сортировки сельскохозяйственной продукции / С.А. Андреев, Н.А. Шевкун // Международный технико-экономический журнал. – 2019. – № 1. – С. 33–40.
45. Андреев, С.А. Электротехнологический способ управления горением в пиролизных котлах / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов, В.А. Воробьев // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2019. – № 2. – С. 53–58.
46. Андреев, С.А. Динамическая коммутация ионистров в источниках питания элементов телеметрических систем / А.И. Матвеев, С.А. Андреев // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 1. – С. 76–81.
47. Андреев, С.А. Диэлектрическое осаждение пыли в помещениях с обогреваемыми полами / С.А. Андреев, В.М. Богоявленский, Л.Л. Иванова // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2019. – № 4. – С. 52–59.
48. Андреев, С.А. Использование электрических полей для борьбы с варроатозом пчел / С.А. Андреев // Вестник АПК Ставрополя. – 2019. – № 2. – С. 4–7.

49. Андреев, С.А. Уравновешивание ветродвигателей с периодически меняющейся активной поверхностью лопастей / С.А. Андреев, Н.Е. Кабдин // Перспективы науки. – 2019. – № 8. – С. 27–32.

50. Андреев, С.А. Энергосберегающий дистанционный контроль параметров технологических процессов в АПК / С.А. Андреев // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 9. – С. 20–25.

51. Андреев, С.А. Оценка параметров силовых ветродвигателей с периодически меняющейся активной поверхностью лопастей / С.А. Андреев // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 5. – С. 83–91.

52. Андреев, С.А. Определение коэффициента использования энергии ветра ветродвигателей с перестраиваемыми лопастями / С.А. Андреев // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 6. – С. 14–21.

53. Андреев, С.А. Обоснование параметров уравновешивающей системы в ветродвигателях со взаимно перпендикулярными валами / С.А. Андреев, Н.А. Шевкун // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 2. – С. 107–115.

54. Андреев, С.А. Оптимизация конструкции двухосевых устройств для кошения растений / Д.В. Анашин, С.А. Андреев // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 3. – С. 45–53.

55. Андреев, С.А. Управление энергетическими потоками в системах комбинированного электроснабжения объектов АПК / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов // Агроинженерия. – 2021. – № 6(106). – С. 68–73.

56. Андреев, С.А. Повышение эффективности ветродвигателей с периодически меняющейся активной поверхностью лопастей / С.А. Андреев // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 4. – С. 71–79.

57. Андреев, С.А. Определение рабочих параметров ленточного дражирователя / С.А. Андреев, В.В. Дубов // Агроинженерия. – 2022. – № 3(24). – С. 27–32.

58. Андреев, С.А. Исследование движения семян при дражировании в непрерывном режиме / С.А. Андреев, В.М. Карнаухов // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 6. – С. 38–47.

59. Андреев, С.А. Экспериментальные исследования дражирования семян в барабанном дражирователе / С.А. Андреев // Агроинженерия. – 2022. – № 5. – С. 16–23.

60. Андреев, С.А. Исследование зависимости диэлектрической проницаемости дражируемой массы от размеров драже / С.А. Андреев, В.В. Дубов // Агроинженерия. – 2023. – № 1. – С. 86–90.

**Статьи, опубликованные в изданиях,  
индексируемых в международной базе цитирования Scopus**

61. Andreev, S. Energy-saving management / S. Andreev, V. Zagainaylov, A. Matveev // MATEC Web of Conferences. Vol. 245 (2018). International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2018). 06014. Saint-Petersburg, Russia, November 19–20, 2018. – Published online: 05 December 2018. – 6 p.

62. Andreev, S.A. Comparative assessment of the effectiveness of different types of renewable energy sources / S.A. Andreev, N.E. Kabdin, V.F. Storchevoy // AIP Conference Proceedings 2661, 120001 (2022). – <https://doi.org/10.1063/5.0110154>. – Published Online: 03 October 2022. – 7 p.

**Монографии**

63. Андреев, С.А. Энергоресурсосбережение в микроволновых установках сельскохозяйственного назначения / С.А. Андреев, В.И. Загинайлов; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – Москва: ООО «Мегаполис», 2020. – 126 с.

64. Андреев, С.А. Электротехнологические приемы энергоресурсосбережения в системах автономного теплообеспечения объектов АПК / С.А. Андреев; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – Москва: ООО «Мегаполис», 2020. – 168 с.

65. Андреев, С.А. Электрооборудование для ресурсо-энергосбережения в системах водообеспечения объектов АПК / С.А. Андреев, А.И. Матвеев. – Пенза: МЦНС Наука и Просвещение, 2020. – 190 с.

66. Андреев, С.А. Ресурсосберегающий способ повышения эффективности газовых котлов / С.А. Андреев, Е.А. Петрова // Опыт и проблемы управления модернизацией инновационной деятельности в социально-экономических и технических системах: монография / Под общ. ред. В.В. Бондаренко. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – С. 71–93.

67. Андреев, С.А. Электротехнологические способы ресурсосбережения в газовых водогрейных котлах и технические средства для их осуществления / С.А. Андреев; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – Москва: ООО «Мегаполис», 2020. – 135 с.

68. Андреев С.А. Электротехнологические способы и технические средства ресурсосберегающего дражирования семян / С.А. Андреев, В.В. Дубов; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – Москва: ООО «Мегаполис», 2023. – 150 с.

### Авторские свидетельства и патенты

69. А.с. № 1209057 СССР, МКИ А 01 С 1/00. Устройство для подготовки семян к посеву: № 3766031/30–15: заявл. 04.07.1984: опубл. 07.02.1986 / Шарков Г.А., Андреев С.А.

70. А.с. № 1232157 СССР, МКИ А 01 С 1/00. Установка для СВЧ-обработки: 3828665/30–15: заявл. 05.11.1984: опубл. 23.05.1986: / Бородин И.Ф., Шарков Г.А., Андреев С.А.

71. А.с. № 1319934 СССР, МКИ G 01 N 29/04. Устройство для сортировки предметов по группам: № 4023086/30–12: заявл. 13.02.1987: опубл. 30.06.1987 / Андержанов А.Л., Ковалев С.И., Андреев С.А., Тишаков А.А.

72. А.с. № 1357321 СССР, МКИ В 05 G 47/46. Устройство для автоматического адресования объекта по кратчайшему пути: № 4021728/27–03: заявл. 13.02.1986: опубл. 07.12.1987 / Андержанов А.Л., Андреев С.А., Ковалев С.И., Тишаков А.А.

73. А.с. № 1395393 СССР, МКИ В 07 С 5/342. Устройство для сортировки штучных предметов: № 4113465/30–13: заявл. 22.08.1986: опубл. 15.05.1988 / Андержанов А.Л., Андреев С.А., Ковалев С.И., Каюмов К.М., Шарков Г.А.

74. А.с. № 1561863 СССР, МКИ А 01 G 7/16. Устройство для поштучной подачи округлых предметов: № 4453317/30–15: заявл. 30.06.1988: опубл. 07.05.1990 / Андержанов А.Л., Андреев С.А., Ковалев С.И., Филаткин В.П.

75. А.с. № 1459620 СССР, МКИ А 01 С 1/00. Установка для СВЧ-обработки: № 4221970/30–15: заявл. 06.04.1987: опубл. 23.02.1989 / Андреев С.А., Андержанов А.Л., Буrows А.С., Пипко А.И.

76. А.с. № 1453626 СССР, МКИ Н 05 В 6/64. Устройство для управления СВЧ-нагревом: № 4192679/24–09: заявл. 11.02.1987: опубл. 23.01.1989 / Шарков Г.А., Андреев С.А., Андержанов А.Л., Пипко А.И.

77. А.с. № 1475509 СССР, МКИ А 01 С 1/00. Установка для СВЧ-обработки: № 4310650/30–15: заявл. 28.09.1987: опубл. 30.04.1989 / Пипко А.И., Прокудин А.С., Юрков В.С., Буrows А.С., Андержанов А.Л., Андреев С.А., Шарков Г.А.

78. А.с. № 1468443 СССР, МКИ А 01 С 1/00. Устройство для дражирования семян: № 4229482/30–15: заявл. 13.03.1987: опубл. 30.03.1989 / Бородин И.Ф., Андреев С.А., Ковалев С.И., Андержанов А.Л., Пивоваров Д.Н., Шарков Г.А.

79. А.с. № 1496839 СССР, МКИ А 01 С 5/342. Устройство для оптической сортировки плодов: № 4266928/30–13: заявл. 22.06.1987: опубл. 30.07.1989 / Андержанов А.Л., Андреев С.А., Каюмов К.М., Ковалев С.И.

80. А.с. № 1596493 СССР, МКИ Н 05 В 6/64. Устройство СВЧ-обработки: № 4441128/24–09: заявл. 10.05.1988: опубл. 30.09.1990 / Бородин И.Ф., Андреев С.А., Андержанов А.Л., Соколов А.И., Семенов Л.А., Пипко А.И., Прокудин А.С., Юрков В.С.

81. А.с. № 1628881 СССР, МКИ А 01 С 1/06. Устройство для дражирования семян: № 4663530/15: заявл. 20.03.1989: опубл. 23.02.1991 / Бородин И.Ф., Андреев С.А., Андержанов А.Л., Пивоваров Д.Н.

82. А.с. № 1699364 СССР, МКИ А 01 С 1/00. Установка для СВЧ-обработки: № 4309988 /15: заявл. 28.09.1987: опубл. 23.12. 1991 / Андреев С.А., Андержанов А.Л., Ковалев С.И., Пипко А.И.

83. А.с. № 1690579 СССР, МКИ А 01 С 1/06. Способ дражирования семян и устройство для его осуществления: № 4717344/15: заявл. 11.07.1989: опубл. 15.11.1991 / Андреев С.А., Андержанов А.Л., Белоусов Э.В., Пивоваров Д.Н.

84. А.с. № 1672952 СССР, МКИ А 01 С 1/06. Устройство для дражирования семян: № 4727646/15: заявл. 25.08.1989: опубл. 30.08.1991 / Бородин И.Ф., Андреев С.А., Андержанов А.Л., Пивоваров Д.Н.

85. А.с. № 1666231 СССР, МКИ В 07 С 5/342, А 23 N 15/00. Устройство для сортировки штучных предметов: № 4674652/13: заявл. 06.04.1989: опубл. 30.07.1991 / Андержанов А.Л., Андреев С.А., Каюмов К.М., Ковалев С.И.

86. А.с. № 1688467 СССР, МКИ Н 05 В 6/64. Устройство для СВЧ-обработки: № 4730130/09: заявл. 11.08.1989: опубл. 30.10.1991 / Кузнецов С.Г., Михайлов М.Д., Андреев С.А., Андержанов А.Л.

87. А.с. № 1722271 СССР, МКИ А 01 В 47/00. Устройство для стерилизации: № 4783977/15: заявл.22.12.1989: опубл. 30.03.1992 / Алергант Г.И., Жук З.Я., Кузнецов С.Г., Андержанов А.Л., Горин А.Д., Андреев С.А.

88. А.с. № 1782388 СССР, МКИ А 01 С 1/06. Устройство для дражирования семян: № 4879989/15: заявл. 06.11.1990: опубл. 23.12.1992 / Андреев С.А., Андержанов А.Л., Старовойтов В.Н., Ленский Л.А., Пивоваров Д.Н.

89. А.с. № 1822630 СССР, МКИ А 01 С 1/00, Н 05 В 6/68. Установка для СВЧ-обработки: № 4922734/15: заявл. 29.03.1991: опубл. 23.06.1993 / Бородин И.Ф., Андреев С.А., Андержанов А.Л. Соколов А.И.

90. Патент № 109897 Российская Федерация, МПК H05 В 6/10 (2006.01). Индукционное нагревательное устройство: № 2010154572/07: заявл. 31.12.2010: опубл.27.09.2011 / Коваль В.А., Судник Ю.А., Андреев С.А., Загинайлов В.И.

91. Патент № 119860 Российская Федерация, МПК F24 H1/00 (2006.01). Отопительный котел: № 2012110351/06: заявл. 20.03.2012: опубл. 27.08.2012 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А.

92. Патент № 119857 Российская Федерация, МПК F24 D17/02 (2006.01). Установка для отопления и горячего водоснабжения: № 2012106719/12: заявл. 24.02.2012: опубл. 27.08.2012 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Ходус Е.В.

93. Патент № 119856 Российская Федерация, МПК F24 D3/12 (2006.01). Система отопления жилых и производственных помещений: № 2012110353/12: заявл. 20.03.2012: опубл. 27.08.2012 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Богоявленский В.М., Флегонтов Е.А.

94. Патент № 120535 Российская Федерация, МПК Н 05 В6/64 (2006.01). Установка для СВЧ-обработки: № 2012110352: заявл. 20.03.2012: опубл. 20.09.2012 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Щукина В.Н.

95. Патент № 131459 Российская Федерация, МПК F24 H1/00 (2006.01). Отопительный котел: № 2012153818: заявл. 13.12.2012: опубл.20.08.2012 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А., Гурецкий Н.И.

96. Патент № 1311461 Рссийская Федерация МПК F24 H1/06 (2006.01). Котел для приготовления горячей воды и пара: № 2013107151/06: заявл. 20.02.2013: опубл. 20.08.2013 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А., Гурецкий Н.И.

97. Патент № 2497022 Российская Федерация, МПК F03 D3/06, F03 D11/02 (2006.01). Ветродвигатель: № 2497022: заявл. 23.12.2011: опубл. 27.10.2013 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Вагин А.В.

98. Патент № 135009 Российская Федерация, МПК F03 D3/04, F03 D3/02 (2006.01). Малообъемный ветродвигатель: № 2013112159/06: заявл. 20.03.2013: опубл. 27.11.2013 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Вагин А.В.

99. Патент № 2502023 Российская Федерация, МПК F24 F7/00 (2006.01). Способ и устройство для осушения воздуха: № 2011152706: заявл. 23.12.2011: опубл. 20.12.2013 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Нормов Д.А., Федоренко Е.А.

100. Патент № 136860 Российская Федерация, МПК F03 D7/06 (2006.01). Ветродвигатель: № 2013130270: заявл. 03.07.2013: опубл. 20.01.2014 / Андреев С.А.

101. Патент № 137091 Российская Федерация, МПК F24 H1/00 (2006.01). Устройство для нагрева воды: № 2013118676/06: заявл. 24.04.2013: опубл. 27.01.2014 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А., Богоявленский В.М.

102. Патент № 137601 Российская Федерация, МПК F24 J2/42, H01 L31/048 (2006.01). Малообъемный преобразователь солнечной энергии в электрическую: № 2013121678/06: заявл. 13.05.2013: опубл. 20.02.2014 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Вагин А.В., Шибаров Д.В.

103. Патент № 138737 Российская Федерация, МПК F24 B5/06 (2006.01). Отопительно-варочная печь: № 2013141054/06: заявл. 06.09.2013: опубл. 20.03.2014 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А., Бессонов К.Е., Богаченков А.Г.

104. Патент № 140455 Российская Федерация, МПК F24 D3/08 (2006.01). Система автономного обогрева помещений: № 2013147025/12: заявл. 22.10.2013: опубл. 10.05.2014 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Трушевский С.Н., Флегонтов Е.А.

105. Патент № 140809 Российская Федерация, МПК F24 H1/00 (2006.01). Водогрейный котел: № 2013139515/02: заявл. 27.08.2013: опубл. 20.05.2014 / Андреев С.А., Петрова Е.А.

106. Патент № 143227 Российская Федерация, МПК E03 B3/00 (2006.01). Устройство для подъема воды: № 2013152074/13: заявл. 25.11.2013: опубл. 20.07.2014 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Шибаров Д.В.

107. Патент № 144540 Российская Федерация, МПК F24 H1/00 (2006.01). Водогрейный пиролизный котел: № 2013157082/06: заявл. 24.12.2013: опубл. 27.08.2014 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А., Макаров Е.А.

108. Патент № 144542 Российская Федерация, МПК F03 D7/06 (2006.01). Ветродвигатель со взаимно-перпендикулярными валами: № 2013145580/06: заявл. 11.10.2013: опубл. 27.08.2014 / Андреев С.А.

109. Патент № 147360 Российская Федерация, МПК G01 F1/075 (2006.01). Устройство для измерения количества потребленной жидкости: № 2014116863/28: заявл. 28.04.2014: опубл. 10.11.2014 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Матвеев А.И.

110. Патент № 147722 Российская Федерация, МПК F24 D17/02 (2006.01). Установка для автономного отопления: № 2014116861/12: заявл. 28.04.2014: опубл. 20.11.2014 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Ходус Е.В.

111. Патент № 147857 Российская Федерация, МПК F 26 B9/06 (2006.01). Установка для сушки древесины: № 2014112298/06: заявл. 01.04.2014: опубл. 20.11.2014 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Рудобашта С.П., Семина А.А.

112. Патент № 148721 Российская Федерация, МПК H02 N10/00 (2006.01). Термоэлектрическая система производства энергии: № 2014108716/07: заявл. 07.03.2014: опубл. 10.12.2014 / Андреев С.А., Ходус Е.В., Ельцов А.В.

113. Патент № 2535296 Российская Федерация, МПК F24 D3/12, F24 H1/40, F23 D14/20 (2006.01). Устройство для отопления: № 2012151928/06: заявл. 04.12.2012: опубл. 10.12.2014 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А., Гурецкий Н.И.

114. Патент № 149505 Российская Федерация, МПК F24 D12/02 (2006.01). Автономная отопительная система: № 2014119706/12: заявл. 16.05.2014: опубл. 10.01.2015 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Трушевский С.Н., Флегонтов Е.А.

115. Патент № 152417 Российская Федерация, МПК H02N 10/00 (2006.01). Устройство для преобразования тепловой энергии в электрическую: № 2014129049/07: заявл. 16.07.2014: опубл. 27.05.2015 / Андреев С.А., Семина А.А.

116. Патент № 155165 Российская Федерация, МПК G01 F1/00 (2006.01). Устройство для измерения расхода жидкости: № 2015100179/28: заявл. 13.01.2015: опубл. 27.09.2015 / Андреев С.А., Матвеев А.И.

117. Патент № 2561872 Российская Федерация, МПК A61 L9/015 (2006/01). Способ обеззараживания животноводческий помещений от возбудителя псевдомоноза: № 2014108456/15: заявл.04.03.2014: опубл. 10.09.2015 / Терехов В.И., Нормов Д.А., Судник Ю.А., Андреев С.А., Сердюченко И.В.

118. Патент № 156079 Российская Федерация, МПК F24 J3/08, F03 G7/04. Устройство для получения электроэнергии: № 2014140412/06: заявл. 07.10.2014: опубл. 27.10.2015 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Шибаров Д.В.

119. Патент № 170428 Российская Федерация, МПК H05B 6/68 (2006.01). Установка для СВЧ-обработки: № 2016136143/07: заявл. 08.09.2016: опубл. 25.04.2017 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Столбунов А.А.

120. Патент № 171179 Российская Федерация, МПК F26B 9/06 (2006.01), F26 B 3/04 (2006.01). Устройство для сушки древесины: № 2016135287: заявл.31.08.2016: опубл. 23.05.2017 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Анашин Д.В., Евченко В.Ю.

121. Патент № 171156 Российская Федерация, МПК A01C 1/06 (2006.01). Устройство для дражирования семян: № 2016136861, заявл.14.09.2016: опубл.23.05.2017 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Анашин Д.В., Балан А.В.

122. Патент № 2622695 Российская Федерация, МПК A01G 25/16 (2006.01). Способ управления поливом: № 2016100223: заявл.11.01.2016: опубл. 19.06.2017 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Матвеев А.И.

123. Патент № 2627546 Российская Федерация, МПК G01F 1/06 (2006.01). Устройство для измерения расхода жидкости: № 2016119238: заявл. 18.05.2016: опубл. 18.08.2017 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Матвеев А.И.

124. Патент № 2632862 Российская Федерация, МПК A01K 47/00 (2006.01), A01K 51/00 (2006.01). Способ борьбы с варроатозом пчел: № 2016130671, заявл. 26.07.2016: опубл. 11.10.2017 / Андреев С.А., Судник Ю.А., Загинайлов В.И.

125. Патент № 175890 Российская Федерация, МПК F24D 12/02 (2006.01), F24J 3/08 (2006.01). Установка для автономного отопления: № 2017125265, заявл.14.07.2017: опубл. 21.12.2017 / Андреев С.А., Загинайлов В.И., Судник Ю.А., Иванова Л.Л.

126. Патент № 189080 Российская Федерация, МПК G01N 25//56 (2006.01). Беспроводное устройство для контроля влажности почв: № 2019103316, заявл. 06.02.2019, опубл. 13.05.2019 / Андреев С.А., Матвеев А.И., Судник Ю.А., Анашин Д.В.