

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента **Белова Александра Анатольевича**, доктора технических наук, главного научного сотрудника лаборатории «Электро-, теплотехнологий и энергосбережения» Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федерального научного агроинженерного центра «ВИМ», на диссертационную работу **Андреева Сергея Андреевича** «Научно-методологические основы энерго-ресурсосбережения в технологических процессах АПК», представленной к публичной защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 4.3.2 – Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки) в диссертационный совет 35.2.030.03 при ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

### **1. Актуальность темы**

Существенной научной проблемой на настоящее время является неэффективность использования материальных и энергетических ресурсов с.-х. продукции, что проявляется в повышенном расходе водных ресурсов при водобеспечении объектов АПК, потерях электроэнергии за счет неравномерности СВЧ обработки продуктов, низкой эффективности преобразования кинетической энергии воздушных потоков ветроэлектростанций. Поэтому представляются актуальными вопросы разработки и обоснования комплексной методологии энергоресурсосбережения в технологических процессах АПК, электротехнологических способов и технических средств. Диссертационное исследование направлено на анализ, постановку и решение этих вопросов для устранения вышеназванной научной проблемы. К тому же тема диссертации соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в России в части пункта «Технология создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии».

### **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Результаты диссертационной работы представлены пятью выводами.

1. Автором выявлена разобщенность существующих научных концепций по решению проблем неэффективного использования материальных и энергетических ресурсов, ограничивающая разработку новых способов и технических средств сбережения вышеназванных ресурсов. Предлагаются упорядочение и последующий анализ 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. научно-методологические основы энерго-ресурсосбережения. Под операциями упорядочения и анализа понимаются научно-методологические основы энерго-ресурсосбережения в технологических процессах АПК. Вывод поясняет актуальность темы и название, систематизирует научную проблему.

2. Автором разработаны 4 способа снижения энерго- и ресурсопотребления при выполнении различных технологических операций над разными объектами и технические средства для их реализации. Первый – экологичный способ осциллирующего подключения грунтовых теплообменников с применением тепловых насосов для увеличения тепловой энергии на 18-25 %. Второй – способ снижения потребления природного газа в водогрейных котлах малой мощности на 15-20 % посредством ускорения окислительного процесса в топочных камерах за счет подачи в зону горения озono-воздушной смеси. Третий – способ коммерческого учета водопотребления, позволяющие сократить потери воды из-за протечек и несанкционированного отбора на 32-35 %, а также спланировать экономичный режим расхода водных ресурсов. Четвертый – 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 %. Эти способы автор обобщает по единому принципу повышения скорости проведения энергетических и материальных преобразований, что приводит в каждом из четырех случаев к повышению эффективности. Вывод обладает научной новизной.

3. В третьем выводе, на основании положения о зависимости эффективности энергетического воздействия на материал от плотности потока энергии и ее потерь, установлена аналитическая зависимость между точностью дозирования СВЧ обработки на с.-х. материалы и объемом загрузки рабочих камер СВЧ. Зависимость позволяет сократить потери некачественно обработанного сырья на 10-15 % и неоправданные энергетические затраты на 22-26 %. Предложен способ автоматического управления напряжением в цепи питания магнетрона, позволяющий стабилизировать режим работы СВЧ устройства при изменяемой массе загрузки при сокращении затрат энергии на 15-18 %. Также разработаны устройства автоматического распознавания аварийных режимов магнетронов. Вывод обладает практической значимостью.

4. Разработана методика расчета конструкции и параметров многолопастных ветродвигателей ветроэлектростанций. Использовано положение о зависимости эффективности энергетических преобразований от стереометрических показателей преобразователей. Методика дает возможность проектирования ресурсосберегающих преобразователей кинетической энергии в механическую с повышенным пусковым моментом. Также предложена методика минимизации межосевого расстояния двухосевых ветродвигателей, обеспечивающая сбережение площади конструкции на 40 %. Вывод обладает научной новизной.

5. Предложены перспективные способы энерго- и ресурсосбережения техпроцессов АПК, такие как осушение воздуха при снижении энергетических затрат по сравнению с традиционным адсорбционным осушением на 20-25 %, дражирование семян в непрерывном режиме для снижения выхода некачественных драже на 15 %, автономное энергообеспечение объектов АПК при использовании инерционных накопителей энергии для увеличения срока эксплуатации

аккумулирующего оборудования на 80 %, утилизация кинетической энергии теплоносителя в автономных безнасосных отопительных системах, противороатозные мероприятия с использованием электрического поля для выживаемости пчелосемей на 25-30 %. Вывод обладает практической значимостью.

Основные положения и научные результаты, полученные лично автором, обладают научной новизной, подтверждены патентами.

В целом можно заключить, что обоснованность всех выводов диссертации достаточна, достоверна и они отражают основное её содержание.

### **3. Новизна и значимость для практики результатов диссертационной работы**

Научную новизну представляют:

- методология обоснования направлений повышения эффективности разнотипных материально-энергетических преобразований;
- совокупности математических моделей материально-энергетических преобразований и определения физических процессов, а также величин, используемых в способах сбережения материальных и энергетических ресурсов.

Значимость для практики представляют:

- технические средства для электризованного осаждения пыли на поверхности обогреваемых полов;
- способ управления поливом;
- распределение СВЧ поля в рабочей камере и определение условий равномерного СВЧ воздействия на обрабатываемые материалы;
- способы и технические средства защиты СВЧ установок от аварийного режима
- способ оценки эффективности силовых ветродвигателей по величине активной поверхности лопастей, методика расчета коэффициента использования энергии ветра силовыми ветродвигателями;
- перспективные направления разработки электротехнологических способов и технических средств ресурсо-энергосбережения в АПК.

**4. Достоверность результатов исследований** обеспечена корректностью постановки и решения научных задач с использованием методов математического анализа, моделирования, математической статистики, сведения из теории классической электротехники, физической химии, теоретической механики и теории автоматического управления. Моделирование и обработка экспериментальных данных выполнена с использованием современных компьютерных программ Python, Visual Basic, JavaScript, Visual Studio Code, Microsoft Excel.

### **5. Оценка содержания диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 274 страницах, содержит 36 рисунков и 4 таблицы, список литературы из 369 источников, из которых на иностранном языке – 5. Приложения размещены на 114 страницах и включают таблицы, алгоритмы и графики, функциональные и принципиальные схемы,

фотографии, акты внедрения результатов научных исследований. Общий объем диссертации – 388 страниц.

Актуальность темы, цель и задачи исследований, объекты и предмет исследований, основные положения, выносимые на защиту приведены во введении.

В первой главе «Состояние энерго-ресурсосбережения в АПК» представлен анализ техпроцессов АПК, который выявил проблемы низкой энергетической и сырьевой эффективности. Показана задача разработки мер по снижению расхода водных и энергетических ресурсов при водообеспечении объектов АПК. Обозначено решение ресурсосбережения при использовании СВЧ энергии в техпроцессах АПК, заключающееся в автоматическом распознавании аварийных режимов работы магнетрона. Установлена задача минимизации межосевого расстояния ветродвигателя, что понижает габаритные размеры, массу ветродвигателя при упрощении механической передачи.

Вторая глава «Обоснование научно-методологических основ энергоресурсосбережения в технологических процессах АПК» содержит прикладную интерпретацию методологии обоснования направлений повышения эффективности разнотипных материально-энергетических преобразований. Методология построена на основе закона сохранения и взаимного обращения массы и энергии, а также исходя из зависимости интенсивности материально-энергетических преобразований от векторного произведения плотности потока энергии или материальных субстанций и скорости их распространения в упругой среде. Разработаны совокупности уравнений для математического описания преобразований материальных ресурсов в энергетические и наоборот.

Третья глава «Электротехнологические способы и технические средства энергоресурсосбережения в системах тепло-водообеспечения объектов АПК» согласно проведенному анализу современных систем отопления объектов АПК выявляет наиболее эффективные системы с использованием установок на природном газе и теплонасосные системы с преобразованием низкопотенциальной тепловой энергии воздуха и водоема. Показано совершенствование методики расчета низкотемпературных децентрализованных систем отопления. Исследованы вопросы снижения запыленности воздушной среды отапливаемых сооружений. Разработана теория и электрооборудование для энергосберегающего аккумулялирования электрической энергии в устройствах автономного питания измерительно-передающих устройств. Разработан способ управления поливом растений, отличающийся соблюдением агротехнических требований за счет варьирования длительности включения водоподающего оборудования с учетом отклонений интенсивности осадков, температуры, влажности воздуха, атмосферного давления и скорости ветра от заданных значений.

Четвертая глава «Способы и технические средства для ресурсо-энергосбережения при эксплуатации СВЧ-оборудования сельскохозяйственно-го назначения» содержит в числе прочих исследования распределения электри-

ческого поля в пространстве рабочей камеры микроволновой установки, которые позволили выявить аналитическую зависимость между дозой излучения и загрузкой. Для автоматического распознавания аварийных режимов СВЧ-генераторов с последующим отключением питания разработаны несколько вариантов проверенных и запатентованных защитно-отключающих устройств.

Пятая глава «Ресурсо-энергосбережение при использовании силовых ветроэнергетических установок» содержит в числе прочих способ оценки эффективности силовых ветродвигателей по величине активной поверхности лопастей. Разработаны методика расчета коэффициента использования энергии ветра силовыми ветродвигателями, методика определения параметров уравнивающей системы силовых ветродвигателей с периодически меняющейся активной поверхностью лопастей, методика расчета минимально допустимого расстояния между осями многолопастных двухосевых ветродвигателей.

Шестая глава «Перспективные направления разработки электротехнологических способов и технических средств ресурсо-энергосбережения в АПК» посвящена в числе прочих осушению воздуха на объектах АПК за счет поглощения влаги адсорбентом в виде силикагеля при последующей его регенерации без нагрева в озono-воздушной среде. Предлагается совершенствование дражирования семян за счет измерения тока в цепи, который определяет диэлектрическую проницаемость. Приводятся рекомендации по использованию в качестве теплоносителей воды, тетрахлометила или этиленгликоля. Предлагается способ устранения варроатоза пчел за счет электрического поля.

## **6. Подтверждение публикации основных результатов диссертации в научной печати и соответствие автореферата диссертации**

По диссертационной работе выполнено 270 печатных публикаций, в том числе 60 из перечня ведущих периодических изданий, определённых ВАК РФ Министерства образования и науки Российской Федерации, 57 патентов, 6 монографий. Диссертационная работа по количеству публикаций в рецензируемых изданиях отвечает нормативным документам. Автореферат по своему содержанию соответствует основным научным положениям диссертационной работы.

## **7. Замечания по работе**

1. Во втором выводе автор согласно условию повышения эффективности энергетических и материальных преобразований посредством увеличения их скорости обобщает технологический процесс, а именно генерацию тепловой энергии тепловыми насосами, нагрев воды, водопотребление и автоматизированный полив. Диссертантом, однако СВЧ обработка с.-х. объектов в этот перечень не отнесена. Скорость преобразования энергии электромагнитных колебаний в тепловую энергию диполей воды имеет значение. Эта скорость зависит от режима работы магнетрона, содержания воды в объекте, а также от места размещения в камере и от объема загрузки. Однако СВЧ обработка автором отнесена к другой зависимости, не от скорости, а от плотности потока энергии, что

следует из третьего вывода. В этой связи, заявленное автором решение актуальной проблемы разобщенности методов представляется субъективным и не отражающим всесторонний комплексный подход.

2. На стр. 56 указывается на возможность экономии энергоносителей при использовании обогреваемых полов. Однако полы в таком случае будут дополнительными потребителями энергии. Также на стр. 133 сказано, что наиболее перспективными теплообменными устройствами для конвективного сообщения тепловой энергии потребителям являются обогреваемые полы. В какой трактовке понимать это предложение, в качестве заведомо очевидного утверждения или предположения, доказательством которого диссертант озадачивается? Следует пояснить, в каком техпроцессе АПК предлагает автор применять теплые полы.

3. Не раскрыт физический смысл коэффициентов  $K_3$ ,  $K_4$ ,  $K_5$ . Кроме того, коэффициент потерь  $K_4$  разного знака в одном выражении, на с. 46 положительный, на с. 63 отрицательный. Выводы главы 3 с. 68: нет экспериментального подтверждения исключения промерзания грунта с предложенным режимом работы грунтового теплообменника.

4. Какой режим работы показывают графики рисунка 3.1 (б, в, г) с. 66. Почему диапазон 1-4 градуса. На каком основании увеличено число теплообменников до 3-х.

5. Следует пояснить размеры, мощность и годы серийного выпуска СВЧ установки КБН-82. Почему не выбраны более современные конструкции?

6. Согласно разработанной автором методике, координатам максимальной напряженности  $x=9,5$  см,  $y=23,7$  см,  $z=19,5$  см будет соответствовать наиболее интенсивный нагрев продукта в верхней правой точке камеры. Проводилось ли согласование этого расчета с опытными данными? Вероятно, в этой точке будут пики стоячей волны. Насколько будет отличаться напряженность при изменении координаты  $y$  на 6,1 см?

7. Не проведено моделирование СВЧ излучения в современных программах, таких как CST, Ansys. На рис. 21 приложения не указано расположение излучателя.

8. В схеме рис. 4.9 отсутствует предохранитель высоковольтной цепи, который должен включаться до высоковольтного конденсатора  $C2$ . Неправильная нумерация элементов затрудняет анализ схемы. Описание схемы автором приведено с ошибками. Почему в третьем каскаде на БТ1 реле подключено на минус питания? Ведь согласно содержанию п. 4.2.4 реле размыкает анодную цепь питания магнетрона. Также предлагаемая схема будет увеличивать потребляемую мощность СВЧ генератором за счет дополнительного питания на  $-15$  В и входных токов каждого из трех биполярных транзисторов.

9. Чем подтверждается энергоэффективность предложенного способа аккумулялирования энергии в системах автономного энергоснабжения АПК на с. 251.

10. Экономический эффект внедрения предлагаемых устройств и способов не подсчитан, кроме способа подачи озono-воздушной смеси в водогрейные котлы.

Текст диссертации изложен в научном стиле, с привлечением аналитических зависимостей, графиков, номограмм, рисунков. Оформление диссертационной работы соответствует требованиям нормативно-технической документации. Поставленные задачи исследований выполнены и решены в запланированном объёме.

Несмотря на замечания, диссертационная работа оценивается положительно.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Андреева Сергея Андреевича является самостоятельной, завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании исследований автора решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 18.03.2023 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а её автор, Андреев Сергей Андреевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 4.3.2 – Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агро-промышленного комплекса.

Официальный оппонент:  
доктор технических наук  
03.06.2024 г.



Белов Александр Анатольевич

Место работы: лаборатория «Электро-, теплотехнологий и энергосбережения» Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федерального научного агроинженерного центра «ВИМ»; должность: главный научный сотрудник.

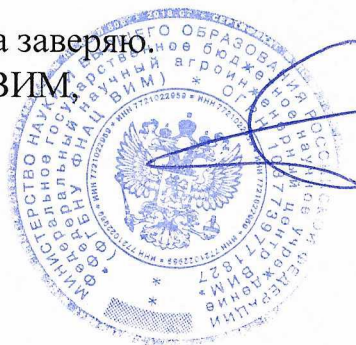
Адрес: 109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5.

Факс: 8 (499) 171-43-49; Телефон: 8 (499) 171-43-49; Эл. почта: VIM.ru

Подпись Белова Александра Анатольевича заверяю.

ВРИО ученого секретаря ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,

доктор технических наук



А.В. Сибирев