

На правах рукописи

ШЕРЬЯЗОВ
Сакен Койшыбаевич

**МЕТОДОЛОГИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ
ТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ
В СИСТЕМЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Красноярск – 2011

Работа выполнена в ФГОУ ВПО
«Челябинская государственная агроинженерная академия»

Научный консультант доктор технических наук, профессор
Цугленок Николай Васильевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Редько Иван Яковлевич

доктор технических наук, профессор
Пантелеев Василий Иванович

доктор технических наук, профессор
Куликова Лидия Васильевна

Ведущая организация ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина»

Защита состоится 22 апреля 2011 г. в 9⁰⁰ часов на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 220.037.01 при ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет» по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»

Автореферат разослан «__» «_____» 2011 г.

Автореферат размещен на сайте [www:kgau.ru](http://www.kgau.ru) «__» «_____» 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Бастрон А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Сельское хозяйство, определяющее продовольственную безопасность страны, относится к числу энергоемких отраслей. Ограниченные запасы органического топлива и непрерывный рост затрат на их использование требуют поиска путей рационального использования энергетических ресурсов. Одним из путей является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Экономический потенциал возобновляемых источников велик, и их доля в мировом энергопотреблении может составить 10-12%. В России экономический потенциал возобновляемой энергии составляет около 30% от объема потребления топливно-энергетических ресурсов, что является благоприятным условием для решения энергетических проблем.

Из числа ВИЭ наиболее перспективными по признаку доступности потребителям являются использование солнечной и ветровой энергии. В мире действует большой парк гелио- и ветроэнергетических установок (ГЭУ, ВЭУ) с суммарной мощностью более 200 ГВт. В России, по разным причинам, использование ГЭУ и ВЭУ весьма незначительно.

Таким образом, существует экономико-хозяйственная проблема в объективной необходимости использования ВИЭ в сельскохозяйственном производстве. Её интерпретация в научно-техническую область требует решения двух проблем: определение условий эффективного использования возобновляемых источников и создание эффективных схем совместного использования традиционных и возобновляемых источников для рационального сочетания потребляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения.

Анализ систем энергоснабжения в сельском хозяйстве показывает, что ВИЭ, как правило, рассматривается как дополнительный источник. Тогда система энергоснабжения с использованием ВИЭ должна иметь научно обоснованную структуру для рационального использования энергоресурсов.

Рациональное сочетание потребляемых энергоресурсов может быть определено на стадии проектирования системы энергоснабжения. Однако недостаточная проработка методологических основ и общих методических положений в проектировании энергосистемы с использованием ВИЭ не позволяет выбрать рациональное сочетание традиционных и возобновляемых энергоресурсов.

В условиях развитой гелио- и ветротехники наиболее актуальными становятся вопросы эффективного их использования путем согласования режимов поступления и потребления возобновляемой энергии. Отсутствие научно обоснованных показателей и методов их оценки не позволяют определить условия эффективного использования ВИЭ в системе энергоснабжения.

Настоящая работа посвящена решению научной проблемы теоретического обоснования рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов для эффективного энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей с учетом потенциала солнечной и ветровой энергии на примере Челябинской области, позволяющих решать задачи структурной оптимизации комбинированной системы энергоснабжения конкретного сельскохозяйственного потребителя.

Работа выполнена в соответствии с Межведомственной координационной программой фундаментальных и приоритетных прикладных исследований по научному обеспечению развития агропромышленного комплекса РФ на 2006-2010 гг. «Технологии, оборудование и проекты энергетического, тепло- и холодообеспечения сельского хозяйства, в том числе с использованием солнечной и ветровой энергии», принятой Межведомственным координационным советом РАСХН.

Цель работы. Разработка методологии рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей для снижения затрат на потребляемую энергию.

Объект исследования. Комбинированная система энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей с использованием гелио- и ветроэнергетических установок.

Предмет исследования. Взаимосвязи функционирования гелио- и ветроэнергетических установок в комбинированной системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Для достижения поставленной цели ставятся следующие задачи:

1. Провести анализ состояния энергоснабжения в сельском хозяйстве и разработать методологию выбора рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей.

2. Разработать показатели и методы оценки использования возобновляемых источников в системе энергоснабжения путем согласования режимов поступления и потребления возобновляемой энергии.

3. Определить энергетические характеристики возобновляемых источников и условия функционирования гелио- и ветроэнергетических установок при раздельном и совместном использовании солнечной и ветровой энергии.

4. Разработать технические решения для согласованного действия традиционных и возобновляемых источников в системе энергоснабжения и исследовать режимы их работы путем имитационного моделирования.

5. На основе технико-экономических показателей системы энергоснабжения обосновать оптимальные параметры гелио- и ветроэнергетических установок и условия эффективного энергообеспечения потребителей от ВИЭ.

6. Разработать рекомендации по выбору рационального сочетания потребляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей (на примере Челябинской области).

Методы исследований и достоверность результатов. Методологической основой исследований является системный подход к анализу комплексной схемы энергоснабжения. В работе использованы основные положения теоретической электротехники и теплотехники, электро- и теплоснабжения сельского хозяйства, теории вероятностей и математической статистики, а также методы математического моделирования процессов в системе энергоснабжения, использующей возобновляемые источники, и оптимизации параметров системы.

Достоверность и обоснованность научных положений и результатов работы подтверждаются: применением и адекватностью математических аппаратов при моделировании режимов работы системы энергоснабжения; использованием разработанных пакетов прикладных программ для вычислительного и имитационного экспериментов и анализа полученных данных; удовлетворительной сходимостью результатов математического моделирования с экспериментальными данными.

Научную новизну работы составляют:

- методология рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения;
- показатели и методы оценки использования ВИЭ в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей;
- зависимости показателя энергообеспечения потребителей и замещения традиционных энергоресурсов от основных параметров гелио- и ветроэнергетических установок и энергетических характеристик ВИЭ;
- зависимости энергетических характеристик солнечной и ветровой энергии для определения условий функционирования ГЭУ и ВЭУ при раздельном и совместном их использовании;
- методы выбора оптимальных параметров ГЭУ и ВЭУ и определения условий эффективного использования ВИЭ.

Практическая значимость работы:

- метод оценки доли замещаемой энергии от ВИЭ для выбора рационального сочетания потребляемых энергоресурсов;
- методика определения энергетических характеристик солнечной и ветровой энергии при раздельном и совместном их использовании;
- методы выбора оптимальной площади солнечных коллекторов и ветроколеса ВЭУ и определения условий эффективного использования возобновляемых источников в системе энергоснабжения;
- технические решения для согласованного действия традиционных и возобновляемых источников в системе энергоснабжения;
- рекомендации по выбору рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения;
- учебная программа по подготовке студентов по специальности «Электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства», учебное пособие под грифом УМО и монография.

Реализация результатов исследований:

- результаты исследования используются институтом «Челябинскагропромпроект» для проектирования гелиоустановки; гелиоустановка и на ее базе гелиоветроэнергетическая установка внедрены в АО «Калининское» Брединского района Челябинской области;
- рекомендации по выбору рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов используются МСХ Челябинской, Оренбургской и Департаментом с. х. Курганской областей, ОАО институт «Агропромпроект» и ЗАО «Челябинскагропромэнерго»;
- рекомендации по использованию солнечной и ветровой энергии приняты

к реализации ОАО «Государственный ракетный центр имени В.П.Макеева», ОАО «Челябоблкоммунэнерго» и ОАО «Челябэнерго»;

– результаты исследований используются в учебном процессе при подготовке студентов по специальности «Электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства».

На защиту выносятся следующие положения:

- методология выбора рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей;

- принципы согласования режимов поступления и потребления возобновляемой энергии и показатели использования ВИЭ в системе энергоснабжения;

- показатели энергообеспечения потребителей и замещения традиционной энергии в зависимости от основных параметров гелио- и ветроэнергетических установок и энергетических характеристик ВИЭ;

- зависимость оптимальной площади солнечных коллекторов и ветроколеса ВЭУ от технико-экономических показателей системы энергоснабжения и условия эффективного использования ВИЭ;

- методика и результаты оценки энергетических характеристик солнечной и ветровой энергии;

- результаты оценки доли замещаемой энергии от ВИЭ в зависимости от основных параметров ГЭУ и ВЭУ и энергетических характеристик источника.

Апробация работы. Основные положения работы обсуждались на научно-технических конференциях: ЧГАА (ЧИМЭСХ, ЧГАУ) (г. Челябинск, 1988-2010 гг.), ВНИПТИМЭСХ (г. Зерноград, 1988 г.), СЗНИИМЭСХ (г. Пушкино, СПб., 2002 г.), УГТУ-УПИ (г. Екатеринбург, 2009 г.), КрасГАУ (г. Красноярск, 2010); на научно-технических семинарах и координационных совещаниях «Перспективы применения нетрадиционных источников энергии в АПК» (г. Симферополь, 1989 г.) и «Нетрадиционные электротехнологии в сельскохозяйственном производстве и быту села» (г. Кацивели, 1991 г.); на республиканских научно-технических конференциях «Энергосбережение в сельском хозяйстве» (г. Киев, 1990 г.) и «Использование солнечной энергии в народном хозяйстве» (г. Ташкент, 1991 г.); на Всероссийской научной молодежной школе «Возобновляемые источники энергии» (МГУ, г. Москва, 2000 г.); на международных научно-технических конференциях «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» (ВИЭСХ, г. Москва, 2000-2010 гг.) и «Аграрная энергетика в XXI веке» (г. Минск, 2001г.); на I Евроазиатской конференции «Энергетика настоящего и будущего» (г. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2010 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 85 научных работ, в том числе 11 работ в изданиях, рекомендованных экспертным советом ВАК, авторское свидетельство и три патента РФ на изобретение, монография, рекомендации, учебное пособие с грифом УМО.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованной литературы и приложений; объем диссертации 397 с., в том числе основного текста 307 с., список использованной литературы состоит из 305 источников.

СОДЕРЖАНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, изложены научная новизна и практическая ценность работы, основные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

В **первой главе** «Особенности энергоснабжения сельского хозяйства и пути его совершенствования» проанализированы состояние и особенности энергоснабжения сельского хозяйства и пути их совершенствования. Приведены классификация источников энергии и роль возобновляемых источников; опыт использования солнечной и ветровой энергии в энергоснабжении сельскохозяйственных потребителей; принципы эффективного энергообеспечения потребителей и рационального потребления энергоресурсов в системе энергоснабжения; цели и задачи научно-исследовательской работы.

Анализ и классификация существующих источников энергии по виду получаемой полезной энергии позволили определить основные направления их использования. Существующие энергетические ресурсы для некоторых технологических процессов можно рассматривать как взаимозаменяемые с технической стороны и конкурентоспособные с экономической точки зрения. Тогда для технологических процессов можно установить рациональное сочетание потребляемых традиционных и возобновляемых энергетических ресурсов.

В последние годы практически во всех странах мира наращивается выработка электрической и тепловой энергии на базе ВИЭ: солнечной, ветровой, геотермальной, энергии малых рек, биомассы и др. Экономический потенциал ВИЭ в два раза превышает объем годовой добычи органического топлива в мире.

Наиболее перспективными из числа ВИЭ по признаку повсеместной распространенности и доступности являются солнечная и ветровая энергия. В настоящей работе исследуются условия их использования в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Солнечная энергия наиболее широко используется для получения тепла невысокого потенциала, достаточного для горячего водоснабжения и отопления. Суммарная площадь солнечных коллекторов ГЭУ в мире превысила 70 млн кв.м. Ведущие позиции занимают США – 18 млн кв.м, Китай – 17,5 млн кв.м и Япония – 11 млн кв.м.

По данным Международной Ассоциация Ветряной энергетики (WWEA) ветроэнергетика является лидером по сравнению с другими видами ВИЭ. Установленная мощность ВЭУ в мире составляет более 150 ГВт и генерируют около 350 Твт-ч в год, и к 2020 году прогнозируется рост мощности до 2000 ГВт. В РФ эксплуатируются ВЭУ отечественного и зарубежного производства с установленной мощностью около 15 МВт. Потребность России в ветроагрегатах оценивается до 70 тысяч, в т.ч. более 90 % мощностью до 10 кВт.

Анализ опыта совместного использования солнечной и ветровой энергии показывает, что они служат в основном для теплоснабжения потребителей. В России известны примеры использования гелиоветроэнергетических установок для энергоснабжения сельских потребителей.

В нашей стране в развитие солнечной энергетики большой вклад внесли Б.П. Вейнберг, Т.С. Лидоренко, Д.С. Стребков, Б.В. Тарнижевский и др., в развитие ветроэнергетики – Н.Е. Жуковский, В.П. Ветчинкин, Г.Х. Сабинин, Е.М. Фатеев и др., а в области использования солнечной и ветровой энергии в сельском хозяйстве – Р.А. Амерханов, П.П. Безруких, В.Н. Карпов, Л.А. Саплин, Я.И. Шефтер, Н.В.Харченко, Н.В. Цугленок и др. НИР по использованию ГЭУ и ВЭУ проводились в лабораториях ВИМа, ВИЭСХа, ЦАГИ, ЭНИН и др.

Опыт использования солнечной и ветровой энергии показывает, что они служат в качестве дополнительных источников в системе энергоснабжения с целью экономии органического топлива. Тогда для эффективного замещения топлива необходимо определить условия рационального использования ВИЭ в системе энергоснабжения. Известные методы не позволяют выбрать рациональное сочетание традиционных и возобновляемых энергоресурсов и, соответственно, создать эффективную систему энергоснабжения.

Для эффективного использования ВИЭ важно согласование режимов поступления и потребления возобновляемой энергии, а также согласованные действия традиционных и возобновляемых источников в системе энергоснабжения. Недостаточные исследования в этом направлении требуют разработки методологических основ по эффективному использованию возобновляемых источников в системе энергоснабжения.

Для эффективного энергообеспечения потребителей необходимо определить оптимальные параметры гелио- и ветроэнергетических установок на стадии проектирования системы энергоснабжения. Отсутствие зависимости энергообеспечения и технико-экономических показателей от параметров энергоустановок, а также недостаточная проработка методических положений в проектировании системы энергоснабжения не позволяют определить оптимальные параметры ГЭУ и ВЭУ и условия эффективного использования ВИЭ.

На основе анализа состояния изучаемого вопроса и для решения проблемы по рациональному использованию потребляемых энергоресурсов были сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе «Методология определения рационального сочетания традиционных и возобновляемых источников в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей» на основе многоуровневой системы исследования разработаны модели энергообеспечения от системы комплексного энергоснабжения с использованием ВИЭ, функционирования подсистемы энергоснабжения от возобновляемых источников и выбора рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Изучение рационального сочетания потребляемых энергоресурсов возможно на основе системного подхода. Для достижения поставленной цели разработаны взаимосвязанные методы и модели, имеющие определенную иерархичность в виде различных уровней.

На первом уровне совокупность традиционных и возобновляемых источников, связанных единством задачи, представляется как система комплексного энергоснабжения (СКЭ), которая является элементом более высокой производ-

ственной системы. Исследование СКЭ должно быть подчинено главной цели – обеспечению производства качественной продукции при наименьших затратах на энергоресурсы.

Систему энергоснабжения можно представить как совокупность подсистем электро-и теплоснабжения: централизованных (ЭС и ТС) и автономных (МЭС, ТГУ и ВИЭ), имеющих на выходе полезно потребляемую энергию (рис. 1).

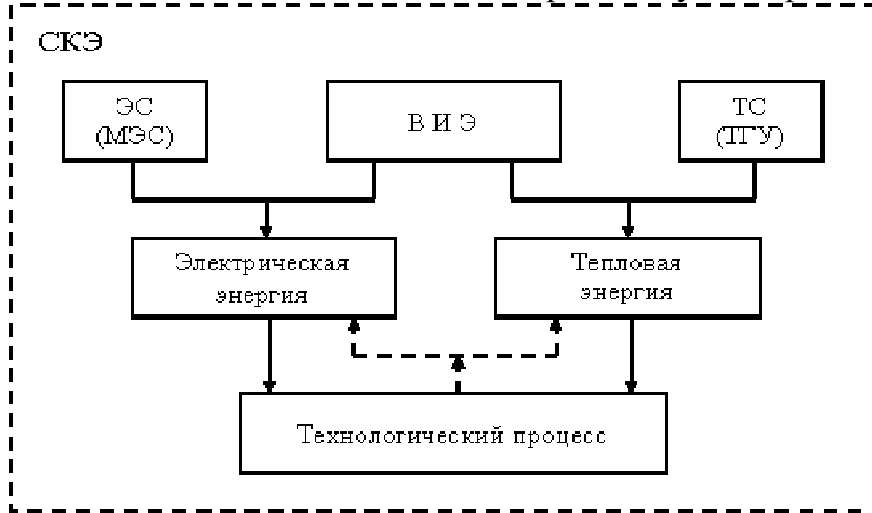


Рисунок 1 – Система комплексного энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии:

ЭС, ТС – централизованные системы электро- и теплоснабжения; МЭС – местная электростанция на органическом топливе; ТГУ – теплогенерирующая установка на органическом топливе; ВИЭ – возобновляемый источник; \longrightarrow – энергетические связи; \dashrightarrow – информационно-управляющие связи

Условия функционирования исследуемой СКЭ определяется потоком поступающих энергоресурсов на входе и потоком полезной энергии на выходе от каждого источника. Согласно энергетическому балансу, необходимая энергия от СКЭ может быть представлена как

$$Q_{\Pi} = Q_{ЭС}(Q_{МЭС}) + Q_{ТС}(Q_{ТГУ}) + \sum_{i=1}^n Q_{В.i}, \quad (1)$$

где $Q_{ЭС}(Q_{МЭС})$ – потребляемая электроэнергия от ЭС или МЭС; $Q_{ТС}(Q_{ТГУ})$ – потребляемая тепловая энергия от ТС или ТГУ; $Q_{В.i}$ – полезная энергия, получаемая от i -го возобновляемого источника.

Таким образом, необходимая электрическая или тепловая энергия может быть получена от нескольких ВИЭ и традиционного источника

$$Q_{\Pi} = \sum_{i=1}^n Q_{В.i} + Q_{Т}. \quad (2)$$

Для эффективного энергоснабжения необходимо рационально использовать не только традиционные, но и возобновляемые энергоресурсы. При этом возобновляемый источник может обеспечить только часть потребной энергии и замещать определенную долю традиционно используемого энергетического ресурса. Значит, потребляемая энергия от традиционного источника зависит от условий использования солнечной и ветровой энергии.

На втором уровне исследования разработаны показатели и методы оценки условий использования ВИЭ в системе энергоснабжения. При этом важным показателем системы энергоснабжения является доля замещаемой энергии от i -го возобновляемого источника за расчетный период (сезон, год), которую можно представить как

$$f_i = \frac{Q_{в.i}}{Q_{п}} \quad (3)$$

Доля замещаемой энергии от возобновляемых источников зависит от условий энергообеспечения потребителей от ВИЭ. Тогда из состава СКЭ необходимо выделить подсистему энергоснабжения от ВИЭ, которая может быть изучена с морфологической и функциональной точки зрения.

Подсистема ВИЭ, на базе гелио- и ветроэнергетических установок, с морфологической точки зрения изучена. Известны структура, основные элементы и конструктивные особенности ГЭУ и ВЭУ.

Более актуальной является функциональное описание подсистемы ВИЭ. Недостаточно изучены условия функционирования ГЭУ и ВЭУ при отдельном и совместном их использовании в системе энергоснабжения.

На третьем уровне исследуется модель функционирования подсистемы ВИЭ, которую обобщенно можно представить как результат преобразования исходных данных посредством оператора F

$$Q: I \cdot Z \cdot P \cdot C \xrightarrow{F} Q_{в}, \quad (4)$$

где I, P – воздействия источника энергии и технологического процесса на выработку энергии от ВИЭ ($Q_{в}$); Z – управляемые параметры энергетической установки; C – воздействия внешней среды.

Модель функционирования исследуемой подсистемы ВИЭ приведена на рисунке 2.

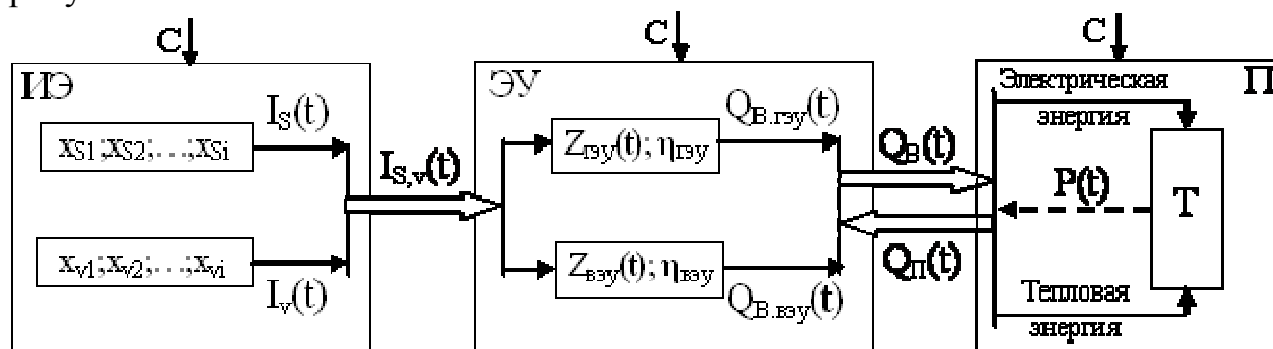


Рисунок 2 – Модель функционирования подсистемы энергоснабжения от ВИЭ:

ИЭ – источник энергии; ЭУ – энергетическая установка; П – потребитель; x_s, x_v – энергетические характеристики возобновляемой солнечной (I_s) и ветровой (I_v) энергии; Z, η – параметры и КПД гелио- и ветроэнергетической установки; $Q_{в}, Q_{п}$ – вырабатываемая и потребная энергии; T – технологический процесс, влияющий на режим потребления энергии ($P(t)$); C – внешняя среда

В подсистеме ВИЭ входом являются неуправляемые потоки возобновляемой энергии, выходом – вырабатываемая энергия. Тогда исследование подсистемы возможно путем разработки модели функционирования в два этапа.

На первом этапе третьего уровня исследуются энергетические характеристики ВИЭ. Возобновляемый источник имеет ряд особенностей, главные из которых – неуправляемость и случайный характер поступающей энергии. Уровень поступающей солнечной или ветровой энергии в заданные сроки можно определить на основе энергетических характеристик ВИЭ (x_s, x_v) и вероятности их появления $p(x)$ за время t

$$I_{s,v}(t) = F[x_s, x_v, p(x_s), p(x_v), t]. \quad (5)$$

Для преобразования возобновляемой энергии используются оптимально разработанные по конструкции и с соответствующим КПД (η) установки модульного типа. Тогда вырабатываемая энергия от ГЭУ и ВЭУ зависит от принятых параметров гелио- и ветроэнергетической установки ($Z_{ГЭУ}, Z_{ВЭУ}$).

На втором этапе третьего уровня исследуется ожидаемая выработка от ГЭУ и ВЭУ, которую можно определить на основе детерминированной модели. Однако результаты функционирования энергетической установки также будут носить случайный характер. Вырабатываемую энергию от ГЭУ и ВЭУ можно ожидать с определенной вероятностью в течение заданного периода времени

$$Q_B(t) = F[I_s, I_v, Z_{ГЭУ}, Z_{ВЭУ}, \eta_{ГЭУ}, \eta_{ВЭУ}, p(x_s), p(x_v), C, t]. \quad (6)$$

Условия потребления энергии играют важную роль в процессе использования ВИЭ. Потребная энергия определяется режимом работы приемников электрической ($P_{э,э}$) и тепловой энергии ($P_{т,э}$)

$$Q_{II}(t) = F[P_{э,э}, P_{т,э}, C, t]. \quad (7)$$

Таким образом, для исследования условий использования ВИЭ в системе энергоснабжения необходимо определить основные характеристики модели функционирования подсистемы ВИЭ: энергетические характеристики возобновляемых источников и параметры гелио- и ветроэнергетических установок.

Анализ существующих методов проектирования ГЭУ и ВЭУ показывает, что расчет вырабатываемой энергии лучше производить с удельной поверхности солнечных коллекторов (СК) ГЭУ или ветроколеса (ВК) ВЭУ. Тогда вырабатываемую энергию можно определить как:

$$\text{для ГЭУ} - Q_B = A_{СК} I_s \eta_{ГЭУ} = A_{СК} Q_{В.уд}^{ГЭУ}; \quad (8)$$

$$\text{для ВЭУ} - Q_B = A_{ВК} I_v \eta_{ВЭУ} = A_{ВК} Q_{В.уд}^{ВЭУ}, \quad (9)$$

где $A_{СК}, A_{ВК}$ – соответственно площади СК и ВК; $Q_{В.уд}$ – вырабатываемая энергия с удельной поверхности СК ГЭУ или ВК ВЭУ.

Параметры $A_{СК}, A_{ВК}$ в действительности являются основными, когда рассматриваемые солнечные коллекторы в ГЭУ или ветроустановки имеют наилучшие технические характеристики, в частности КПД. При оптимальных параметрах ГЭУ и ВЭУ можно ожидать рациональное использование ВИЭ.

На четвертом уровне исследуются условия выбора рационального сочетания потребляемых энергоресурсов в системе комплексного энергоснабжения. Рациональное сочетание традиционных и возобновляемых энергоресурсов должно обеспечить потребную энергию с минимальными затратами

$$Z = \sum_{i=1}^n c_i Q_i \rightarrow \min, \quad (10)$$

где c_i и Q_i – соответственно стоимость и количество потребляемой энергии от i -го источника.

После несложных преобразований необходимые затраты на получение электрической или тепловой энергии можно представить в виде

$$Z = \sum_{i=1}^n c_{в.і} Q_{п} f_i + c_{т} Q_{п} (1 - f_{\Sigma}), \quad (11)$$

где $c_{в}$, $c_{т}$ – соответственно удельные затраты на получение электрической или тепловой энергии от возобновляемого и традиционного источников.

Тогда целевая функция, удельные затраты на потребляемую энергию от системы комплексного энергоснабжения

$$c = \sum_{i=1}^n c_{в.і} f_i(I, Z, P, C, p_{в.і}, t) + c_{т} [1 - f_{\Sigma}(I, Z, P, C, p_{с}, p_{в}, t)] \rightarrow \min. \quad (12)$$

Для достижения поставленной цели необходимо определить долю замещаемой энергии от ВИЭ. При совместном использовании солнечной и ветровой энергии доля замещаемой энергии определяется из условия

$$\begin{cases} f_{\Sigma} \leq f_{ГЭУ} + f_{ВЭУ} \\ 0 < f_{\Sigma} \leq 1 \end{cases} \quad (13)$$

Использование ВИЭ в составе СКЭ возможно при условии

$$\begin{cases} c_{в} (K_{в}, Z, f, Q_{в}) \leq c_{т} \\ T_{ок} (K_{в}, Z, f, Q_{в}, c_{т}) \leq T_{сл} \end{cases}, \quad (14)$$

где $T_{ок}$, $T_{сл}$ – соответственно сроки окупаемости и службы подсистемы энергоснабжения от ВИЭ; $K_{в}$ – капиталовложения на подсистему ВИЭ.

Доля замещаемой энергии, которая должна быть представлена за расчетный период, зависит от условий согласования возобновляемого источника с потребителем. Для оценки условий согласования и использования ВИЭ для обеспечения потребной энергии требуется разработать специальные показатели.

В третьей главе «Показатели использования возобновляемых источников в системе энергоснабжения и методы их оценки» приведены принципы согласования возобновляемого источника с потребителем и взаимосвязанные показатели, позволяющие оценить условия использования солнечной и ветровой энергии в энергообеспечении потребителей и определить долю потребной энергии замещаемой ВИЭ, а также методы оценки предлагаемых показателей.

В системе энергоснабжения потребляемая энергия может носить случайный характер, как и выработка от ГЭУ и ВЭУ. Поэтому необходимо согласование возобновляемого источника с потребителем.

Для согласования случайных режимов важно определить повторяющиеся циклы в нестационарном процессе. Анализ режимов поступления и потребления возобновляемой энергии показал, что внутри месяца и года такими свойст-

вами обладает суточная сумма как поступающей возобновляемой, так и полезно потребляемой энергии.

Для согласования рассматриваемых режимов существуют различные методы управления. Наиболее распространен метод аккумулирования преобразованной возобновляемой энергии. Тогда аккумулируемую энергию ($Q_{ак}$) следует определить исходя из суточной потребности.

Для оценки суточного энергообеспечения от ВИЭ предлагается *коэффициент энергообеспечения*, показывающий долю суточной потребной (аккумулируемой) энергии, обеспечиваемой возобновляемым источником, и для каждого i -го месяца

$$K_{об.i} = \frac{Q_{пол.сут.i}}{Q_{п.сут.i}(Q_{ак.сут.i})} \leq 1, \quad (15)$$

где $Q_{пол.сут.i}$ – полезная выработка от ГЭУ и (или) ВЭУ за сутки.

Коэффициент энергообеспечения не должен превышать единицы, и полезно потребляемая энергия от ВИЭ определяется из условия

$$Q_{пол} = \begin{cases} Q_{в} & \text{если } Q_{п} > Q_{в} \\ Q_{п} & \text{если } Q_{п} \leq Q_{в} \end{cases}. \quad (16)$$

Превышение ожидаемой выработки от потребной энергии приводит к излишкам, которые не используются и теряются в окружающей среде.

Использование ВИЭ можно оценить *коэффициентом использования* энергоустановки ГЭУ или ВЭУ в системе энергоснабжения, показывающим долю вырабатываемой энергии, используемой полезно для обеспечения потребности, и для каждого i -го месяца

$$K_{и.i} = \frac{Q_{п.i}}{Q_{пол.i}} \leq 1. \quad (17)$$

В случае, когда выработка меньше, чем потребная энергия, вырабатываемая ГЭУ и (или) ВЭУ энергия используется потребителем полностью, и $K_{и.i} = 1$. В противном случае энергоустановка с выбранными параметрами недоиспользуется и следует ожидать потери энергии.

По коэффициенту энергообеспечения можно оценить долю замещаемой энергии за более длительный период с учетом вероятности (интегральной обеспеченности) ежесуточной выработки ($p(Q_{в})$). Тогда *коэффициент замещения* для каждого i -го месяца

$$f_i = K_{об.i} \cdot p_i(Q_{в}). \quad (18)$$

Доля замещаемой энергии за расчетный период (сезон, год)

$$f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{об.i} p_i(Q_{в}). \quad (19)$$

Таким образом, для оценки доли замещаемой энергии необходимо определить среднее значение коэффициента энергообеспечения за расчетный период в зависимости от параметров ГЭУ и ВЭУ. На рисунке 3 приведена зависимость

коэффициента энергообеспечения от площади СК ГЭУ и ВК ВЭУ.

На исследуемой зависимости по оси ординат отложена доля потребной энергии, коэффициент $K_{об.м}$ показывает долю максимального обеспечения потребной энергии. Потребная площадь за расчетный период может колебаться от минимальной A_0 до максимальной A_m .

При суточной выработке $Q_{в.уд.0}$ потребная энергия обеспечивается при площади A_0 , а при $Q_{в.уд.1}$ – A_1 и т.д. Когда $A > A_0$, следует ожидать потери энергии ΔQ тем больше, чем больше площадь СК или ВК.

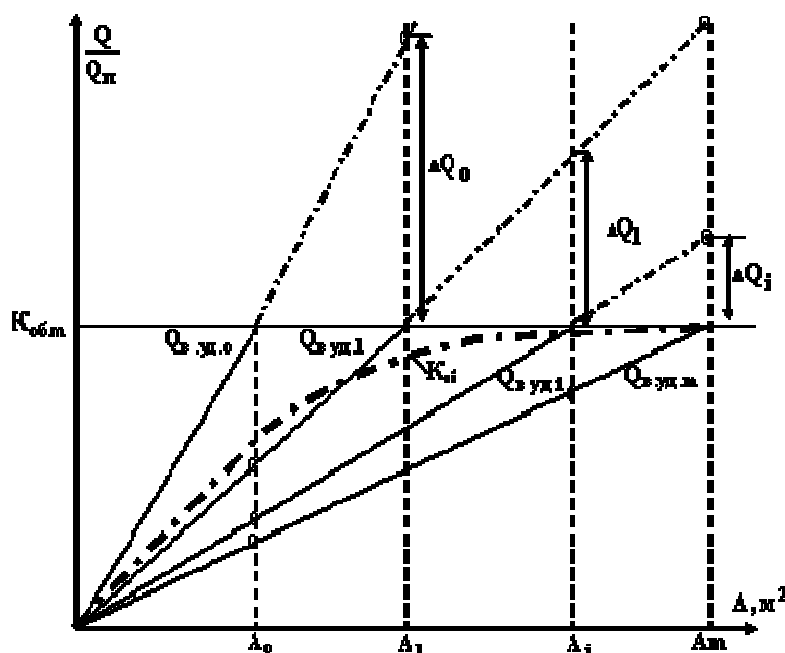


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента энергообеспечения от площади СК ГЭУ или ВК ВЭУ:
 $Q_{в.уд.0} > Q_{в.уд.1} > \dots > Q_{в.уд.1} > Q_{в.уд.м}$

На графике приведена средняя величина коэффициента энергообеспечения за расчетный период (штриховая линия с точкой). Зависимость коэффициента энергообеспечения от площади СК или ВК (рис. 4) можно условно разделить на две части: область изменения площади от 0 до A_0 и от A_0 до A_m .

В первой части зависимость носит линейный характер; это объясняется возможностью полного использования вырабатываемой энергии в течение расчетного периода. В этом случае

$$K_{об} = \frac{\sum Q_{в.уд i}}{\sum Q_{п i}} A. \quad (20)$$

Во второй части с увеличением площади СК или ВК наблюдается нелинейный рост $K_{об}$ из-за ожидаемых потерь энергии.

Для идеального случая, когда отсутствуют потери энергии, коэффициент энергообеспечения растет линейно (штриховая линия). Максимальное энергообеспечение можно ожидать при площади

$$A_c = \frac{\sum Q_{п i}}{\sum Q_{в.уд i}} K_{об.м}. \quad (21)$$

В действительности, с повышением площади СК или ВК коэффициент $K_{об}$ растет, асимптотически приближаясь к максимальному значению. При этом

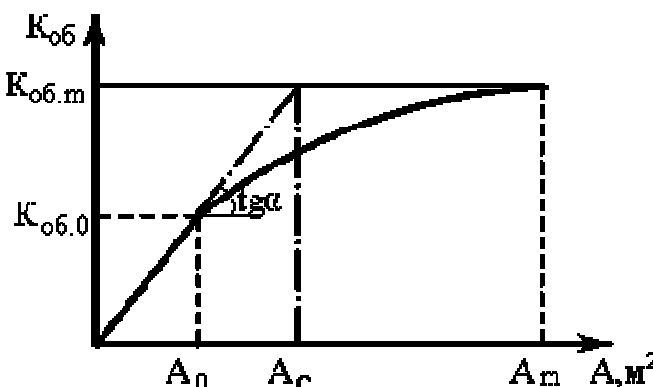


Рисунок 4 – Зависимость $K_{об}$ от площади СК ГЭУ или ВК ВЭУ

скорость роста пропорциональна уменьшающейся разнице ($K_{об.м} - K_{об}$)

$$\frac{dK_{об}}{d(A - A_0)} = b (K_{об.м} - K_{об}). \quad (22)$$

Решением дифференциального уравнения после несложных преобразований является выражение

$$K_{об} = K_{об.м} - C e^{-b(A - A_0)}. \quad (23)$$

Согласно начальным условиям, когда $A = A_0$ и $K_{об} = K_{об_0}$

$$C = K_{об.м} - K_{об_0}; \quad b = \frac{1}{A_c - A_0}. \quad (24)$$

Тогда коэффициент энергообеспечения

$$K_{об} = K_{об.м} \left(1 - \left(1 - \frac{K_{об_0}}{K_{об.м}} \right) e^{-\frac{A - A_0}{A_c - A_0}} \right) \quad (25)$$

или

$$K_{об} = K_{об.м} \left(1 - \left(1 - \frac{A_0}{A_c} \right) e^{-\frac{A - A_0}{A_c - A_0}} \right). \quad (26)$$

Качество тепловой энергии зависит от интенсивности солнечной радиации и скорости ветра. В отдельных случаях, возможно, что $K_{об.м} < 1$, и значение его зависит от соотношения конечной и потребной температуры теплоносителя

$$K_{об.м} = \frac{T_K - T_H}{T_{II} - T_H} = \frac{\Delta T_K}{\Delta T_{II}} = \Delta t_T, \quad (27)$$

где T_K , T_{II} , T_H – соответственно температура теплоносителя конечная, потребная и начальная.

Для удобства рассматриваемые площади СК и ВК можно представить относительно требуемого максимального значения

$$\alpha = \frac{A}{A_m}. \quad (28)$$

Тогда коэффициент энергообеспечения определяется исходя из условий

$$K_{об} = \begin{cases} \frac{\sum Q_{II}}{\sum Q_{в.уд}} A, & \text{если } A \leq A_0 \\ \left[1 - \left(1 - \frac{\alpha_0}{\alpha_c} \right) e^{-\frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_c - \alpha_0}} \right] \Delta t_T, & \text{если } A > A_0 \end{cases}. \quad (29)$$

Таким образом, по предложенной методике можно определить коэффициент энергообеспечения, представляющий среднее значение за расчетный период, в зависимости от площади СК ГЭУ или ВК ВЭУ и энергетических характе-

ристик возобновляемого источника.

Доля замещаемой энергии от ВИЭ за расчетный период зависит от условий энергообеспечения потребителей и вероятности поступления солнечной и ветровой энергии за заданное время. Тогда коэффициент замещения

$$f_{ГЭУ} = K_{об}^{ГЭУ} p(x_s) \text{ или } f_{ВЭУ} = K_{об}^{ВЭУ} p(x_v). \quad (30)$$

Предлагаемый метод расчета доли замещаемой энергии справедлив, когда ГЭУ и ВЭУ используются раздельно. При совместном их использовании коэффициент замещения зависит от условий суточного энергообеспечения гелио- и ветроэнергетических установок и вероятности одновременного поступления солнечной и ветровой энергии $p(x_s, x_v)$:

- если $K_{об}^{ГЭУ} + K_{об}^{ВЭУ} \leq 1$,

$$f_{ГВЭУ} = K_{об}^{ГЭУ} p(x_s) + K_{об}^{ВЭУ} p(x_v); \quad (31)$$

- если $K_{об}^{ГЭУ} + K_{об}^{ВЭУ} > 1$,

$$f_{ГВЭУ} = K_{об}^{ГЭУ} p(x_s) + K_{об}^{ВЭУ} p(x_v) - (K_{об}^{ГЭУ} + K_{об}^{ВЭУ} - 1)p(x_s, x_v). \quad (32)$$

Таким образом, для определения доли потребной энергии замещаемой ВИЭ необходимо учитывать условия суточного энергообеспечения и случайный режим поступающей возобновляемой энергии за расчетный период. Для этого необходимо исследовать энергетические характеристики возобновляемых источников и их влияние на условия использования ВИЭ в энергообеспечении потребителей при раздельном и совместном использовании ГЭУ и ВЭУ.

В четвертой главе «Определение энергетических характеристик солнечной и ветровой энергии» исследуются режимы поступления возобновляемой энергии. Приводятся основные методические положения по представлению энергетических характеристик солнечной радиации и ветрового потока при их раздельном и совместном использовании в системе энергоснабжения.

Энергетические характеристики возобновляемых источников служат основой для проектирования систем энергоснабжения, использующих ВИЭ. При этом обязательным является вероятностно-статистический анализ энергетических характеристик возобновляемых источников в течение расчетного периода.

Условия использования солнечной энергии определяются уровнем и продолжительностью поступающей солнечной радиации. В качестве энергетических характеристик солнечной радиации (x_s) служат ее интенсивность h_s ($Вт/м^2$) и продолжительность солнечного сияния S .

При проектировании ГЭУ важно знать величину солнечной энергии, поступающей за время ее работы, т.е. ее дневную сумму за заданный промежуток времени. В условиях Южного Урала установлена зависимость средней интенсивности солнечного излучения h_s от дневной продолжительности солнечного сияния, рассматриваемой симметрично относительно полудня (рис. 5).

Приведенные зависимости удовлетворительно аппроксимируются уравнением

$$\frac{h_S}{h_0} = b_S \exp\left(-0,25 \frac{S}{S_0}\right). \quad (33)$$

В полдень, в момент времени $S=0$, коэффициент b_S показывает долю солнечной постоянной h_0 , приходящей на горизонтальную поверхность, а их произведение – среднемесячную интенсивность солнечной радиации. Продолжительность солнечного сияния рассматривается относительно долготы дня S_0 .

По предлагаемой модели была оценена дневная сумма солнечной радиации для разных месяцев. Результаты моделирования подтверждены опытными данными.

Продолжительность солнечного сияния является случайной величиной. В условиях Южного Урала исследованы эмпирические распределения, в которых выявлена характерная особенность – наличие как минимум двух мод. Для аппроксимации интегральной обеспеченности $p(S)$ заданной продолжительности солнечного сияния использовано полиномиальное уравнение

$$p(S) = 1 - F(S) = 1 - \sum_{n=0}^m a_n S^n. \quad (34)$$

Интегральная обеспеченность продолжительности солнечного сияния удовлетворительно согласуется в зимние месяцы полиномом четвертого порядка; в осенние и весенние месяцы – полиномом второго и третьего порядка; в летние месяцы – полиномом второго порядка.

Энергия ветрового потока и ее характеристики оцениваются на основе данных метеорологических наблюдений. В качестве энергетических характеристик ветрового потока (x_v) принимаются среднесуточная мощность ветрового потока и скорость ветра, обеспечивающая ее.

Мощность ветрового потока, осредненную за заданное время, представляется в виде удельного показателя

$$N_0 = \frac{1}{2} \rho (v^3)_{\text{ср}} = \frac{1}{2} \rho \sum v_i^3 t_{*v_i}, \text{ Вт/м}^2, \quad (35)$$

где t_{*v_i} – повторяемость i -й скорости ветра.

Скорость ветра, обеспечивающая среднесуточную мощность:

$$v_{\text{ср.м}} = \sqrt[3]{\sum v_i^3 t_{*v_i}}, \text{ м/с}, \quad (36)$$

рассматривается как энергетическая характеристика ветрового потока. Она отличается от средней скорости ветра, и в условиях Южного Урала установлена зависимость (рис. б), которая удовлетворительно аппроксимируется уравнением

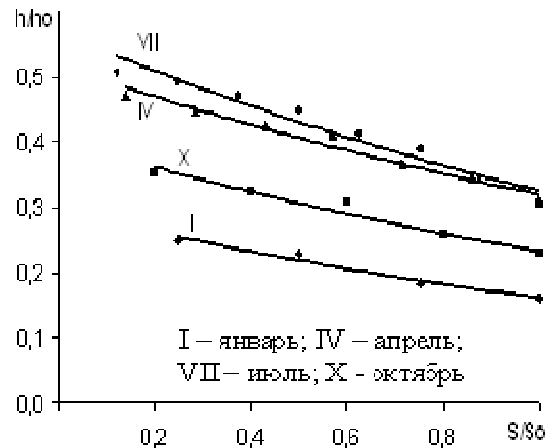


Рисунок 5- Зависимость интенсивности солнечного излучения от продолжительности солнечного сияния

$$v_{\text{ср.м}} = 1,4 + 1,1v_{\text{ср}}, \text{ м/с.} \quad (37)$$

Поступающая энергия ветрового потока носит случайный характер. Поэтому необходимо знать интегральную обеспеченность скорости ветра, обеспечивающей среднесуточную мощность $p(v_{\text{ср.м}})$.

В условиях Южного Урала для выравнивания эмпирических распределений скорости ветра использовано двухпараметрическое уравнение Вейбулла, определены параметры уравнения (β и γ). Проверка успешности сглаживания эмпирического распределения показала на удовлетворительную сходимость.

Для исследования условий совместного поступления солнечной и ветровой энергии определены комплексные показатели, которые представлены в виде сочетания различных градаций двух элементов. На основе данных синхронных наблюдений за продолжительностью солнечного сияния и скоростью ветра составлено двумерное распределение.

Комплексные показатели солнечной и ветровой энергии в условиях Южного Урала показали, что между отдельными интервалами изучаемых величин связь слабая и характеризует их независимость. Однако исследования условной и безусловной повторяемости скорости ветра показали на их отличие $p(v) \neq p(v/S)$, что указывает на наличие статистической связи между энергетическими характеристиками ВИЭ.

Для исследования статистической связи энергетические характеристики ВИЭ были приведены к среднемумесячным значениям. Установлена зависимость (рис. 7), которая удовлетворительно аппроксимируется уравнением

$$\frac{v_{\text{ср.м}}}{v_{\text{ср}}} = 1,13 - 0,13 \frac{S}{S_{\text{ср}}}. \quad (38)$$

Скорость ветра, которая обеспечивает среднесуточную мощность ветрового потока в дни с продолжительностью солнечного сияния S , ожидается с определенной вероятностью. Вероятность одновременного появления энергетических характеристик ВИЭ в течение расчетного периода

$$p(S, v) = p(S)p(v_{\text{ср.м}}). \quad (39)$$

Применение суточных показателей энергетических характеристик ВИЭ составляет основу единой методики в проектировании гелио- и ветроэнергетических установок. Это важно, когда исследуются условия работы ГЭУ, ВЭУ и комплекса ГВЭУ.

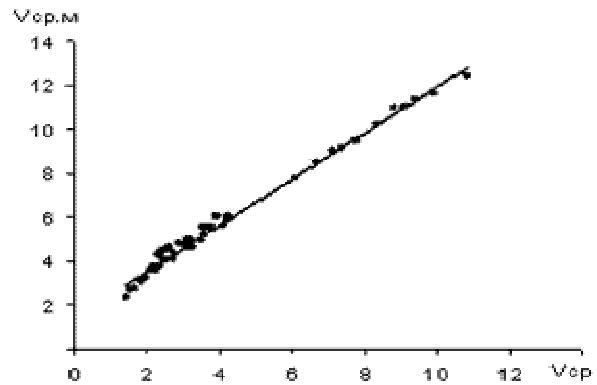


Рисунок 6 – Зависимость $V_{\text{ср.м}}$ от средней скорости ветра

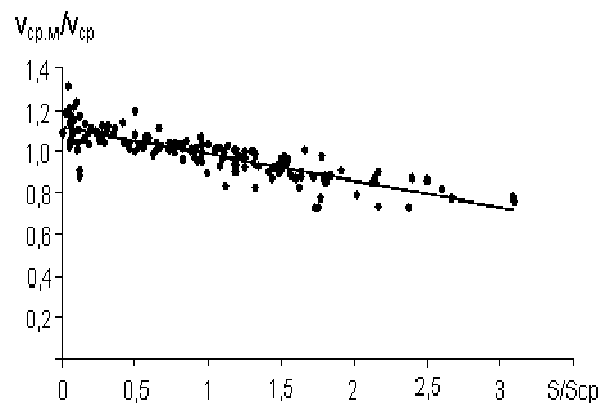


Рисунок 7 – Зависимость среднесуточной скорости ветра от продолжительности солнечного сияния, выраженная в отн. ед.

В пятой главе «Исследование режимов функционирования гелио- и ветроэнергетических установок» рассмотрены принципы преобразования возобновляемой энергии, и на основе энергетических характеристик ВИЭ исследованы условия выработки ГЭУ, ВЭУ и ГВЭУ. Приведены математические модели для определения вырабатываемой энергии от ГЭУ и ВЭУ, результаты экспериментальных исследований и влияние основных параметров энергоустановки на выработку энергии.

Солнечная энергия наиболее широко используется для горячего водоснабжения и отопления здания. Для преобразования солнечной энергии в тепло применяются солнечные коллекторы.

Дневная теплопроизводительность ГЭУ определяется количеством аккумулированной энергии. Тогда дневную выработку ГЭУ с удельной площади СК, когда солнечное сияние (S) за время работы установки ожидается непрерывно, можно представить как

$$Q_{\text{в.уд}}^{\text{дн}} = F_R [h_S R (\overline{\tau\alpha}) - U_L (T_6 - T_0)] S \quad (40)$$

где F_R – коэффициент эффективности; R – коэффициент, учитывающий угол наклона СК; $(\overline{\tau\alpha})$ – приведенная поглощательная способность; U_L – коэффициент тепловых потерь; T_6 , T_0 – среднедневная температура теплоносителя в баке-аккумуляторе и окружающей среды соответственно.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают достоверность предлагаемой модели (рис. 8).

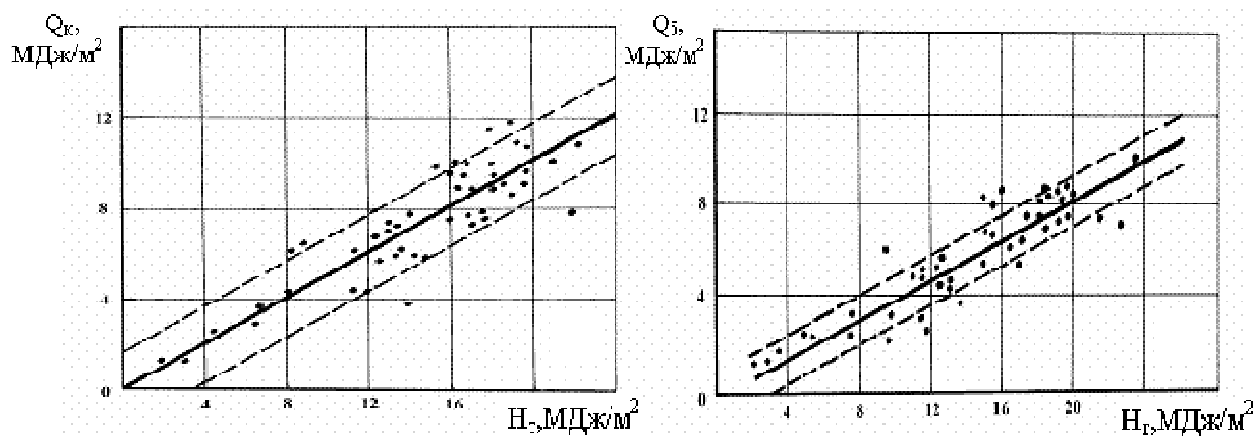


Рисунок 8 – Зависимость выработанной СК (Q_k) и аккумулированной (Q_b) за день тепловой энергии от поступившей солнечной энергии (H_t)

Успешное функционирование ВЭУ зависит от ветровых режимов местности и соответствующих им параметров энергоустановки. Во время работы установки используется только часть энергии ветра, и вырабатываемая мощность зависит от базовой скорости ветра для ВЭУ: минимальной v_0 , рабочей v_p и максимальной v_m .

Выработку с удельной ометаемой площади ветроколеса (ВК) ВЭУ можно определить по среднесуточной мощности

$$P_{\text{ср.уд.}} = \delta (v_{\text{ср.м}})^3, \quad (41)$$

где δ – постоянная величина для ВЭУ, учитывающая коэффициент использования энергии ветра, КПД ветроустановки, высоту расположения ветроколеса.

Тогда ожидаемая выработка энергии от ВЭУ за время T

$$Q_{\text{в.уд}} = \delta (v_{\text{ср.м}})^3 \exp \left[- \left(\frac{v_{\text{ср.м}}}{\beta} \right)^\gamma \right] T. \quad (42)$$

Результаты, полученные по предложенной методике, сравнивались с экспериментальными данными (рис. 9). Различие между теоретическими и экспериментальными данными составляет не более 10%.

Экспериментальные исследования по совместному использованию солнечной и ветровой энергии позволили установить возможность использования ГВЭУ в условиях Южного Урала (рис. 10). В ходе эксперимента ГВЭУ в среднем обеспечивала потребность на 60 - 70%.

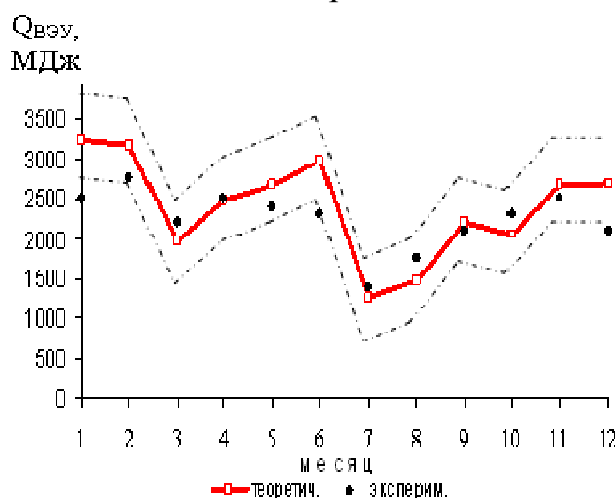


Рисунок 9 – Выработка энергии от ВЭУ по результатам теоретических и экспериментальных исследований

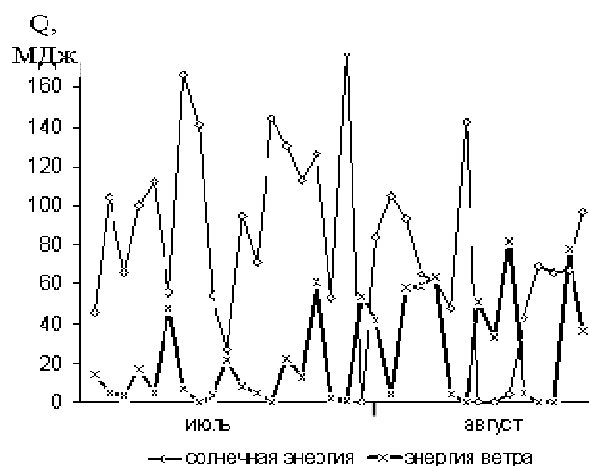


Рисунок 10 – Распределение выработки энергии от геоловетроэнергетической установки

На условия энергообеспечения также влияет угол наклона ГЭУ. В системе солнечного теплоснабжения угол наклона ГЭУ принимается постоянной на весь расчетный период. Для максимального энергообеспечения необходимо оптимизировать угол наклона ГЭУ.

ВЭУ использует только часть потенциальной энергии ветра, и доля ее зависит в основном от v_0 и v_p . Для выработки электроэнергии требуемого качества необходимо выбрать ВЭУ с соответствующей рабочей скоростью; для теплоснабжения потребителей базовые скорости ветра для ВЭУ рекомендуется принимать из условия

$$\begin{cases} V_0 \rightarrow \min \\ V_p \rightarrow \max \end{cases}. \quad (43)$$

Проведенные исследования показали, что для эффективного энергообеспечения сельскохозяйственных потребителей необходимо согласованные действия всех источников энергии в системе энергоснабжения. При этом важно максимальное использование поступающей возобновляемой энергии и рациональное сочетание потребляемых энергоресурсов.

В шестой главе «Разработка технических решений по эффективному использованию солнечной и ветровой энергии» приведены принципы разработ-

ки новых технических решений для эффективного использования солнечной и ветровой энергии в системе энергоснабжения путем согласованного действия традиционных и возобновляемых источников и результаты исследования на имитационной модели условий энергообеспечения и замещения потребной энергии от ВИЭ.

Для эффективного энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей необходимо согласование режимов работы возобновляемых источников между собой и с переменной нагрузкой, а также условия работы возобновляемых и традиционных источников в системе комплексного энергоснабжения.

Проведенные исследования по совместному использованию солнечной и ветровой энергии показали на недоиспользование возобновляемой энергии до 15%, когда они поступают одновременно и имеют достаточный потенциал. Для максимального использования солнечной и ветровой энергии разработано устройство ГВЭУ согласующее действия возобновляемых источников.

Для рационального использования потребляемых энергоресурсов путем максимального использования солнечной и ветровой энергии и управления режимом работы дизельной электростанции в системе электро- и теплоснабжения разработана гелиоветродизельная установка.

Для расширения возможности ВЭУ путем согласования режимов работы источников разработана система энергоснабжения, которая также позволяет повысить надежность энергоснабжения и качество электроэнергии. Предложенные схемы предусматривают выработку качественной электроэнергии при скорости ветра, которая ожидается с наибольшей вероятностью.

Новизна разработанных технических и схемных решений защищена патентом РФ. Для эффективного использования ВИЭ в составе СКЭ необходимо определить оптимальные площади СК ГЭУ и ВК ВЭУ.

Для исследования условий использования солнечной и ветровой энергии в зависимости от параметров энергоустановки проведен эксперимент на имитационной модели. Имитационное моделирование воспроизводит алгоритм функционирования исследуемой подсистемы ВИЭ во времени.

По разработанной методике сначала проверена адекватность самой имитационной модели путем привлечения экспериментальных данных, полученных в условиях Южного Урала. Адекватность разработанной модели позволила исследовать режимы работы ГЭУ, ВЭУ и ГВЭУ в условиях, не охваченных реальными экспериментами.

Во время эксперимента исследовались условия работы ГЭУ и ВЭУ в течение расчетного периода при различной площади СК и ВК. Исследование условий энергообеспечения в зависимости от площади СК и ВК позволило проверить адекватность предложенной методики расчета коэффициента $K_{об}$ (рис. 11). Сравнительный анализ приведенных данных показывает на хорошую сходимость теоретических и экспериментальных данных.

Исследование влияния угла наклона на коэффициент энергообеспечения показало, что для достижения максимального среднегодового значения $K_{об} = 0,7$ рекомендуется угол наклона ГЭУ - 60° , близкий широте местности β . Для сезонных потребителей $K_{об,m} = 1$, и рекомендуемый угол наклона меньше, чем

широта местности, и $\varphi = \beta - 15^\circ$.

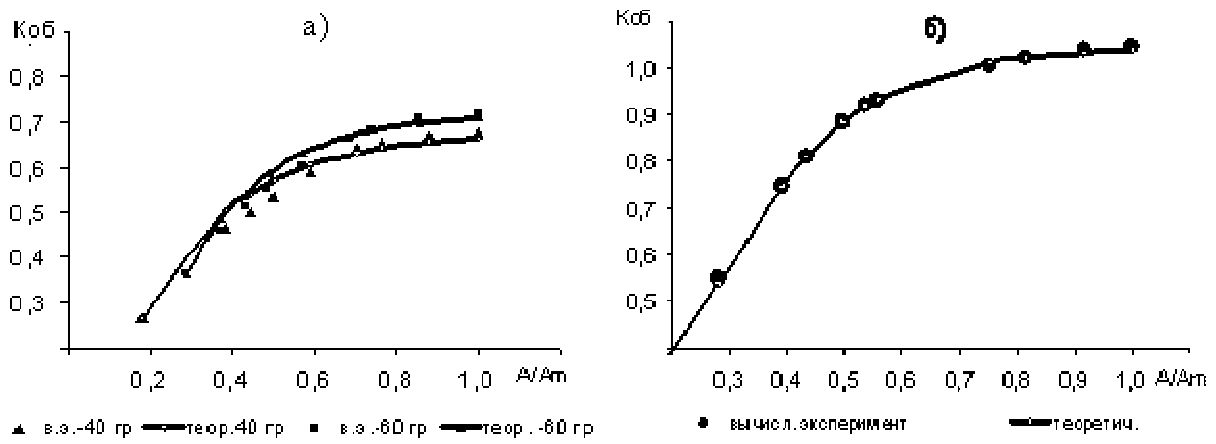


Рисунок 11 – Зависимость коэффициента энергообеспечения от площади СК и ВК при круглогодичном режиме использования: а) ГЭУ; б) ВЭУ

Результаты исследования показали, что в условиях Южного Урала ожидаемая доля замещающей энергии от ГЭУ колеблется в пределах 10 – 85%, от ВЭУ (II и III ветровая зона) – 30 – 45% (рис. 12). Наблюдается расхождение между опытными и теоретическими данными. Теоретически доля замещения получается как гарантированная величина. В действительности превышение замещающей энергии составляет 30 – 40%.

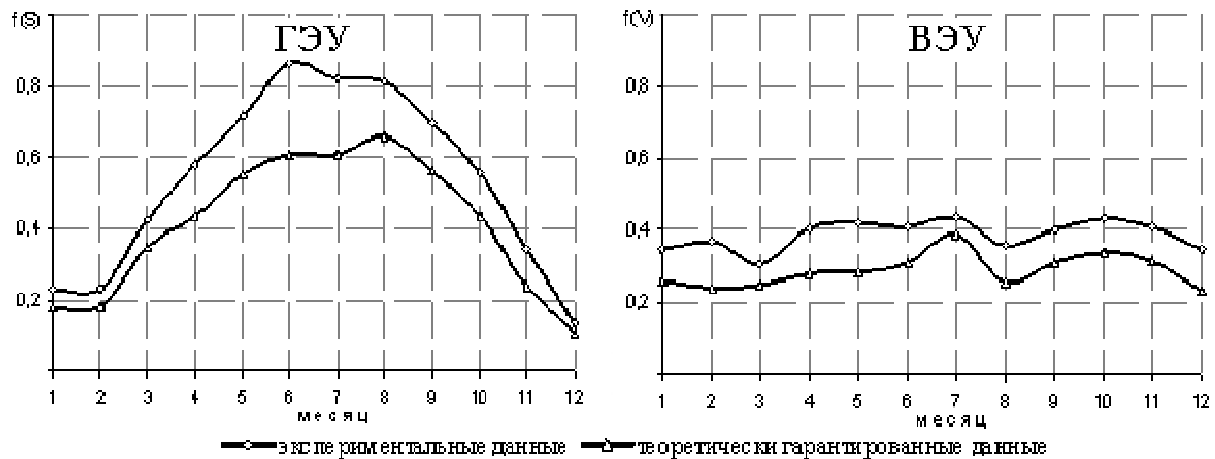


Рисунок 12 – Зависимость коэффициента замещения от времени года

Тогда коэффициент замещения ГЭУ и ВЭУ

$$f_{гэу} = k_f K_{об} p(S); f_{вэу} = k_f K_{об} p(v), \quad (44)$$

где K_f – поправочный коэффициент, среднее значение которого 1,3 – 1,4.

Для исследования условий совместного использования ГЭУ и ВЭУ проведен вычислительный эксперимент с учетом условной повторяемости скорости ветра. На рисунках 13 и 14 приведены результаты исследований.

Во время эксперимента определена доля ГЭУ и ВЭУ в составе комплекса. На Южном Урале в летние месяцы доля замещающей энергии от ГЭУ может превышать долю от ВЭУ примерно в два раза. От ВЭУ с ноября по март ожидается больше энергии, чем от ГЭУ.

Доля замещающей энергии изменяется в пределах от 40 до 95% и среднее значение ее составляет около 70%. Имеет ярко выраженный годовой ход из-за

существенного влияния солнечной энергии. Анализ опытных и теоретических данных показывает на их удовлетворительную сходимость.

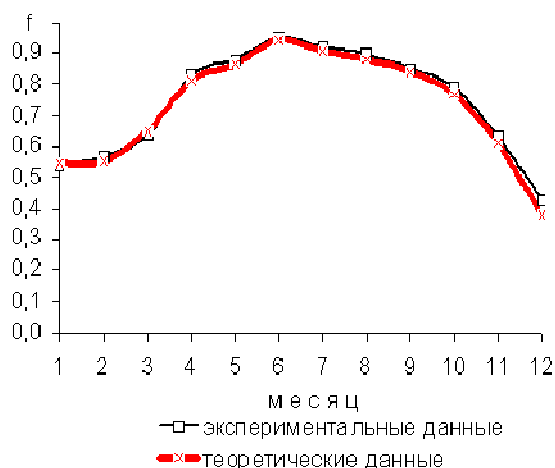


Рисунок 13 – Годовой ход коэффициента замещения ГВЭУ

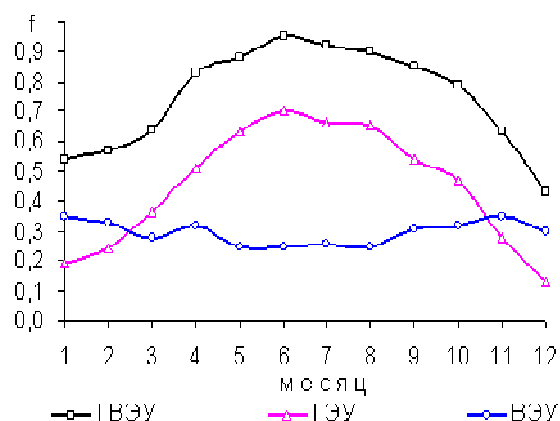


Рисунок 14 – Годовой ход замещаемой доли ГЭУ и ВЭУ в составе ГВЭУ

В течение года ГВЭУ может замещать до 75% потребной энергии. При этом доля ГЭУ в составе комплекса может составить 40 – 45%, а доля ВЭУ – 30 – 35%. Для сезонных потребителей замещение потребной энергии от ГВЭУ может составить до 90%, в т. ч. на долю ГЭУ приходится 55 – 60%, а на долю ВЭУ – 25 – 35%.

В целом доля замещаемой энергии при совместном использовании ГЭУ и ВЭУ больше на 20 – 25%, чем при их раздельном использовании. При этом ГЭУ и ВЭУ недоиспользуются примерно на 10 – 15%.

В седьмой главе «Технико-экономическое обоснование системы комплексного энергоснабжения с использованием солнечной и ветровой энергии» рассмотрены экономические показатели СКЭ и методы их определения, приведены результаты исследования целевой функции и метод расчета оптимальной площади СК ГЭУ и ВК ВЭУ.

Экономический эффект в подсистеме ВИЭ ожидается в результате дохода от сэкономленного топлива, за вычетом издержек на ее эксплуатацию, приведенных к удельной площади СК или ВК ($Z_{в.уд}$)

$$\mathcal{E}_B = (c_T Q_{\Pi} f - Z_{в.уд} A_B). \quad (45)$$

Капиталовложение на использование ВИЭ, как и ожидаемый экономический эффект, зависит от площади СК или ВК (A_B). Срок окупаемости капиталовложений

$$T_{ок} = \frac{K_B}{c_T Q_{\Pi} f - Z_B} \leq T_{сл}. \quad (46)$$

Ежегодные затраты на использование ВИЭ можно представить через капиталовложения на удельную площадь СК или ВК

$$Z_B = i_B \gamma_B K_{уд}^B A_B, \quad (47)$$

где i_B – суммарное отчисление от капиталовложения на энергоустановку в годовой эксплуатационный расход, включая потери энергии при передаче; γ_B – ко-

эффицент, учитывающий затраты на строительно-монтажные работы и дополнительное оборудование.

Тогда себестоимость полезной энергии, вырабатываемой ГЭУ или ВЭУ,

$$c_B = \frac{3_B}{Q_{\Pi} f} = \gamma_B \frac{K_{уд}^B}{Q_{\Pi} f} A_B. \quad (48)$$

Таким образом, сравнительный экономический эффект зависит от площади СК и ВК. Однако выбор площади СК или ВК должен быть подчинен конечной цели, когда ожидаются минимальные затраты на энергию от СКЭ.

Для исследования целевой функции на экстремум представим ее в общем виде независимо, что используется, ГЭУ или ВЭУ:

$$c = \gamma_B \frac{K_{уд}^B}{Q_{\Pi}} A_B + c_T - c_T f = \gamma_B \frac{K_{уд}^B}{Q_{\Pi}} A_B + c_T - c_T k_f K_{об}^B p(S \vee v), \quad (49)$$

или

$$c = \gamma_B \frac{K_{уд}^B}{Q_{\Pi}} \alpha A_m + c_T - c_T k_f \left[1 - \left(1 - \frac{\alpha_0}{\alpha_c} \right) e^{-\frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_c - \alpha_0}} \right] \Delta t_T p(S \vee v). \quad (50)$$

Минимум стоимости энергии и оптимальное значение $\alpha_{опт}$ будут иметь место, когда первая производная равна нулю, а вторая – положительная. Продифференцировав выражение

$$\frac{dc}{d\alpha} = \gamma_B \frac{K_{уд}^B}{Q_{\Pi}} A_m + c_T k_f \Delta t_T p(S \vee v) \left(1 - \frac{\alpha_0}{\alpha_c} \right) e^{-\frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_c - \alpha_0}} \left(-\frac{1}{\alpha_c - \alpha_0} \right) = 0, \quad (51)$$

и после преобразований находим оптимальную величину

$$\alpha_{опт} = \alpha_0 - (\alpha_c - \alpha_0) \ln \left[\frac{\gamma_B K_{уд}^B A_m (\alpha_c - \alpha_0)}{k_f \Delta t_T p(S \vee v) c_T Q_{\Pi} \left(1 - \frac{\alpha_0}{\alpha_c} \right)} \right]. \quad (52)$$

Вторая производная больше нуля для всех значений α , поэтому нами получено условие минимума стоимости энергии от СКЭ.

Тогда оптимальная площадь СК ГЭУ или ВК ВЭУ

$$A_{опт} = A_0 - (A_c - A_0) \ln \left[\frac{\gamma_B K_{уд}^B A_c}{k_f \Delta t_T p(S \vee v) c_T Q_{\Pi}} \right]. \quad (53)$$

Полученное выражение учитывает целый комплекс факторов. Оптимальная площадь СК или ВК зависит от капиталовложений на использование ВИЭ, стоимости замещающей традиционной энергии, количества потребной энергии и выработки ГЭУ или ВЭУ с учетом случайного характера поступающей возобновляемой энергии.

Положительный эффект от ВИЭ ожидается, когда

$$A_{\text{ОПТ}} - A_{\text{О}} \geq 0. \quad (54)$$

Для этого необходимо выполнение условий

$$0 < \frac{i_{\text{В}} \gamma_{\text{В}}}{k_{\text{ф}} \Delta t_{\text{T}} p(S \vee V)} \frac{K_{\text{уд}}^{\text{В}}}{c_{\text{T}} Q_{\text{П}}} A_{\text{с}} \leq 1. \quad (55)$$

При известных удельных затратах на традиционную энергию можно определить допустимые капиталовложения, когда подсистема ВИЭ в составе СКЭ окупается в течение срока службы

$$K_{\text{уд}}^{\text{В}} \leq \frac{c_{\text{T}}}{\frac{1}{T_{\text{сл}}} + i_{\text{В}} \gamma_{\text{В}}} Q_{\text{В.уд}} k_{\text{ф}} p(S \vee v). \quad (56)$$

Энергоустановка с заданными капиталовложениями окупается в течение срока службы, если удельные затраты на традиционную энергию составят

$$c_{\text{T}} \geq \frac{K_{\text{уд}}^{\text{В}}}{Q_{\text{В.уд}} k_{\text{ф}} p(S \vee v)} \left(\frac{1}{T_{\text{сл}}} + i_{\text{В}} \gamma_{\text{В}} \right). \quad (57)$$

По изложенной методике в условиях Южного Урала исследованы технико-экономические показатели ГЭУ и ВЭУ и оптимальные площади СК и ВК при различных значениях $K_{\text{уд}}$ и c_{T} (рис. 15).

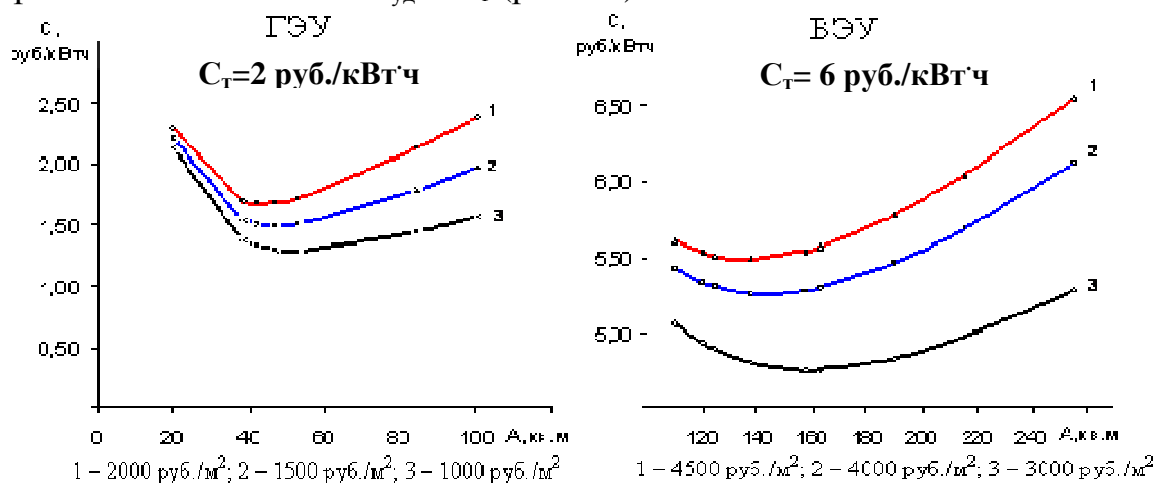


Рисунок 15 – Зависимость стоимости энергии в системе энергоснабжения от площади СК ГЭУ и ВК ВЭУ

Проведенные исследования показали, что при $c_{\text{T}} = 2$ руб./кВт·ч для ГЭУ с выработкой за расчетный период 300 кВт ч/м^2 допускается $K_{\text{уд}} < 2647 \text{ руб./м}^2$, для ВЭУ с выработкой 60 кВт ч/м^2 – $K_{\text{уд}} < 1220 \text{ руб./м}^2$.

В ходе исследования установлено, что при выработке с удельной площади 1 кВт ч энергии и $c_{\text{T}} = 1$ руб./кВт·ч допускаются:

для ГЭУ - $K_{\text{уд}} < 4,5 \text{ руб./м}^2 \cdot \text{кВт ч}$; для ВЭУ - $K_{\text{уд}} < 10 \text{ руб./м}^2 \cdot \text{кВт ч}$.

При проектировании системы энергоснабжения не всегда можно подобрать СК и ВК, площади которых в точности соответствовали бы предложенным оптимальным значениям. В связи с этим исследовано влияние отклонений площади СК и ВК на стоимость энергии от СКЭ.

На рисунке 16 представлена функция прироста стоимости энергии $\delta\tilde{N}$ при отклонении площади СК или ВК от оптимального значения $\delta A = A - A_{\text{опт}}$. Анализ данных показывает, что, когда $\delta A \leq 10 \text{ м}^2$, не отмечается существенного прироста стоимости энергии и можно выбрать ближайшую к расчетному значению стандартную площадь СК ГЭУ или ВК ВЭУ. При дальнейших отклонениях площади происходит прирост стоимости энергии и рекомендуется выбирать ближайшую, наибольшую к расчетному значению, стандартную площадь.

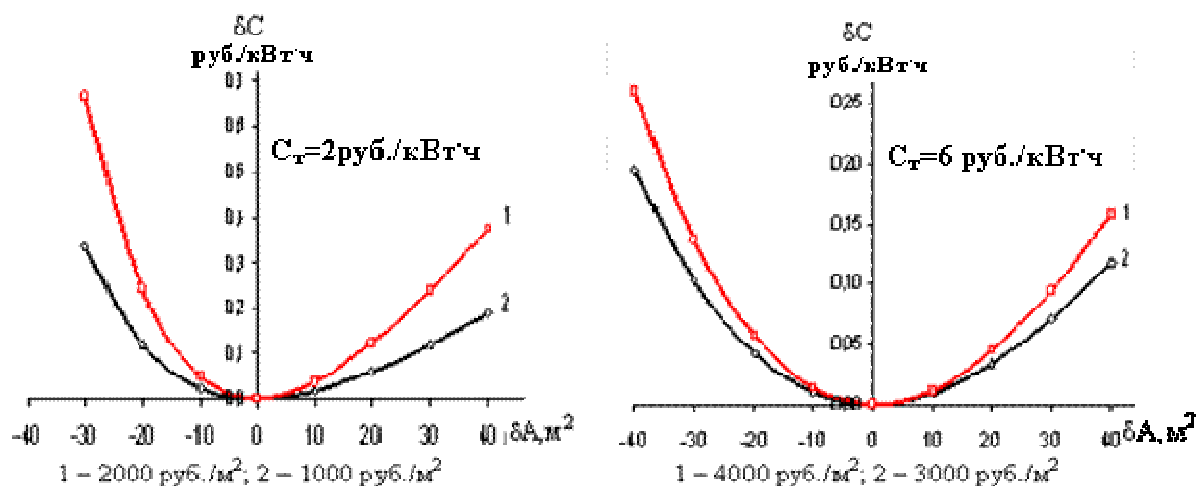


Рисунок 16 – Изменение удельных затрат на потребляемую энергию от СКЭ при отклонений площади СК и ВК от оптимального значения

По результатам проведенных исследований, для специалистов энергослужбы предприятий АПК, научно-исследовательских и проектных организаций разработаны рекомендации по выбору рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов. В рекомендации приведены методика определения оптимальных параметров ГЭУ и ВЭУ и доли замещаемой энергии от ВИЭ, а также пример рационального сочетания потребляемых энергоресурсов в условиях Челябинской области.

В условиях Южного Урала ГЭУ рекомендуется использовать для горячего водоснабжения сезонных потребителей, когда за счет рационального сочетания возобновляемых (60%) и традиционных (40%) энергоресурсов ожидается снижение затрат на энергоснабжение до 30%. Для энергообеспечения потребителей в течение года рекомендуется использовать ВЭУ совместно с ГЭУ, при этом можно снизить затраты на 25% путем рационального сочетания традиционных (45%) и возобновляемых (55%) энергоресурсов.

Основные выводы

1. Анализ состояния энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей показывает на необходимость совершенствования системы энергоснабжения с использованием наиболее доступных солнечной и ветровой энергии, которые могут служить в качестве дополнительных источников для экономии органического топлива. Для эффективного энергоснабжения необходимо рационально использовать как традиционные, так и возобновляемые энергоресурсы и обосновать их сочетание в системе комплексного энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей.

2. Разработанные, на основе многоуровневой системы исследования, модели энергообеспечения позволили для снижения затрат в системе энергоснабжения определить условия выбора рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов с учетом особенности использования их в конкретных условиях и в зависимости от доли потребной энергии замещаемой гелио- и ветроэнергетическими установками с заданными параметрами.

В условиях Южного Урала рациональное использование потребляемых энергоресурсов за счет гелио- и ветроэнергетических установок с оптимальными параметрами позволяет снизить затраты на энергоснабжение до 30%.

3. На основе согласования режимов поступления и потребления возобновляемой энергии, с учетом их изменчивости, разработаны методы оценки показателей: суточного энергообеспечения; использования гелио- и ветроэнергетических установок с заданными параметрами и замещения традиционной энергии за расчетный период (сезон, год) позволяющие определить условия рационального использования возобновляемых источников путем выбора оптимальных параметров гелио- и ветроэнергетических установок.

Установлена зависимость показателя энергообеспечения от площади солнечных коллекторов или ометаемой площади ветроколеса и энергетических характеристик возобновляемых источников позволяющая за расчетный период определить долю замещаемой энергии. На Южном Урале доля замещаемой энергии от ГЭУ в среднем составляет 55%, от ВЭУ – 45%, а от ГВЭУ – 75%.

4. На основе предложенных энергетических характеристик возобновляемых источников: продолжительности солнечного сияния и скорости ветра, обеспечивающей среднесуточную мощность ветрового потока разработаны модели функционирования гелио- и ветроэнергетических установок позволяющие выбрать оптимальные параметры ГЭУ и ВЭУ и оценить долю замещаемой энергии при раздельном и совместном их использовании.

В условиях Южного Урала установлена статистическая связь между энергетическими характеристиками солнечной и ветровой энергии, с коэффициентом корреляции не менее 0,8, позволяющая в системе энергоснабжения оценить условия совместного использования гелио- и ветроэнергетических установок.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований установлено недоиспользование возобновляемой энергии до 15%, когда ожидается одновременное поступление солнечной и ветровой энергии.

5. Разработанные технические и схемные решения позволяют максимально использовать поступающую возобновляемую энергию за счет согласованного действия традиционных и возобновляемых источников в системе энергоснабжения и повысить коэффициент использования ГВЭУ до 15%.

Разработанная имитационная модель позволила исследовать режимы функционирования ГЭУ, ВЭУ и ГВЭУ в условиях неохваченных реальными экспериментами, и относительно среднего гарантированного значения установлено превышение действительной доли замещаемой энергии на 30-40%.

6. Впервые получено аналитическое выражение, позволяющее выбрать оптимальную площадь солнечных коллекторов или ветроколеса ВЭУ и определить условия эффективного использования ВИЭ в зависимости от технико-

экономических показателей системы энергоснабжения, а также разработать методику проектирования системы энергоснабжения на основе ГЭУ и ВЭУ.

В условиях Южного Урала, при стоимости традиционной энергии $c_T = 1 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч}$ и удельных капиталовложениях на ГЭУ или ВЭУ, $K_{уд} = 1000 \text{ руб./м}^2$, оптимальная площадь солнечных коллекторов или ветроколеса в зависимости от потребной энергии за расчетный период находится в пределах $1-2 \text{ м}^2/\text{МВт}\cdot\text{ч}$.

7. Установлены допустимые удельные капиталовложения для эффективного использования ГЭУ и ВЭУ в зависимости от стоимости замещаемой традиционной энергии. Так, при $c_T = 1 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч}$ допустимые удельные капиталовложения на энергоустановки составляют:

для ГЭУ $K_{уд} = 4,5 \text{ руб./м}^2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$; для ВЭУ $K_{уд} = 10,5 \text{ руб./м}^2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$

Для использования возобновляемых источников требуется инвестиционная поддержка, которая в условиях Южного Урала составляет не менее 30% от объема капиталовложения на ГЭУ и ВЭУ.

8. Разработанные рекомендации позволяют путем выбора оптимальных параметров гелио- и ветроэнергетических установок и рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов спроектировать эффективную систему комплексного энергоснабжения в сельском хозяйстве.

В условиях Южного Урала рекомендуется использовать ГЭУ для горячего водоснабжения сезонных потребителей, а ВЭУ - в течение года совместно с ГЭУ. В системе энергоснабжения ожидается рациональное сочетание возобновляемых (до 60%) и традиционных (не менее 40%) энергоресурсов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

Статьи, опубликованные в изданиях рекомендованных ВАК

1. Шерьязов С.К. Ветроэнергетическая установка со стабилизатором напряжения / С.К. Шерьязов, А.А. Аверин, М.В. Шелубаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. – №6. С. 18-19.

2. Шерьязов С.К. Основные принципы исследования системы энергоснабжения с использованием энергии ветра / С.К. Шерьязов, Н.А. Чернов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. – 2010. – Вып. 1 (40). – С. 27 – 29.

3. Шерьязов С.К. Методика оценки энергообеспеченности потребителей от ветроэнергетической установки / С.К. Шерьязов, Н.А. Чернов // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2010. – Вып. 4. – С. 207-210.

4. Шерьязов С.К. Использование ветроустановки в системе электроснабжения / С.К. Шерьязов, М.В. Шелубаев // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2010. – Вып. 4. – С. 210-212.

5. Шерьязов С.К. Выбор ветроэнергетической установки / С.К. Шерьязов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 2. – С. 7-8.

6. Шерьязов С.К. Показатели эффективности комплексного энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей / С.К. Шерьязов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 12. – С. 11.

7. Шерьязов С.К. Исследование системы комплексного энергоснабжения с использованием возобновляемых источников / С.К. Шерьязов // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2008. – Вып. 5. – С. 302 – 305.

8. Шерьязов С.К. Определение оптимального параметра гелио- и ветро-энергетической установки для энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей / С.К. Шерьязов, А.А. Аверин // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2007. – Вып. 6. – С. 214-221.

9. Шерьязов С.К. Оценка энергообеспеченности потребителя за счет возобновляемого источника / С.К. Шерьязов, А.А. Аверин // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2007. – Вып. 6. – С. 221-225.

10. Шерьязов С.К. Обоснование эффективной системы энергоснабжения с использованием возобновляемой энергии / С.К. Шерьязов // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2006. – Вып. 4. – № 2 – С. 434-439.

11. Шерьязов С.К. Методика определения условий эффективного использования энергии ветра / С.К. Шерьязов, А.А. Аверин // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2006. – Вып. 4. – № 2. – С. 440-444.

Патенты РФ на изобретение и авторские свидетельства

1. Патент РФ на изобретение №.2382900. Система для автономного электроснабжения потребителей / С.К. Шерьязов, М.В. Шелубаев, А.А. Аверин, Н.А. Чернов // БИ. – 2010. – № 6.

2. Патент РФ на изобретение № 2325551. Устройство для автономного энергоснабжения потребителей / С.К. Шерьязов, А.А. Аверин / БИ. – 2008. – № 15.

3. Патент РФ на изобретение № 2228492. Устройство для горячего водоснабжения / С.К. Шерьязов, Р.А. Ахметжанов // БИ. – 2004. – № 13.

4. А.С. № 1315416. Энергетическая установка // Л.А.Саплин, В.Л. Орлов, Р.Ф. Юнусов, С.К. Шерьязов / БИ. – 1993. – № 18.

Монография, рекомендации и учебное пособие

1. Шерьязов С.К. Возобновляемые источники в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей: моногр. / С.К. Шерьязов. – Челябинск: ЧГАУ, 2008. – 300 с.

2. Шерьязов С.К. Выбор рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей (на примере Челябинской области): рекомендации для руководителей энергетических служб АПК / С.К. Шерьязов. – Челябинск: ЧГАА, 2010. – 40 с.

3. Саплин Л.А. Энергоснабжение сельскохозяйственных потребителей с использованием возобновляемых источников / Л.А. Саплин, С.К. Шерьязов, О.С. Пташкина-Гирина, Ю.П. Ильин: учеб. пособие для вузов с грифом УМО. – Челябинск: ЧГАУ, 2000. – 203 с.

Статьи, опубликованные в центральных рецензируемых журналах

1. Шерьязов С.К. Методические основы определения мощности гелио- и ветроэнергетических установок / С.К. Шерьязов // Техника в сельском хозяйст-

ве. – М., 2000. – № 3. – С. 36-39.

2. Саплин Л.А. Оценка эффективности использования комбинированных солнечных установок / Л.А. Саплин, С.К. Шерьязов // Техника в сельском хозяйстве. – М., 1991. – № 2. – С. 25-26.

3. Пястолов А.А. Гелиоустановка для летней доильной площадки / А.А. Пястолов, Л.А. Саплин, С.К. Шерьязов // Достижения науки и техники АПК. – М., 1989. – № 7. – С. 48-49.

Статьи, опубликованные в научных журналах и материалах конференции

1. Шерьязов С.К. Оценка солнечной энергии как источника энергии в условиях Южного Урала / С.К. Шерьязов // Повышение эксплуатационной надежности электрооборудования в сельском хозяйстве: науч. тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1988. – С. 80-87.

2. Шерьязов С.К. Горячее водоснабжение сельскохозяйственного производства в условиях Южного Урала с использованием солнечной энергии: дис....канд. техн. наук / С.К. Шерьязов. – Челябинск, 1990. – 229 с.

3. Саплин Л.А. Использование гелиоветроэнергетических установок для энергоснабжения сельскохозяйственного производства / Л.А. Саплин, В.Л. Орлов, С.К. Шерьязов // Нетрадиционные электротехнологии в сельскохозяйственном производстве и быту села: мат-лы всесоюз. науч.-техн. семинара. – М.: ВИЭСХ, 1991. – С. 50-51.

4. Саплин Л.А. Определение затрат на энергоснабжение сельскохозяйственных потребителей от различных источников / Л.А. Саплин, С.К. Шерьязов // Вестник ЧГАУ. – Челябинск, 1998. – Т.26. – С. 125-131.

5. Шерьязов С.К. Система энергоснабжения с использованием возобновляемых источников / С.К. Шерьязов // Вестник ЧГАУ. – Челябинск, 1999. – Т. 28. – С. 171-175.

6. Шерьязов С.К. Принцип эффективного использования возобновляемых источников энергии / С.К. Шерьязов // Энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 2-й Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИЭСХ, 2000. – Ч 2. – С. 353-358.

7. Шерьязов С.К. Опыт эксплуатации ветроустановки WBC-3 на Ю-Урале / С.К. Шерьязов, А.А. Животков // Возобновляемые источники энергии: тр. 2-й Всерос. науч. молод. шк. – М.: МГУ, 2000. – С.15-17.

8. Шерьязов С.К. К методике оптимизации угла наклона гелиоустановки / С.К. Шерьязов, Ф.С. Тищенко // Возобновляемые источники энергии: тр.2-й Всерос. науч. молод. шк. – М.:МГУ, 2000. – С.57-59.

9. Шерьязов С.К. Критерии оптимизации гелио- и ветроэнергетических установок / С.К. Шерьязов // Вестник ЧГАУ. – Челябинск, 2000. – Т.32. – С.94-98.

10. Шерьязов С.К. Разработка схемы энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей с использованием возобновляемых источников / С.К. Шерьязов // Вестник ЧГАУ. – Челябинск, 2000. – Т.33. – С. 98-102.

11. Саплин Л.А. Методы определения структуры энергоисточников с использованием возобновляемой энергии / Л.А. Саплин, С.К. Шерьязов // Аграрная энергетика в XXI веке: тр. междунар. науч.-техн. конф. – Минск: УП Технопринт, 2001. – С. 174-176.

12. Шерьязов С.К. Задачи по эффективному использованию возобновляемых источников энергии / С.К. Шерьязов // Аграрная энергетика в XXI веке: тр. междунар. науч.-техн. конф. – Минск: УП Технопринт, 2001. – С. 224-226.

13. Шерьязов С.К. Энергообеспечение сельскохозяйственных потребителей ветроэлектрическими установками / С.К. Шерьязов // Проблемы энергообеспечения и энергосбережения в АПК Украины: тр. междунар. науч.-практ. конф. – Харьков: ХГТУ, 2001. – С. 479-483.

14. Саплин Л.А. Структура системы энергоснабжения фермерских хозяйств с использованием ВИЭ / Л.А. Саплин, С.К. Шерьязов, Р.А. Ахметжанов // Сб. научн. тр. ЧГАУ. – Челябинск, 2001. – С.241-243.

15. Саплин Л.А. Моделирование режима скорости ветра в условиях Южного Урала / Л.А. Саплин, С.К. Шерьязов, Е.А. Устинова // Экология и сельскохозяйственная техника: мат-лы 3-й науч.-практ. конф. – СПб., СЗНИИМЭСХ, 2002. – Т. 3. – С. 103-109.

16. Шерьязов С.К. Обоснование условий оптимального использования ветроэнергетических установок / С.К. Шерьязов // Экология и сельскохозяйственная техника: мат-лы 3-й науч.-практ. конф. – СПб., СЗНИИМЭСХ, 2002. – Т. 3 – С. 109-115.

17. Шерьязов С.К. Моделирование режима продолжительности солнечного сияния при проектировании гелиоустановок / С.К. Шерьязов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 3-й междунар. науч.-техн. конф. Ч. 4. Нетрадиционные источники энергии. Вторичные энергоресурсы. Экология. – М.: ВИЭСХ, 2003. – С. 50-54.

18. Шерьязов С.К., Гелиоветроэнергетическая установка для горячего водоснабжения / С.К. Шерьязов, Р.А. Ахметжанов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 3-й междунар. науч.-техн. конф. Ч. 4. Нетрадиционные источники энергии. Вторичные энергоресурсы. Экология. – М.: ВИЭСХ, 2003. – С.107-109.

19. Шерьязов С.К. Имитационная модель гелиоветроэнергетической установки / С.К. Шерьязов, Р.А. Ахметжанов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 4-й междунар. науч.-техн. конф. Ч. 4. «Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология». – М.: ВИЭСХ, 2004. – С.187-191.

20. Саплин Л.А. Основные положения и принципы исследования возобновляемого источника энергии / Л.А. Саплин, С.К. Шерьязов // Вестник ЧГАУ. – Челябинск, 2005. – Т. 44. – С. 112-116.

21. Шерьязов С.К. Определение энергетической характеристики ветрового потока в зависимости от продолжительности солнечного сияния/ С.К. Шерьязов, Р.А. Ахметжанов // Достижения науки – агропромышленному производству: мат-лы XLIV междунар. науч.-техн. конф. ЧГАУ – Челябинск, 2005. – Ч. 2. – С. 221 – 226.

22. Шерьязов С.К. Моделирование дневной суммы солнечной радиации за время работы гелиоустановки / С.К. Шерьязов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 5-й междунар. науч.-техн. конф. Ч. 4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология. – М.:

ВИЭСХ, 2006. – С. 68–73.

23. Шерьязов С.К. Влияние условий энергообеспечения на выбор ветроустановок / С.К. Шерьязов, А.А. Аверин // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 5-й междунар. науч.-техн. конф. Ч. 4 Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология. – М.: ВИЭСХ, 2006. – С. 211–216.

24. Патент на полезную модель № 65150. Геливетродизельгенераторная установка для энергоснабжения / С.К Шерьязов, А.А. Аверин, Р.А. Ахметжанов // БИ. – 2007. – № 21.

25. Шерьязов С.К. Определение доли замещаемой энергии при раздельном и совместном использовании солнечной и ветровой энергии / С.К Шерьязов // Ползуновский вестник.– Барнаул, 2008. – №1-2. – С.161-162.

26. Шерьязов С.К. Согласование условий использования возобновляемых источников в энергообеспечении потребителей / С.К Шерьязов, А.А. Аверин, М.В. Шелубаев // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2008. – № 1-2. – С. 163-168.

27. Шерьязов С.К. Гелиоветродизельгенераторная установка для энергоснабжения автономных потребителей / С.К Шерьязов, А.А. Аверин // Вестник ЧГАУ. – Челябинск, 2008. – Т. 52. – С. 108-109.

28. Шерьязов С.К. Экспериментальное исследование ветроустановки ВВС-3 в условиях Челябинской области / С.К. Шерьязов, А.А. Аверин, Н.А. Чернов // Достижения науки – агропромышленному производству: мат-лы XLVIII междунар. науч.-техн. конф. ЧГАУ. – Челябинск, 2009.–Ч. 3.–С.160-166.

29. Патент на полезную модель № 89184. Ветроэлектрическая установка / С.К Шерьязов, М.В. Шелубаев // БИ. – 2009. – № 33.

30. Шерьязов С.К Особенности работы ветроэнергетической установки ВВС-3 по результатам экспериментальных исследований / С.К Шерьязов, М.В. Шелубаев // Достижения науки – агропромышленному производству: мат-лы XLVIX междунар. науч.-техн. конф. ЧГАУ. – Челябинск, 2010.–Ч.2.–С. 363-367.

31. Шерьязов С.К. Особенности в использовании энергии ветра / С.К Шерьязов, М.В. Шелубаев // Энергетика настоящего и будущего: сб. мат-лов I Евроазиатской выставки и конф. – Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2010. – С. 87- 88.

32. Шерьязов С.К. Оценка доли замещаемой энергии от возобновляемого источника / С.К. Шерьязов, Н.А. Чернов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 7-й междунар. науч.-техн. конф. Ч.4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология. М.: ВИЭСХ, 2010. – С. 19 – 22.

33. Шерьязов С.К. Система автономного электроснабжения с использованием ветроэнергетической установки / С.К Шерьязов, М.В. Шелубаев // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 7-й междунар. науч.-техн. конф. Ч.4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология. М.: ВИЭСХ, 2010. – С. 205 – 208.

Подписано в печать. Формат 60x84/16.
Объем 2,0 уч. – изд.л. Тираж 100 экз.
Заказ №