

На правах рукописи

БРЕУСОВ ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ
В КОМБИНИРОВАННЫХ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Специальность: 05.14.08 - Энергоустановки
на основе возобновляемых видов энергии

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург
2002

Работа выполнена на кафедре возобновляющихся источников энергии и гидроэнергетики Санкт-Петербургского государственного технического университета.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор

Виссарионов Владимир Иванович,

Доктор технических наук, профессор

Грилихес Владимир Александрович,

Доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ

Юревич Евгений Иванович

Ведущая организация: Отдел электро-энергетических проблем РАН (ОЭЭП РАН).

Защита состоится "___" _____ 2002 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.17 при СПбГТУ по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, Гидрокорпус-2, ауд. 411.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке СПбГТУ.

Автореферат разослан "___" _____ 2002 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

В.Т. Орлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Решение вопросов методологии комбинированного использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии необходимо для крупномасштабного перехода на энергосберегающие технологии, структурной перестройки части энергетики и перехода ее к рыночным условиям экономики страны. Этим определяется актуальность и важность научно-технического направления, предусматривающего проведение исследований и организацию опытно-промышленного производства нового энергетического оборудования для комбинированных автономных энергоустановок, преобразующих энергию возобновляемых источников.

Комбинированное использование энергии нетрадиционных возобновляемых источников особенно перспективно для удаленных регионов России, где отсутствует централизованное энергоснабжение, для решения задач отработки типоразмерного ряда энергетических установок и определения приоритетных направлений по спросу потребительского рынка на установки такого типа.

Заметим, что электрификация маломощных рассредоточенных объектов традиционными методами, как это было осуществлено в начале века на Севере Канады и на Аляске, согласно экспертной оценке ЮНЕСКО на малонаселенной территории России потребует около 350 миллиардов долларов и около полувека для ее осуществления, поэтому переход на энергосберегающее направление и широкое развитие экологически чистой возобновляемой энергетики должен явиться важнейшей частью энергетической политики государства.

Развитие комбинированного автономного использования энергии нетрадиционных возобновляемых источников сопряжено с решением ряда проблем, а именно:

- эффективной утилизацией источников энергии низкой плотности и концентрации, следствием чего является высокая удельная материалоемкость конструкций НВИЭ и стоимость производимой ими электроэнергии;
- постоянным согласованием процесса производства и потребления энергии возобновляемых источников, необходимостью высокой степени дублирования из-за случайного характера поступления энергии;
- развитием методов технико-экономического обоснования объектов нетрадиционной энергетики, учитывающих специфику их создания и функционирования.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Целью данной диссертационной работы является комплексное изучение и научное обоснование возможностей эффективного использования энергии возобновляемых источников в комбинированных автономных энергосистемах (КАЭС) и разработка новых технических и технологических решений при создании нового высокоэффективного оборудования для реализации таких систем.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы и решены следующие задачи:

- выполнен анализ и дана оценка современного состояния и технического уровня оборудования и технологий использования энергии нетрадиционных возобновляемых источников в мире и РФ;

- разработаны базовые принципы проектирования и технико-экономического обоснования КАЭС;

- разработаны основные функциональные схемы автономных энергосистем, действующих на основе комбинированных нетрадиционных источников энергии;

- разработан, спроектирован и реализован в действующем образце Стирлинг-генератор для комбинированной автономной энергоустановки;

- разработан, спроектирован и реализован в действующем образце двигатель внутреннего сгорания, работающий на продуктах переработки возобновляемых ресурсов;

- разработана, спроектирована и выполнена в действующем образце ветроэнергетическая установка со спиральными лопастями;

- разработан, спроектирован и реализован в действующем образце бесколлекторный генератор на постоянных магнитах для КАЭС;

- разработан, спроектирован и реализован в действующей модели бесколлекторный электродвигатель для гибридного автомобиля;

- разработан проект стационарной установки для получения биотоплива;

- обоснованы и сформулированы рекомендации по повышению надежности, прочности и долговечности материалов ответственных узлов и деталей, применяемых в оборудовании и конструкциях для преобразования энергии возобновляемых источников;

- разработан проект экспериментальной комбинированной автономной энергосистемы на основе новых энергетических установок для частных (индивидуальных) потребителей.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЙ заключается в следующем:

- впервые проведено комплексное, с учетом потенциальных энергетических ресурсов, экологических проблем, энергодефицитности и пр., изучение и научное обоснование возможностей использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии с целью обоснования технических решений для разработки и создания высокоэффективного оборудования, которое способствует комплексным технологиям в обеспечении эффективного согласования и выравнивание потоков возобновляемой энергии с потребителями;

- выполнен анализ патентно-информационной документации в области использования НВИЭ в России и за рубежом, позволивший выявить тенденции в разработке технических решений, которые легли в основу создания ветросиловой установки со спиральными лопастями;

- впервые в России спроектирован и реализован в действующих образцах Стирлинг-генератор для КАЭС мощностью до трех кВт;

- впервые в мировой практике разработан и реализован в работающем образце (на базе двигателя ГАЗ) двигатель внутреннего сгорания, функци-

онирующий на продуктах переработки возобновляемых ресурсов,

- при разработке элементов оборудования и конструкций установок для преобразования возобновляемых источников энергии впервые использован синергетический подход к вопросам повышения прочности, долговечности и надежности материалов.

Новизна результатов подтверждена авторскими свидетельствами и патентами.

Личный вклад автора определяется разработкой новых подходов к использованию энергии нетрадиционных возобновляемых источников в комбинированных автономных энергосистемах, обоснованием и реализацией технических решений по созданию и проектированию высокоэффективных установок для преобразования энергии возобновляемых источников, теоретических основ повышения эксплуатационных характеристик материалов оборудования и конструкций для преобразования энергии возобновляемых источников.

Практическая значимость диссертации состоит в использовании рекомендаций автора на стадии предпроектных и проектных проработок энергосистем децентрализованного энергоснабжения, позволяющих повысить конкурентноспособность и экономическую эффективность данных систем на основе преобразования энергии возобновляемых источников, что крайне важно для улучшения экологической и социальной обстановки, особенно в энергодефицитных регионах страны. Она также состоит в практическом применении установок, разработанных автором, немецкими фирмами – GP Konstruktions und Management AG&Co.KG и Motor Technik Innovative Engineering (MOTOS KG)

Новые технологии термического упрочнения – ТЦО, разработанные автором могут быть широко использованы для упрочнения углеродистых, легированных сталей и композитных материалов для совершенствования структуры и свойств сварных соединений, нашедших широкое применение при изготовлении энергетического оборудования для КАЭС.

Высокоэффективное оборудование, разработанное автором для преобразования энергии нетрадиционных возобновляемых источников должно внести определенный вклад в ускорение научно-технического прогресса.

Апробация работы. Результаты выполненной работы докладывались и обсуждались на всесоюзных, республиканских, международных европейских семинарах, конференциях, симпозиумах, а также отраслевых семинарах и конференциях: Europaisches Stirling Forum 1992 (Osnabruck, 1992); Europaisches Stirling Forum 1994 (Osnabruk, 1994); 6th International Stirling Engine Conference 1993 (Eindhoven, 1993); Europaisches Stirling Forum 1996 (Osnabriick, 1996); Europaisches Stirling Forum 1998 (Osnabruck, 1998); 7th International Conference on Stirling Cycle Machines ICSC'95 (Tokyo, 1995); Europaisches Stirling Forum 2000 (Osnabruck, 2000); 10th International Stirling Engine Conference ISEC'2001 (Osnabruck, 2001); European Wind Energy Conference and Exhibition 2001 (Munich, 2001); Международная научно-техническая конференция "Научные проблемы

энергетики возобновляемых источников" (Самара, 2000); Международная научно-техническая конференция "Возобновляемые источники энергии для устойчивого развития Байкальского региона" (Улан-Уде, 2001); Международный семинар "Российские технологии индустрии", "Возобновляемые источники энергии" (С.-Петербург, 2001); Международный семинар "Энергетика в современном мире" (Чита, 2001); Отраслевая научно-техническая конференция "Прогрессивные процессы в чугунолитейном производстве" (Ленинград, 1972); Межотраслевая научно-техническая конференция "Надежность и долговечность металлических материалов для машиностроения и приборостроения: (Ленинград, 1972); Всесоюзное научно-техническое совещание "Термоциклическая обработка металлических материалов" (Ленинград, 1980); Всесоюзная научно-техническая конференция "Повышение эффективности использования машин в строительстве" (Ленинград, 1980); Всесоюзная научно-техническая конференция "Термоциклическая обработка металлических изделий" (Москва, 1982); Доклады Академии Наук СССР "Физика пластической деформации и упрочнения поверхностного слоя металлов" (Москва, 1982); Всесоюзная научно-техническая конференция "Повышение качества надежности и долговечности изделий из конструкционных жаропрочных, порошковых, и инструментальных сталей и сплавов" (Москва, 1984); Всесоюзная научно-техническая конференция "Термоциклическая обработка деталей машин с целью увеличения их эксплуатационных характеристик" (Волгоград, 1981); Всесоюзная научно-техническая конференция "Интенсификация производства и качества машиностроительной продукции за счет применения конструкционных сталей с улучшенными технологическими свойствами" (Челябинск, 1987); Всесоюзный научно-технический семинар "Повышение качества, надежности и долговечности изделий из конструкционных, жаропрочных, порошковых и инструментальных сталей и сплавов" (Ленинград, 1990); 11^{ый} Всесоюзный симпозиум РАН СССР по перспективным металлическим материалам "Новые технологии получения и свойства металлических материалов" (Москва, 1991).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследований, а также новизна полученных результатов. Показан личный вклад, практическая значимость диссертационных исследований. Приведены сведения об использовании основных результатов исследований и апробации работы.

В первой главе на основе анализа литературных источников автором установлено, что современные системы энергообеспечения в регионах (административно-территориальных единицах), получающие электроэнергию от Единой Энергетической Системы России, характеризуются разветвленными распределительными электрическими сетями общей протяженностью около 2,5 млн. км. Их техническое состояние, особенно в сельской местности, весьма далеко от удовлетворительного и с каждым годом катастрофически ухудшается. Перерывы в электроснабжении потребителей достигают около 100 ч в год, что на поря-

док выше, чем в развитых зарубежных странах.

Систематическое невыполнение планов ввода новых энерго мощностей, недостаток их резерва привели к старению энергетического оборудования: около 57% имеет износ более 50%, полностью выработало свой ресурс на сегодня свыше 13%. Следует отметить особенно и то, что совещание, прошедшее 28 марта 2000 г. Научно-технического совета РАО "ЕЭС России" и Научного совета РАН по проблемам надежности и безопасности энергообеспечения единодушно отметило катастрофическое состояние основных фондов по всем отраслям ТЭК. В докладах указывалось, что 53% энергетического оборудования к 2010 г. полностью отработает свой ресурс, а дефицит энергетических мощностей может составить более 118 млн. кВт.

Для сохранения энергетического потенциала страны даже на сегодняшнем кризисном уровне необходим ввод 7 млн. кВт в год новых энергетических мощностей, для этого до 2010 г. потребуются инвестиции в энергетику, составляющие не менее 50 млрд. долларов.

Две трети регионов России являются сегодня энергодефицитными, получающими энергоснабжение извне. Более половины территории России с малой плотностью населения и электрической нагрузкой от 0,1 до 12 кВт/км² не имеет централизованного энергоснабжения. В этих регионах децентрализованного энергоснабжения (тундра, тайга, степные и лесостепные зоны, горные массивы, пустыни и полупустыни) преимущественно сельскохозяйственного использования, а также в ряде районов централизованного энергоснабжения Нечерноземной зоны России, Западной и Восточной Сибири Дальнего Востока проживает около 11 млн. сельского населения.

Энергообеспеченность части рассмотренных потребителей в настоящее время осуществляется за счет дизельных и бензиновых электростанций, привозного керосина и газа в баллонах, древесного топлива, а большая часть сезонных потребителей не имеют современных средств энергоснабжения.

Сегодня требует пересмотра концепция централизации энергоснабжения, ориентированная на преимущественное использование мощных и сверхмощных ТЭЦ общегородского назначения и крупных районных котельных. Такое направление развития энергоснабжения не решает проблему отопления и горячего водоснабжения в сельской местности, исключает возможность использования дров на эти цели. Большинство традиционно применяемых источников теплоснабжения имеют низкую энергетическую и экологическую эффективность, требуют сложной и дорогостоящей транспортной инфраструктуры, обеспечивающей доставку, недостаточно надежны.

Все это обуславливает необходимость в реорганизации существующих и создании энергосистем автономного комбинированного характера децентрализованного энергоснабжения на основе малой энергетики и энергосберегающих технологий. В сочетании с местной энергоресурсной базой (на основе возобновляемых источников энергии) и малыми предприятиями по добыче, переработке, транспортировке и хранению имеющего ископаемого топлива – это тот региональный топливно-энергетический комплекс, вокруг которого формиру-

ется сырьевая, индустриальная и сельскохозяйственная зоны.

Децентрализованное комбинированное энергоснабжение должно основываться на принципах взаимодействия взаимонезависимости. Взаимодействие обеспечивает эффективное использование энергетических ресурсов, взаимонезависимость – живучесть автономных систем энергоснабжения при возникновении различных возмущений.

Россия располагает огромными ресурсами возобновляемых источников энергии. Широкое применение таких относительно недорогих энергоисточников и их сочетаний, сооружаемых вблизи потребителей, позволит в короткие сроки решать проблему надежного энергообеспечения как отдельных потребителей, так и групп, а также энерго- и ресурсосбережение, снижение воздействия энергетики на окружающую среду.

Большой вклад в развитие научных исследований в области НВИЭ внесли: Ж.И. Алферов, Ю.С. Васильев, В.И. Андрианов, Я.Б. Данилевич, Г.И. Денисенко, В.А. Грилихес, Н.С. Лидоренко, Д.С. Стребков, М.Б. Закс, В.И. Виссарионов, В.В. Елистратов, Б.В. Тарнижевский, Н.В. Арефьев, Ю.Д. Дядькин, Э.И. Богуславский, Г.Г. Берленд, В.В. Стадник и другие, а также зарубежные ученые: Дж. Даффи, У.А. Бекман, Я. Ярас, Л. Хоффман, С. Фонош, Д. Кузано, С. Вагнер, А.Уэир и другие. Работами ученых показано, что покрытие дефицита энергии следует осуществлять за счет таких её источников, которые обладали бы уникальными свойствами: были возобновляемыми, экологически чистыми и не приводили бы к поступлению на планету дополнительного количества тепла. Возможность подобного сочетания таких ценных качеств, на первый взгляд, кажется нереальной. Однако такие источники энергии есть – это солнечная энергия, энергия ветра, энергия биомассы, энергия морских волн и приливов, геотермальная энергия и ряд других. Их общее названия - нетрадиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ).

Природа каждого из НВИЭ неодинакова, поэтому различны средства и способы их применения. Вместе с тем им свойственны некоторые общие черты, осложняющие их практическое использование в широких пределах. К ним относятся:

- а) низкая плотность, концентрация и случайно-детерминированный характер прихода энергии;
- б) необходимость постоянного согласования процессов прихода и потребления энергии, особенно в автономно работающих энергосистемах;
- в) несовершенство методов технико-экономического анализа систем энергоснабжения на основе НВИЭ, учитывающих экологические и социальные преимущества.

Получаемая с помощью технических средств энергия НВИЭ неразрывно связана с природными течениями соответствующего геофизического процесса – динамики атмосферы, солнечной радиации и т.п., поэтому приход энергии этих источников практически всегда подвержен значительным изменениям во времени. Прогноз прихода энергии этих источников практически постоянно базируется на информации за прошедшее время и, следовательно, все принимаемые

решения и расчеты всегда могут быть даны только с некоторой степенью достоверности, точности и надежности.

Наряду с элементами сходства НВИЭ следует обратить внимание на принципиальные различия НВИЭ. Так, например, понятие объема речного стока имеет вполне реальный смысл, в то время как соответствующий аналог в ветроэнергетике и гелиоэнергетике отсутствует. Различны и понятие аккумулирования энергии этих источников и роль аккумулирующих устройств. Водохранилище гидроэлектростанции аккумулирует сам энергетический ресурс (водную энергию) и путём регулирования стока формирует режимные параметры и выдачу энергии самой ГЭС, в то время как у ветровой или солнечной электростанций, работающих только по вынужденному режиму прихода энергии, аккумулируется лишь вырабатываемая энергия.

На сегодняшний день в России разработан на высоком научно-техническом уровне практически весь спектр установок преобразования НВИЭ, обеспечивающий реальные потребности страны. Это является результатом многолетней работы, проводимой научными коллективами и проектными организациями в рамках специального направления "Нетрадиционная энергетика" Государственной научно-технической подпрограммы "Экологически чистая энергетика", курируемой Министерством науки и технологий РФ.

Приоритетные проекты, отобранные на конкурсной основе, имеют целью, как правило, создание демонстрационных объектов и пилотных установок с целью их последующего тиражирования в производстве и у потребителей.

Таким демонстрационным полигоном является, в частности, Московский парк "Фили", где работают различные отечественные и зарубежные ветроустановки, солнечные фотопреобразователи, тепловые насосы и другие установки, преобразующие НВИЭ. Подобные центры созданы и создаются в Москве, Барнауле, Новосибирске, Санкт-Петербурге, Владимире, Бурятии и др. регионах. Многие из российских разработок НВИЭ не только соответствуют мировому техническому уровню, но и превосходят его по ряду параметров. Так, фотоэлектрореобразователи из моно- и поликристаллического кремния имеют устойчивый КПД – 16% при стоимости модуля мощностью 50 Вт около 5 долл./Вт (пик), что соответствует средней стоимости подобных преобразователей на мировом рынке. Цель реализуемого в настоящее время проекта – снизить стоимость до 2-3 долл./Вт.

Реализация этих разработок осуществляется на российских предприятиях ВПК, имеющих достаточную технологическую основу и производственные мощности.

По инициативе Минтопэнерго РФ выпущен каталог производимого оборудования нетрадиционной энергетике. Федеральным центром малой и нетрадиционной энергетике начата работа по сертификации оборудования НВИЭ.

В плане международного сотрудничества с США для энергоснабжения северных территорий получено 30 ветроэнергоустановок мощностью 10 кВт и 10 ВЭУ мощностью 1,5 кВт, установка которых ведется в Архангельской и Мурманской областях, на Чукотке.

В рамках сотрудничества с Данией подготовлен "Ветроэнергетический атлас России", что позволяет регионам более обосновано подходить к выбору площадок для установки ВЭУ.

На повестке дня – комплексное автономное использование НВИЭ в сочетании с обычными энергетическими установками – создание ветродизельных электростанций небольшой мощности, установок по использованию шахтного метана, биомассы с добавлением газового топлива и др.

Представляется наиболее целесообразным создание не отдельных энергоустановок, а комплексных автономных энергетических систем с согласованными параметрами энергопроизводящих и энергопотребляющих частей.

Тем не менее, темп внедрения и коммерциализации НВИЭ может и должен быть существенно увеличен. Реализации этих возможностей препятствуют следующие обстоятельства:

- отсутствие федеральных закона и программы, вводящих в действие меры государственной поддержки и стимулирования развития НВИЭ;
- отсутствие значимой финансовой поддержки со стороны государства, в т.ч. отсутствие в бюджетной классификации специальной строки с разрешением использования части средств на "северный завод топлива" для развития НВИЭ, а также распыление выделяемых средств на большое число различных объектов;
- непроработанность вопроса о государственных гарантиях для привлечения инвестиций в развитие НВИЭ;
- отсутствие специального государственного органа и крупных хозяйственных субъектов, отвечающих за развитие НВИЭ;
- слабая координационная работа с регионами;
- недостаточность количества демонстрационных центров по использованию нетрадиционной энергетики и их слабая техническая и информационная оснащенность;
- слабое использование производителями оборудования новых форм взаимоотношения с потребителями, в том числе различных видов лизинга.

Комплексное освоение местных ископаемых и нетрадиционных возобновляемых источников энергии позволит решить серьёзные социально-экономические проблемы:

- обеспечение бытовых и производственных потребителей на более чем 70% территории России с населением около 22 млн. человек, в настоящее время не охваченных системой централизованного энергоснабжения;
- повышения надежности энергообеспечения всех районов страны за счет создания резервных источников энергии;
- снижение вредных воздействий энергетики на природную среду посредством использования экологически новых и возобновляемых источников энергии и постепенной замены ими традиционных источников с загрязняющими отходами производства.

Экономически целесообразный потенциал органического топлива местных месторождений составляет около 870 млн. т.у.т., а экономически целесообразный потенциал НВИЭ – примерно 270 млн. т.у.т. в год, что позволяет уже в ближайшие годы перевести многие регионы страны на энергообеспечение за

счет энергии НВИЭ, обеспечив их энергетическую независимость. Уже сейчас выявлены большие потенциальные возможности повышения эффективности использования энергии НВИЭ и снижения стоимости получаемой тепло- и электроэнергии за счет совершенствования конструкций оборудования и установок по преобразованию энергии возобновляемых источников, а также оптимально выбранных технологий, дающих возможность улучшению физико-механических свойств материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные показатели по повышению рабочего ресурса.

В этой связи теоретические и экспериментальные подтверждения обоснованных технических и технологических решений, направленных на разработку технологического оборудования преобразования энергии нетрадиционных возобновляемых источников представляет собой задачу, решение которой вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса.

В заключение данной главы конкретизированы задачи настоящих исследований.

Вторая глава представляет собой основные положения базовых принципов проектирования комбинированных автономных энергосистем по преобразованию нетрадиционных возобновляемых источников энергии, в первой главе уже было отмечено о существенных особенностях НВИЭ и о тех недостатках, которыми они характеризуются. С этой точки зрения КАЭС нельзя рассматривать как просто автоматическую систему и проектировать её, используя только методы теории автоматов. КАЭС необходимо классифицировать как кибернетическую систему, концептуально допускающую в едином процессе функционирования равноправие всех технических средств.

Можно выделить четыре основных этапа проектирования КАЭС. Каждый этап отражает свойства и характеристики структуры КАЭС соответствующие рассматриваемому этапу и отличающийся степенью детализации.

Первый этап, названный предварительный, предусматривает обоснование комбинированного вовлечения НВИЭ в топливно-энергетический баланс региона, области, района и т.д. (рис. 1). Этот этап имеет определяющее значение для всех последующих этапов. Задача проектирования на этом этапе решается на основе системного подхода. Предварительный этап заканчивается обоснованием схемного решения КАЭС (рис. 2). Схемное решение КАЭС не содержит рекомендаций о том, как эти требования могут быть реализованы в процессе проектирования и каких затрат потребует создание КАЭС с требуемыми характеристиками.

На втором этапе проектирования КАЭС вырабатываются основные принципы построения технических средств КАЭС, общая структура и основные элементы, уточняются и контролируются требования по техническим данным элементов, производится оценка технической реализуемости модели, ориентировочная оценка надежности и эффективности. Это помогает исключить возможность грубых принципиальных ошибок при проектировании (рис. 3).



Рис. 1. Схема комбинированного вовлечения НВИЭ в топливно-энергетический баланс

Третий этап соответствует техническому проектированию, при котором выбирается элементная база, и разрабатываются принципиальная, монтажная схемы и другая техническая документация.

Четвертый этап предусматривает решение задач конструирования как отдельных блоков, так и технических средств в целом.

Принятые технические решения проверяются экспериментально в процессе выполнения лабораторных, стендовых, полевых и прочих испытаний. Анализ и обобщение мирового опыта по использованию энергии возобновляемых источников подтверждает необходимость и целесообразность объединения двух и более установок, работающих на различных НВИЭ в комбинированные автономные энергосистемы небольшой и средней мощности.

Комбинированное автономное использование энергоисточников НВИЭ – это наиболее эффективный способ энергообеспечения изолированных потребителей. Для совместной работы в энергосистеме могут применяться дизельные и газотурбинные агрегаты, солнечные, ветроэнергетические и биогазовые установки, малые ГЭС и пр.

На рис. 4 в качестве примера, представлена общая схема КАЭС с использованием энергии от различных возобновляемых источников энергии. Естественно, структура КАЭС и её блоков питания электрической и тепловой энергией весьма гибка и будет меняться в зависимости от потенциальных возможностей отдельных видов НВИЭ в данном районе региона, страны, экономичности их работы, характера нагрузок и пр.

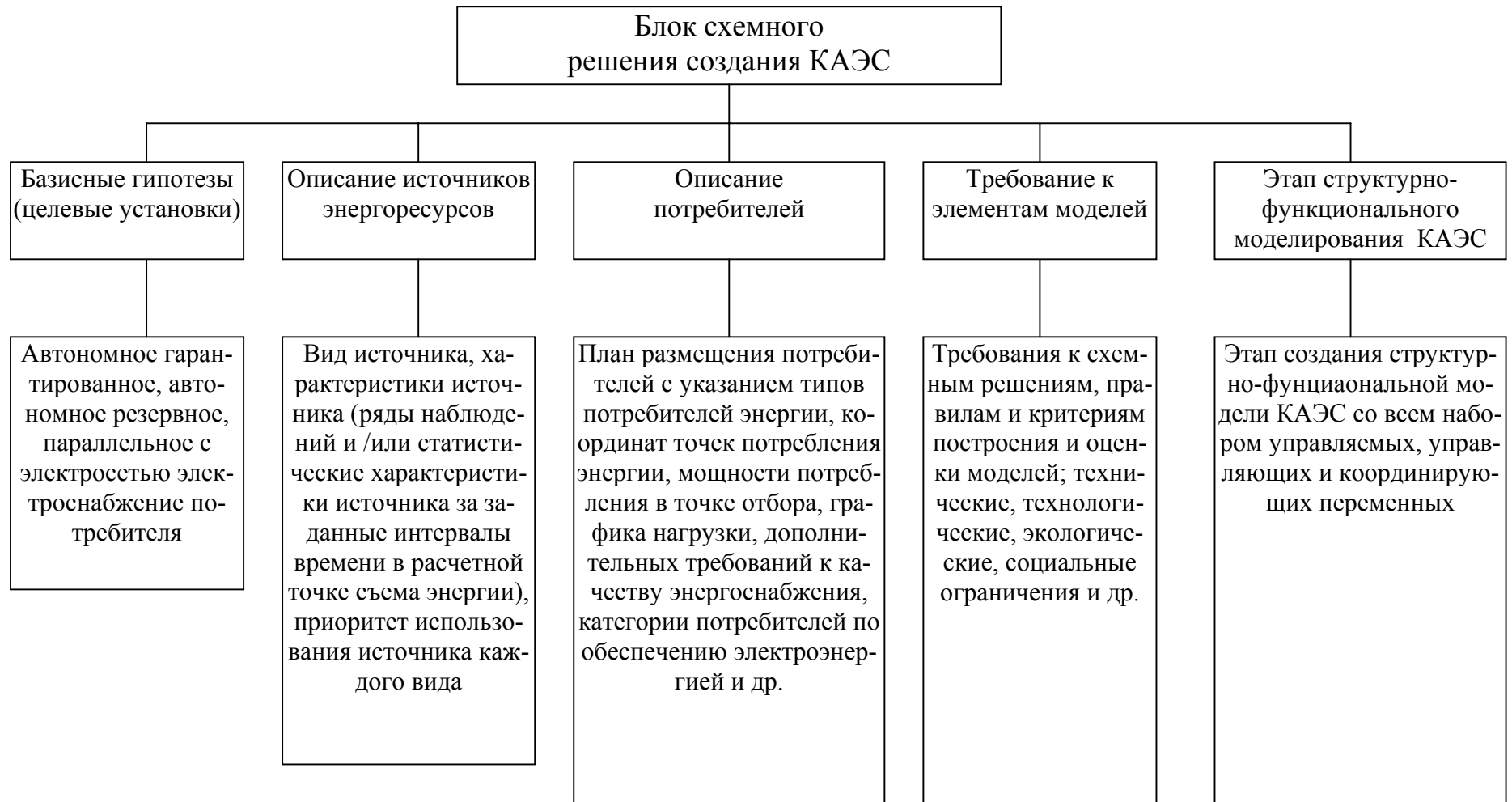


Рис. 2. Схемное решение создания КАЭС

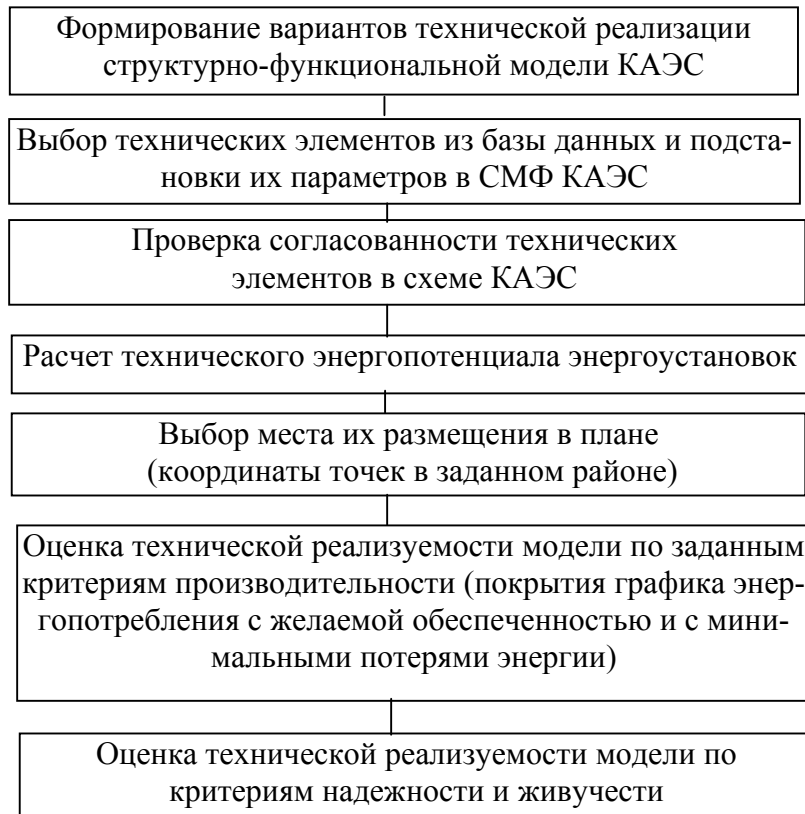


Рис. 3. Создание структурно-функциональной модели КАЭС

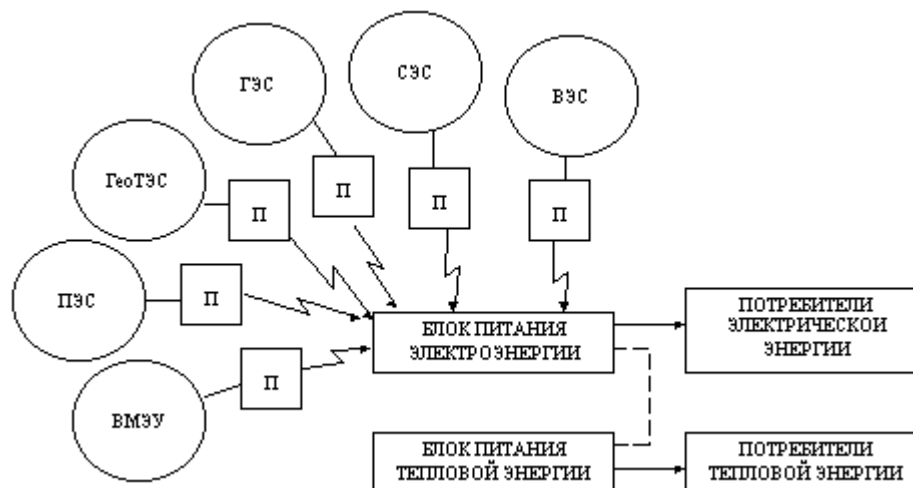


Рис. 4. Общая схема КАЭС с НВИЭ: БПЭ включает фото- и термопреобразователи, аккумуляторы, преобразователи тока и пр.; БПТЭ включает гелиокотлы, гелиотеплицы, тепловые трубы, тепловые насосы и пр.

Использование различных энергетических ресурсов для выработки электрической и тепловой энергии – важный резерв энергосбережения в народном хозяйстве. Основная необходимость объединения различных энергоустановок и комбинированное автономное использование НВИЭ обусловлено перемен-

ным характером возникновения первичной энергии, а также проблемой аккумуляции и резервирования последней. Такой подход позволяет решить некоторые важные задачи энергетики:

- создание локальных источников электро- и теплоснабжения удаленных потребителей;
- децентрализация тепло- и электроснабжения, повышение их ресурсообеспеченности и надежности;
- широкое использование местных источников энергии;
- обеспечение экологической безопасности производства и потребления энергии для нужд производства, сельского хозяйства и жилищно-коммунальной нагрузки.

Вопросам комплексного использования НВИЭ посвящены работы Арефьева Н.В., Богуславского Э.И., Виссарионова В.И., Васильева Ю.С., Денисенко Г.И., Елистратова В.В., Бута Д.А., Зубарева В.В. и др.

Анализ работ, связанных с комбинированным использованием НВИЭ, показал, что наибольшее число таких исследований связано с солнечными и ветроэнергетическими установками или же с ветроэнергетическими и дизельными установками для энергоснабжения автономных потребителей.

Одна из основных технологических особенностей КАЭС заключается в одновременности процессов производства, распределения и потребления энергии, проводящей к тому, что нельзя произвести энергию, не имея потребителей для неё. В каждый момент времени в энергосистеме должен соблюдаться баланс генерируемой и потребляемой мощности. Из технологических особенностей КАЭС вытекают требования к их работе. В нормальных условиях комбинированные автономные энергосистемы должны полностью удовлетворять запросам потребителей в энергии. Структура КАЭС с НВИЭ и её режимы должны обеспечить наибольшую экономичность выработки, передачи и потребления энергии. Определенные требования предъявляются к качеству энергии, так как оно влияет на технико-экономические показатели работы приемников энергии и элементов энергосистемы. Весьма важным является требование надежности энергоснабжения.

Возрастающая самостоятельность отдельных областей и регионов России в экономическом и промышленном развитии уже сейчас обуславливает и формирование собственной энергетической политики. Это особенно актуально и естественно, так как многие регионы России не имеют собственной базы минеральных сырьевых ресурсов, а также весьма часто сталкиваются с серьезными экономическими проблемами.

На рис. 5 схематически показан процесс принятия решения для комбинированного использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии с учетом всех специфических условий, обусловленных истощением и удорожанием органического топлива, загрязнением окружающей среды и пр. в России.



Рис. 5. Процесс принятия решения для комбинированного использования НВИЭ

Сложность комбинированного вовлечения НВИЭ в энергобаланс региона обуславливается индивидуальной для каждого региона структурой и ресурсной базой НВИЭ. Даже после определения в результате оценок топливно-энергетического баланса региона возможной доли НВИЭ, останется открытым вопрос о том, с помощью каких источников возобновляемой энергии следует замещать эту долю. В соответствии с этим необходимо прежде всего иметь набор методик мобильной оценки ресурсов энергии требуемого района, места, региона в целом с тем, чтобы затем можно было определить возможную долю каждого из источников НВИЭ (рис. 6). Методики должны адекватно отражать реальный процесс прихода и распределения энергии, быть легко настраиваемые на требуемые условия преобразования и должны быть ориентированы на, распространенный тип компьютера.

Использование вычислительной техники в значительной степени упростит работу технологов и проектировщиков за счет увеличения скорости обработки данных и числа рассматриваемых вариантов. Использование адаптивных систем автоматизированного проектирования (САПР), программ моделирования, специализированных баз данных (БД), экспертных систем (ЭС), позволяют существенно снизить трудозатраты проектирования и повысить качество проекта.

С целью апробации теоретических аспектов комбинированного использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии и разработки прикладных рекомендаций по внедрению КАЭС на рынок энергетического оборуду-

дования автором были разработаны основные структурно-функциональные схемы комбинированных автономных энергетических систем. Схемы некоторых из них приводятся ниже.

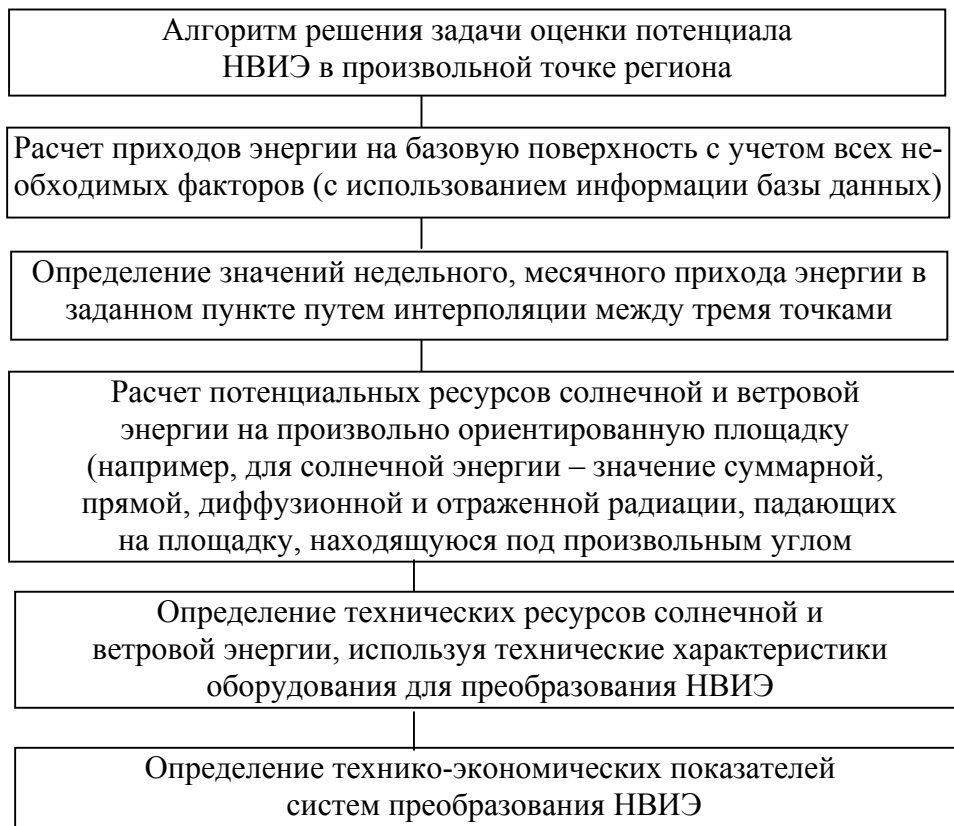


Рис. 6. Алгоритм решения задачи по определению возможной доли потенциала НВИЭ в произвольной точке региона (на примере солнечной и ветровой энергии)

Схема такой КАЭС приведена на рис. 7. Из данной схемы ясно, что гелиоветровая установка может быть использована для производства горячей воды при отсутствии солнца или при низких температурах окружающей среды (воздуха). При наличии солнца вода, циркулирующая через бак 8 холодной воды и гелионагреватель 1, нагревается. При этом температурный датчик 11 соединяет посредством трехходового вентиля 10 дроссель 6 с испарителем 7 и отключает этим же трехходовым вентилем 10 воздухоохладитель 9. Компрессор 3, приводимый в движение ветродвигателем 2, отсасывает хладагент из испарителя 7 по линии 14 и нагнетает их в конденсатор 4, в котором они превращаются в жидкое состояние. Выделяющаяся теплота конденсации паров хладагента идет на нагрев воды в баке-аккумуляторе 5. Жидкий хладагент из конденсатора 4 поступает через дроссель 6, трехходовой вентиль 10 и линию 12 в испаритель 7, в котором кипит при низком давлении, отбирая тепло от нагреваемой солнечной энергией воды, циркулирующей через бак 8 холодной воды. Далее рабочий цикл повторяется. При отсутствии солнца или отрицательных температурах наружного воздуха температура воды в баке 8 снижается, и при достижении $+2^{\circ}\text{C}$ трехходовой вентиль посредством тем-

пературного датчика 11 отключает дроссель 6 испаритель 7 и подключает к нему воздухоохладитель 9. При этом жидкий хладагент после дросселя 6 поступает в воздухоохладитель 9, в котором кипит при низком давлении, отнимая низкотемпературное тепло от окружающего воздуха. Образующиеся при этом пары хладагента отсасываются из воздухоохладителя 9 компрессором 3 и направляются в конденсатор 4, в котором, конденсируясь, нагревают воду, находящуюся в баке-аккумуляторе 5 горячей воды.

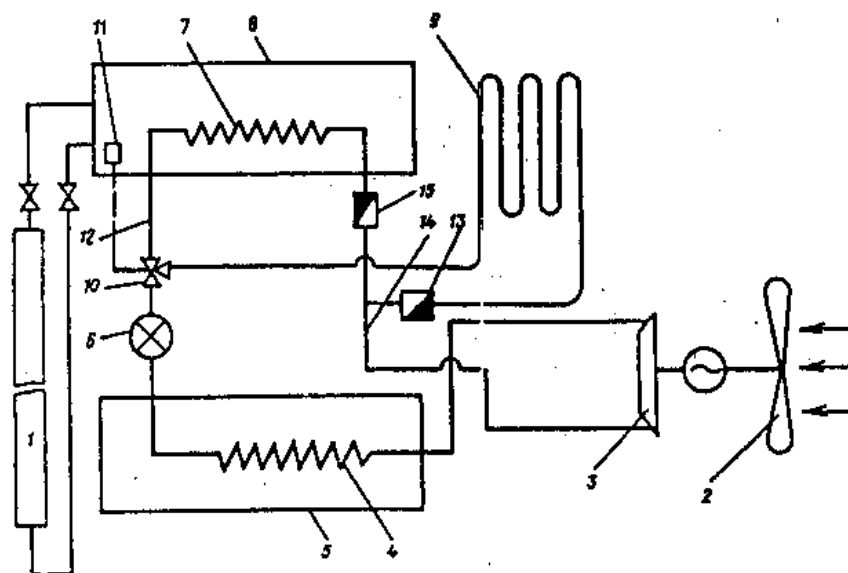


Рис. 7. Схема гелиоветровой установки: 1 – гелионагреватель; 2 – ветродвигатель; 3 – компрессор; 4 – конденсатор; 5 – бак-аккумулятор; 6 – дроссель; 7 – испаритель; 8 – бак холодной воды; 9 – воздухоохладитель; 10 – вентиль; 11 – температурный датчик; 12, 13, 14, 15 – линии

При использовании гелиоветровой установки экономится расход топлива, необходимого для производства тепла и электроэнергии.

Предельно низкая шумность работы Стирлинга позволила автору спроектировать энергетическую систему для эксплуатации непосредственно в жилых и хозяйственных помещениях. Данная теплоэнергетическая часть КАЭС представлена на рис. 8.

Теплоэнергетическая система предназначена для обеспечения индивидуального дома (коттеджа) электрической, тепловой энергией и горячей водой. Теплоэнергетическая система выполнена в виде двух взаимосвязанных блоков: теплового котла (ТК) и блока аккумулирования тепловой энергии (БАТ) (рис.8).

Тепловой котел включает в себя: двигатель Стирлинга, спаренный с генератором электрического тока, газовую горелку с принудительной подачей воздуха, трубчатый воздухоподогреватель, трубопроводы подвода и отвода воды, воздуха, продуктов сгорания. Указанные конструктивные элементы размещены внутри емкости, окруженной водяной рубашкой, которая, в свою очередь покрыта теплоизоляционной оболочкой.

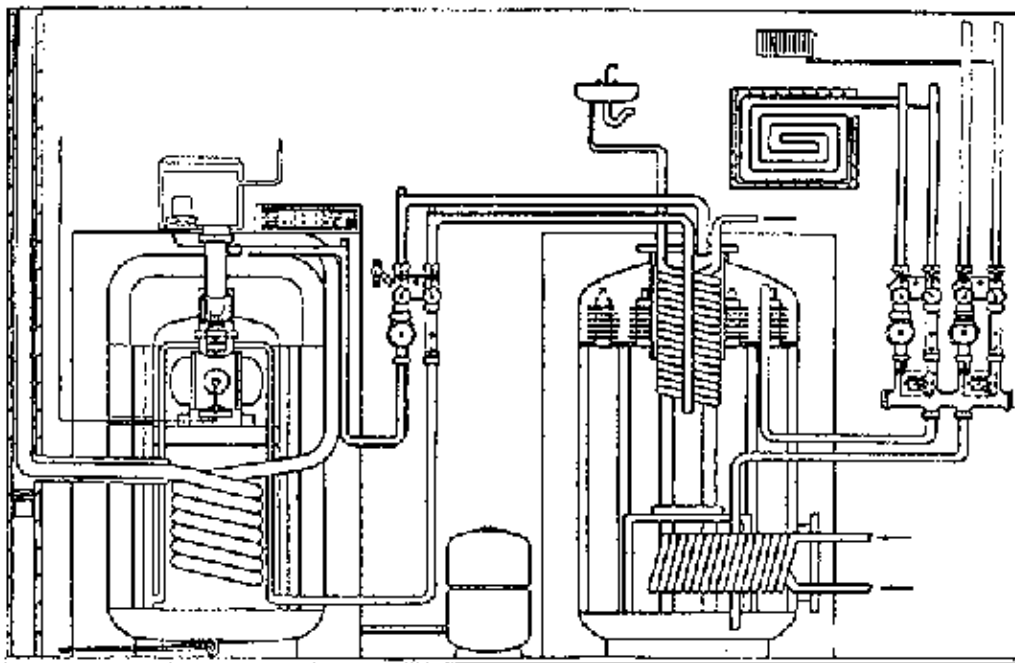


Рис. 8. Электротеплоэнергетическая часть КАЭС для обеспечения индивидуальных потребностей электрической, тепловой энергией и горячей водой

Блок аккумуляции тепловой энергии также представляет собой емкость, внутри которой размещены стержневые капсулы с набивкой, способной аккумулировать тепловую энергию. Кроме капсул в емкости размещены, два теплообменника. Один из них служит для нагрева проточной холодной воды, второй – для ввода в емкость тепловой энергии, накопленной в солнечном коллекторе. Емкость заполняется водой. К емкости через блок арматуры подключены приборы для регулируемого обогрева помещений коттеджа. Оба блока соединены между собой подводящими и отводящими воду трубами.

Система работает следующим образом. Часть тепловой энергии (~20%), получаемой при сжигании газообразного топлива внутри котла, расходуется на получение электрической энергии, вырабатываемой стирлинг-генератором. Остальная энергия, содержащаяся в продуктах сгорания, идет на нагрев воды в водяной рубашке и подогрев воздуха, подаваемого в газовую горелку. Нагрев воды и воздуха осуществляется при движении продуктов сгорания из камеры сгорания по трубам, проходящим через водяную рубашку, в полость под моторным отсеком и далее в выпускную трубу.

Из котла горячая вода поступает в блок аккумуляции тепловой энергии и далее, либо на питание отопительных приборов, если они включены, либо, отдав тепло аккумулирующим стержневым капсулам, поступает снова на вход теплового котла.

Рассмотренная система работоспособна, компактна.

В настоящее время, как уже было отмечено, имеется широкая номенклатура выпускаемого отечественного оборудования и установок нетрадиционной и малой энергетики, которые могут найти применение и уже применяются на практике. Анализ, проделанный автором, показал, что для создания комбини-

рованных автономных энергосистем, данное оборудования и установки не отвечают современным требованиям в силу их весьма высокой материалоемкости, низкого КПД, чрезвычайно малого ресурса работы и невысокой надежности, в этой связи перед автором была поставлена задача разработки нового, современного оборудования и установок, устраняющих выше названные недостатки. Эта задача была решена в третьей главе настоящей диссертации.

В третьей главе исходя из фундаментальных основ конструирования энергетических систем и представления КАЭС как весьма сложного технологического комплекса, состоящего из разнохарактерных установок автор разработал и изготовил действующие образцы энергетического оборудования:

1. Стирлинг-генератор (СГ) для КАЭС.

Необходимо отметить, что большинство созданных, как в России, так и за рубежом маломощных (до 1 кВт) конструкций двигателя Стирлинга представляют не практический, а академический познавательный интерес.

При проектировании и изготовлении Стирлинг-генератора была выбрана компоновка Стирлинга α -модификации. Эта модификация включает V-образные двигатели, рабочая полость которых распределена между двумя цилиндрами, в одном из которых находится горячая полость, а в другом – холодная. Регенератор находится между двумя цилиндрами.

На рис. 9 показана конструктивная схема Стирлинг-генератора, а на рис. 10 его внешний вид.

СГ в представленном виде состоит из 4-х основных частей.

1) Высокотемпературный теплообменный блок с тепловой трубой. Испаритель тепловой трубы выполнен в виде сферической поверхности, площадь которой выбрана из расчета передачи не менее 7-8 кВт теплоты к стенке нагревателя.

2) Рабочий контур СГ, включающий полости расширения и сжатия, нагреватель, регенератор и холодильник.

3) Механическая часть, включающая КШМ, цилиндро-поршневую группу и механизм ручного запуска двигателя.

4) Электрическая часть, включающая электрическую машину, заключенную в специальный герметичный корпус, при этом клеммы машины связаны с внешними электрическими устройствами через особые герметичные выводы.

С целью уменьшения веса в СГ применены в основном высокопрочные алюминиевые сплавы, нержавеющая сталь, рассчитанные с высокой точностью тонкостенные элементы конструкции двигателя, специально разработанная конструкция безболтового крепления колпака электрической машины к картеру двигателя, и т.д. Ограничение потерь теплоты обеспечивается введением в конструкцию различных тепловых барьеров в горячей части двигателя. Благодаря указанным мероприятиям ориентировочный вес СГ в представленном виде не превышает 35-40 кг при минимально возможной площади затенения солнечного концентратора.

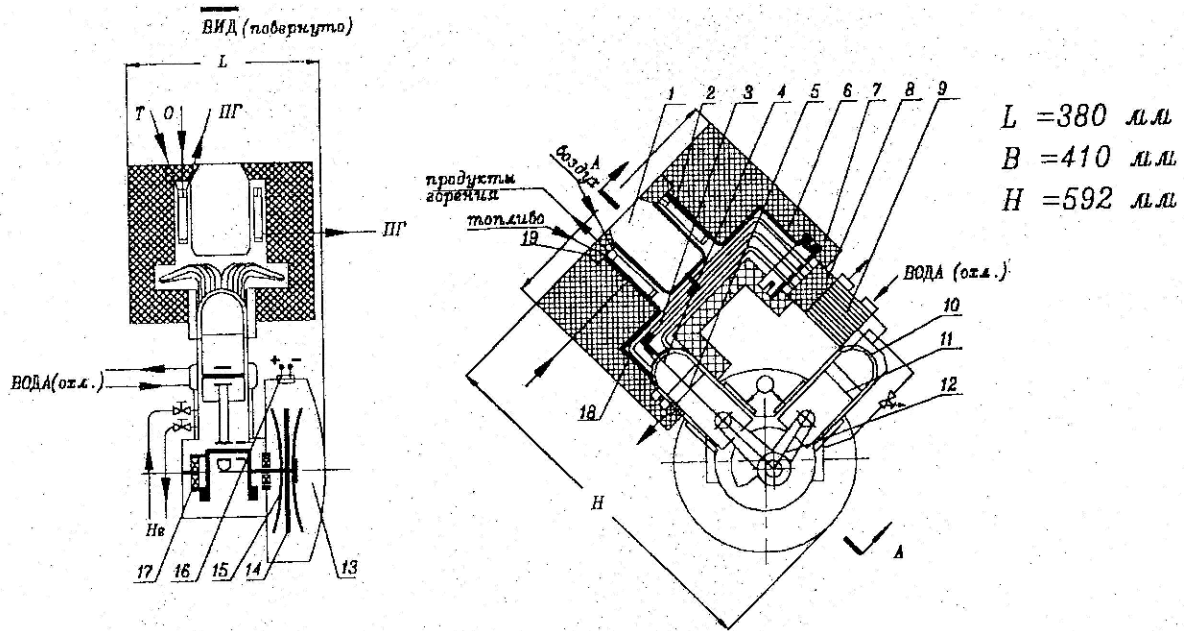


Рис. 9. Конструкторская схема Стирлинг генератора для КАЭС: 1 – солнечная ловушка; 2 – корпус камеры горения; 3 – трубка нагревателя; 4 – полость расширения; 5 – поршень вытеснителя; 6 – корпус тепловой трубы; 7 – тепловая изоляция; 8 – регенератор; 9 – холодильник; 10 – полость сжатия; 11 – рабочий поршень; 12 – шатун; 13 – буферная полость; 14 – диск-маховик; 15 – электрогенератор; 16 – гермовыводы; 17 – подшипники; 18 – рабочее тело тепловой трубы (Na-K)

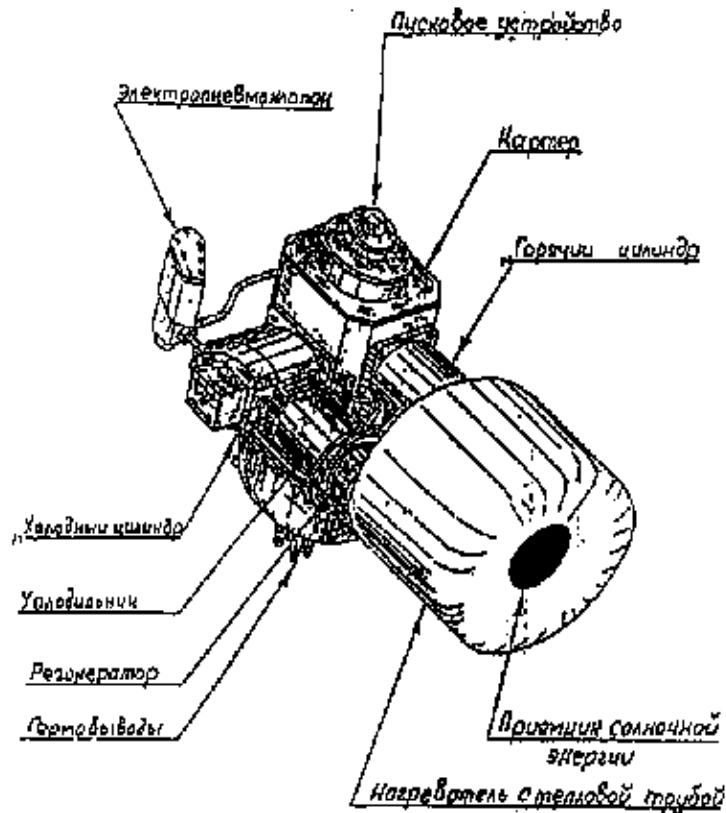


Рис. 10. Эскизный проект внешнего вида Стирлинг генератора для КАЭС

Одним из наиболее важных факторов, определяющих эксплуатационные, характеристики двигателя Стирлинга, является способ передачи теплоты в его внутренний контур. Прямой обогрев трубок нагревателя от фокального пятна солнечного концентратора малоэффективен и опасен из-за большой вероятности прожига нагревателя. По этой причине в настоящем образце использован косвенный подвод теплоты с помощью высокотемпературной тепловой трубы.

Проектирование теплового двигателя невозможно без определения его базовых геометрических размеров: диаметра цилиндра и хода поршня, по которым рассчитывается рабочий объем или литраж двигателя. Указанные базовые размеры могут быть выбраны как, эмпирическим, так и расчетным путем. В данном случае отсутствие достаточного объема опытных данных исключило возможность эмпирического прогнозирования требуемых характеристик мощности и коэффициента полезного действия. Имеющиеся экспериментальные данные целесообразно использовать только как ориентировочные и граничные в процессе расчетно-конструкторских проработок СГ и проведения его экспериментальных исследований.

Для определения указанной размерности двигателя, также размеров, элементов внутреннего (рабочего) контура, построения основных эксплуатационных характеристик, определения энергетического баланса и т.д. используется оригинальная математическая модель рабочего процесса двигателя Стирлинга, разработанная специалистами фирмы WEBER-HARRISON.

Результаты расчета рабочего процесса, наряду с предварительными компоновочными проработками двигателя, необходимы также и для оценки термомеханической прочности наиболее нагруженных деталей и узлов двигателя по другой математической модели.

Расчет рабочего процесса двигателя Стирлинга проведен для трех его размерностей (отношений диаметра цилиндра к ходу поршней): 50/30, 55/30 и 60/30. Как видно из приведенных соотношений, рабочий объем двигателя варьировался только за счет диаметра цилиндра при сохранении хода поршней. Причина этого в резком увеличении размеров двигателя при незначительном, в сравнении с влиянием диаметра цилиндра увеличении его мощности. Кроме того, увеличение хода поршня вызывает повышение динамических нагрузок на приводной механизм двигателя, особенно на направляющие поршней, в которых применяются материалы сухого трения и, как следствие, значительное повышение потерь от механического трения поршней о стенки цилиндров.

Расчетные скоростные и нагрузочные характеристики для вариантов приведены в таблицах 1 и 2.

При проектировании СГ было проведено обоснование работоспособности и были рассчитаны ресурсные показатели основных деталей СГ.

Генерация осесимметричной модели и определение теплового и напряженно-деформированного состояния выполнены с помощью комплекса программ расчета деталей и с помощью метода конечных элементов.

Таблица 1

Скоростные характеристики при $p=4$ МПа для варианта $D/S=50/30$ и $p=5,5$ МПа для вариантов $D/S=55/30$ и $60/30$

Термодинамические характеристики	№ варианта при соответст. D/S	Частота вращения вала, об/мин.				
		1000	1500	2000	2500	3000
Мощность, кВт	1 (50/30)	0,89	1,25	1,61	1,96	2,25
	2 (55/30)	1,49	2,15	2,77	3,34	3,67
	3 (60/30)	2,0	2,89	3,7	4,44	5,1
КПД, %	1 (50/30)	34,0	37,1	38,8	39,7	38,7
	2 (55/30)	39,1	41,1	41,6	41,5	41,2
	3 (60/30)	41,7	43,0	43,1	42,6	41,6

Таблица 2

Нагрузочные характеристики при частоте вращения 3000 об/мин

Термодинамические характеристики	№ варианта при соответст. D/S	Среднее давление во внутреннем контуре, МПа					
		2	3	4	5	5,5	6
Мощность, кВт	1 (50/30)	1,16	1,72	2,25	2,83	3,1	3,37
	2 (55/30)	1,42	2,12	2,81	3,5	3,67	4,19
	3 (60/30)	1,86	2,78	3,7	4,62	5,1	5,53
КПД, %	1 (50/30)	35,1	38,3	38,7	41,0	41,3	41,6
	2 (55/30)	36,0	38,6	39,9	40,6	41,2	41,1
	3 (60/30)	37,5	39,7	41,0	41,4	41,6	41,8

В табл. 1-2 обозначения D и S соответственно – диаметр цилиндра и ход поршня

Для составления энергетического баланса по двигателю Стирлинга, как источнику наибольших потерь подведенной к нему эксергии, потери определялись на основании двух математических моделей: модели расчета рабочего процесса и модели расчета термомеханических характеристик конструкции двигателя Стирлинга. При этом в математической модели рабочего процесса рассчитывались в основном термодинамические и гидравлические потери, а в термомеханической модели определялись потери от утечки теплоты по конструкции и оценивались потери от механического трения в элементах движения приводного механизма и цилиндра-поршневой группы.

Автором проведены исследования по использованию различных рабочих тел в контуре Стирлинга (гелия, водорода, воздуха). Из рис. 11 следует, что водород является наиболее подходящим рабочим телом. Водород свободно диффундирует через большинство металлов, если этот газ будет использован в двигателе Стирлинга, то в результате диффузии будет происходить постоянное снижение мощности двигателя. Гелий, напротив, не имеет подобных ограничений. Некоторая потеря эффективного КПД при использовании гелия незначительна по сравнению со всеми его преимуществами.

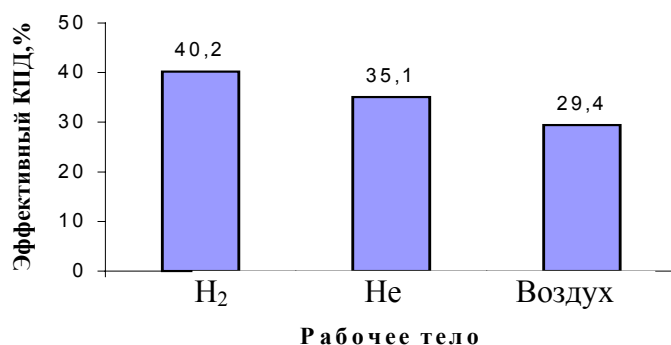


Рис. 11. Зависимость эффективного КПД двигателя от выбора рабочего тела

Двигатель Стирлинга не требует системы зажигания, отсутствуют выхлопные газы и нет резких изменений давлений газа в цикле. Это ведет к тому, что в энергетической установке отсутствует шум и возмущения, которые могли бы вызывать нежелательную вибрацию всей системы.

Автором доказано, что двигатели Стирлинга, вследствие особенностей рабочего процесса, обладают, по сравнению с известными в настоящее время другими тепловыми двигателями, низкой токсичностью продуктов сгорания по всем компонентам и особенно по окислам азота и углерода при их работе на любом, известном углеводородном топливе (жидком, газообразном, твердом). Было проведено исследование по сопоставлению токсичных составляющих отработавших газов в двигателях различного типа, результаты исследования снесены в табл. 3.

Таблица 3
Содержание токсичных компонентов в выпускных газах двигателей

Двигатели	Содержание компонентов, мг/л.с.с		
	NO	CO	C ₆ H ₁₄
Двигатель Стирлинга	0,1-0,2	0,05-0,2	0,0015-0,009
Газовая турбина (с регенеративным теплообменником)	0,7-2,0	2,0-3,6	0,012-0,072
Дизель	0,4-2,0	0,2-5,0	0,6-12
Бензиновый двигатель	0,6-2,0	40-100	15-120

Поскольку непрерывное сгорание происходит в пространстве, обогащенном воздухом, а камера сгорания имеет определенную конструкцию, количество несгоревших углеводородов становится пренебрежимо малым, а содержание окиси углерода очень низким.

Уникальные возможности бесчисленных конструктивных воплощений двигателей Стирлинга по способам подвода и отвода теплоты, применению различных типов рабочих тел и топлив, простота и надежность запуска при экстремально низких температурах, простота технического обслуживания и эксплуатации открывают широкие возможности использования этой тепловой машины в КАЭС с применением НВИЭ.

2. Ветроэнергетическая установка со спиральными лопастями

Автором на кафедре ВИЭГ СПбГТУ совместно с коллегами разработана и выполнена в виде действующего макета новая ветроэнергетическая установка малой мощности, которая может работать как в автономном режиме, так и в составе КАЭС.

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) является воздухоподъемным ротором, который состоит из двух идентичных спиральных лопастей (рис. 12). Эти лопасти принимают форму дуги в аксиальном и радиальном направлениях. Спиральная дуга является независимой от направления ветра и имеет по сравнению с обычными ветровыми установками значительно более высокий КПД, так как ее индуцированное сопротивление весьма незначительно. Благодаря особой конструкции ВЭУ способна выдерживать весьма высокие скорости ветра без разрушения спиральных лопастей и без опасности "прогиба" несущей конструкции спиральных лопастей и мачты, на которую может быть установлена ВЭУ.



Рис. 12. ВЭУ со спиральными лопастями

Проведенные испытания показали, что изменения направления ветра не сказываются отрицательно на функциональные возможности ВЭУ, в связи с тем, что ВЭУ выверяется самостоятельно по направлению ветра, без участия какой-либо дополнительной управляющей системы или автоматики.

Благодаря преимуществам конструктивного исполнения формы ротора ВЭУ (ротор как бы имеет бесконечное протяжение, за счет формы, построенной спирально по поверхности шара), установку можно использовать за "пределами" специфических ветровых регионов, т.е. ВЭУ можно эффективно использовать как на "слабых" ветрах, так и в местах с "искусственно" создаваемыми ветрами, например, вдоль оживленных автомобильных трасс или железнодорожных линий, где образуются так называемые "проездные" ветры.

Низкий уровень шума (благодаря имитируемой бесконечности формы флюгера – шум на концах флюгера отсутствует) позволяет использовать новые ВЭУ в густо населенных районах – в этом их прямое использование потребителями.

Исполнение ВЭУ как высокооборотного агрегата позволяет напрямую приводить электрогенераторы в действие (безредукторная передача), а это ведет к отсутствию потерь при механической передаче и, таким образом, дальнейшей оптимизации производительности.

3. Электрическая машина обратимого типа с постоянными магнитами

Нами, с главным конструктором Лисейкиным В.П. была разработана простая, высоко технологичная и оригинальная конструкция дисковой, вентильной электрической машины обратимого типа. Данная машина не содержит электротехнической стали и имеет уменьшенное удельное содержание медного обмоточного провода. Корпусы данных электрических машин и их роторные диски могут изготавливаться из пластмасс или алюминиевых сплавов. В качестве постоянных магнитов применяются магниты из феррита бария и стронция или магниты, выполненные на основе редкоземельных металлов: самарий - кобальт, неодим - железо - бор.

На рис. 13 показана принципиальная конструкция дисковой бесколлекторной электрической машины. Удельные показатели таких машин в 1,5-2,5 раза выше, чем у обычных асинхронных машин и достигают 1-1,5 кВт/кг по удельной мощности и 0,5-2 Нм/кг по удельному крутящему моменту. Немаловажной характеристикой таких машин является ее возможность регулирования скорости вращения от нуля до номинальных величин. Коэффициент полезного действия таких машин достигает 0,92-0,97.

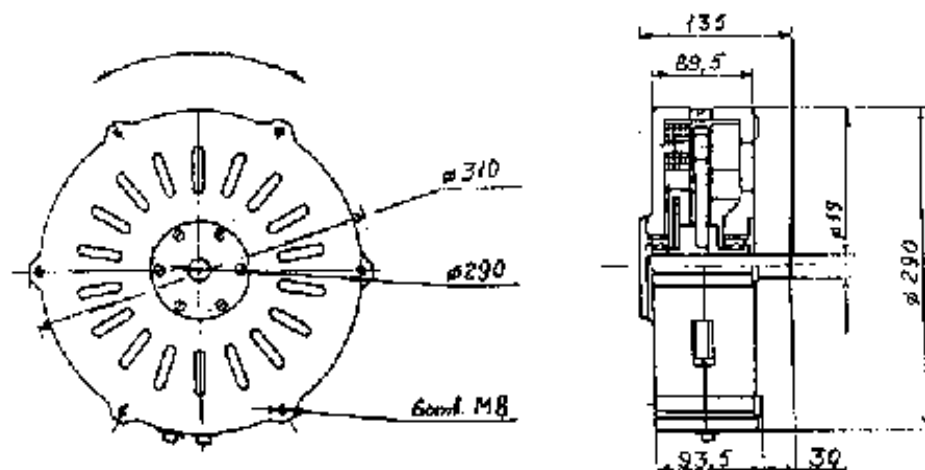


Рис. 13. Принципиальная конструкция дисковой бесколлекторной электрической машины

Проведенные испытания показали, что наличие высокого пускового момента, высокие скорости вращения дискового ротора и широкий диапазон его регулирования, понижение уровня излучения электромагнитных полей и акустического шума, а также возможность выдерживать большие нагрузки и перегрузки, сохраняя весьма высокий КПД, открывают широкую перспективность применения бесколлекторных электрических машин в КАЭС.

4. Двигатель внутреннего сгорания, работающий на продуктах переработки возобновляемых ресурсов

Автором совместно с коллегами был разработан, спроектирован и построен макет двигателя внутреннего сгорания со смежно работающими цилиндрами

и искровым зажиганием с использованием НВИЭ (метанола, рапсового масла, скипидара и пр.) (рис. 14).

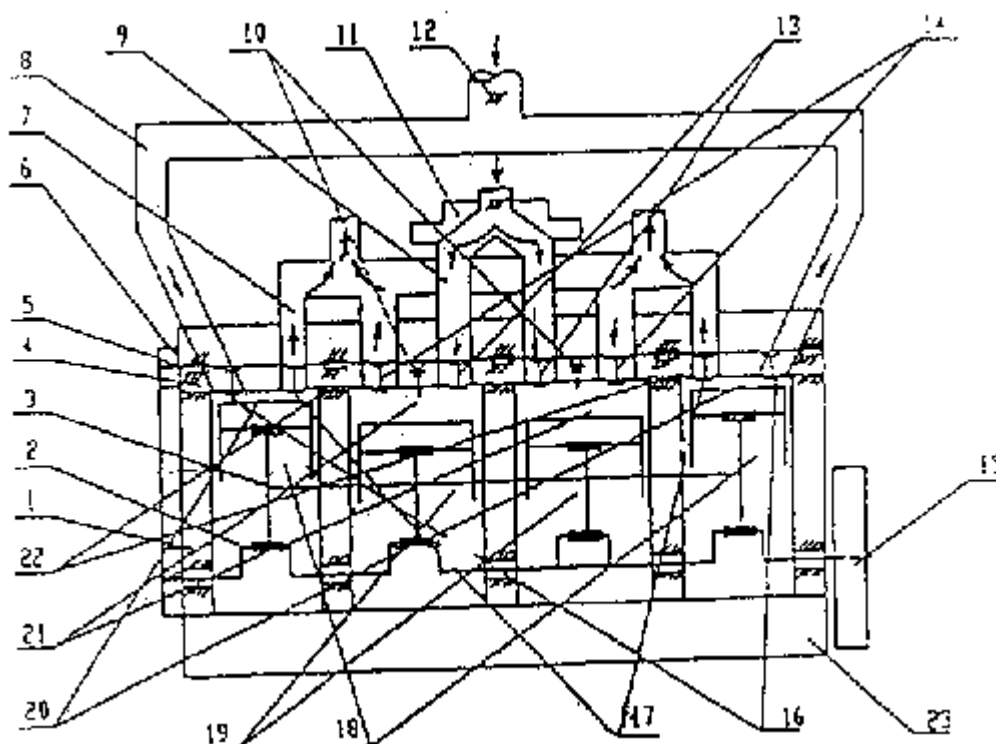


Рис. 14. Принципиальная схема ДВС со смежно работающими цилиндрами и искровым зажиганием: 1 – блок цилиндров; 2 – коленчатый вал; 3 – шатуны; 4 – головка блока; 5 – кулачковый вал; 6 – привод; 7, 8, 9 – выпускные и впускные коллекторы; 10 – свечи зажигания; 11 – карбюратор; 12 – воздушная заслонка; 13, 14 – впускные и выпускные клапаны; 15 – маховик; 16, 17 – впускные и выпускные клапаны; 18, 19 – поршни; 20, 21 – камеры сгорания; 22 – канал; 23 – картер

ДВС со смежно работающими цилиндрами и искровым зажиганием представляет собой блок цилиндров (цилиндры со свечами зажигания и цилиндры без свечей зажигания), головку блока цилиндров, устройство топливоподачи, кривошипно-шатунный механизм (КШМ), газораспределительный механизм (ГРМ), цилиндропоршневую группу (ЦПГ), впускной и выпускной коллекторы, картер и маховик.

Камеры сгорания цилиндров без свечей зажигания и камеры сгорания цилиндров со свечами зажигания образуют общие камеры сгорания смежно работающих цилиндров.

Работа ДВС происходит путем его запуска стандартным способом пуска двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием. При этом рабочее тело по коллектору 9 и коллектору 8 поступает в цилиндры, где сжимается до заданных степеней сжатия: в цилиндре со свечами зажигания – 6,5 ед., в цилиндре без свечей зажигания – 25 ед. В заданный момент поворота коленчатого ва-

ла (п.к.в.) происходит искро-образование между контактами свечи зажигания 10 и рабочее тело воспламеняется, а в цилиндре без свечи зажигания сжатие рабочего тела происходит до величин, соразмерных давлению горящих газов в смежном цилиндре. При прохождении поршнем 19 верхней мертвой точки (в.м.т.) процесс горения происходит только в камере 21.

При конструировании выше описанного ДВС были использованы все детали и узлы от двигателя Горьковского автозавода ГАЗ-21 с габаритными размерами 690x740x490 мм. Двигатель рядный, четырехцилиндровый с искровым зажиганием, четырехтактный, с "мокрыми" гильзами. Порядок работы цилиндров 1-й и 2-й через 360° п.к.в. – 3-й и 4-й. Верхнее расположение клапанов по два на цилиндре, направление вращения – правое. Рабочий объем 2,5 литра с диаметром цилиндров 92 мм и ходом поршня 92 мм. Поршни и головка блока цилиндров выполнена из алюминиевых сплавов с зазором в 1-м и 4-м цилиндрах между головкой блока и поршнем в в.м.т. – 1,2 мм. Межцентровое расстояние между верхней и нижней головками шатунов: во втором и третьем цилиндрах – 170 мм, в первом и четвертом цилиндрах – 185 мм. Двигатель оснащен карбюратором К-133 и воздушной заслонкой во впускном тракте 1-го и 4-го цилиндров.

Двигатель изготовлен, обкатан и опробован на различных видах топлива (бензин, дизельное топливо, скипидар, рапсовое масло).

5. Установка для получения биотоплива для дизельных транспортных и стационарных машин

Проблемы использования биомассы в энергетике не исчерпываются переработкой отходов городского и сельского хозяйства, а также промышленного производства.

В Германии и Дании используется в качестве топлива для дизельных двигателей смесь традиционного дизельного топлива (90%) и рапсового масла (10%).

На кафедре ВИЭГ СПбГТУ автором разработан для Германии экспериментальный проект децентрализованной установки для изготовления биотоплива "БИОНОЛЬ" для дизельных транспортных и стационарных машин.

Схема децентрализованной установки для изготовления биотоплива из рапсового масла представлена на рис. 15. Производительность установки рассчитана на получение 250000 литров рапсового масла из 600 тонн масляничного семени рапса в год. Рапсовый шрот, образующийся при получении масла, можно использовать в качестве корма в сельском хозяйстве.

В масштабах Германии использование 10%-ных добавок рапсового масла к дизельному топливу потребует около 900 тыс. га сельскохозяйственных площадей для культивации этого масляничного растения. Добавление рапсового масла, практически не сказывается на повышении затрат на топливо.

Применение в качестве энергоносителя рапсового масла целесообразно, как с экологической (понижение содержания серы), так и с энергополитической (уменьшение зависимости от стран-поставщиков нефти) точек зрения, особенно

для Германии.

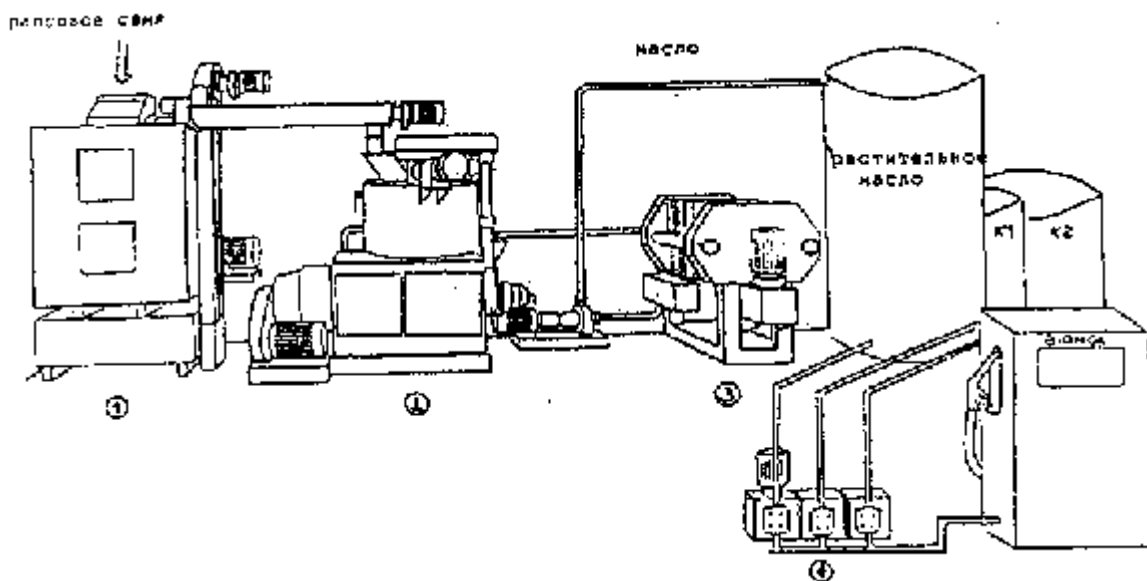


Рис. 15. Промышленная установка для получения биотоплива из растительной массы (рапса) для дизельных транспортных и стационарных машин: 1 – флокировочная машина; 2 – маслопресс с предварительным подогревом; 3 – маслофильтры; 4 – дозировочные насосы для компонентов бионоля; К₁, К₂ – компоненты бионоля

Автором предложены и разработаны новые перспективные установки по преобразованию НВИЭ, отличающиеся от имеющихся в настоящее время образцов более высоким качеством. Известно, что качество машины, установки, оборудования – довольно емкое понятие. Оно включает такие компоненты, как КПД, производительность, точность, металлоёмкость, надежность, ремонтнопригодность, удобство и легкость управления в обслуживании, ресурс работы и др. Безусловно, качество любой конструкции закладывается конструктором при проектировании выбором рациональных схем и многими другими факторами. Технологи обязаны возможно полнее воплотить замыслы конструкторов, определить более целесообразные материалы и методы достижения качества деталей в конструкциях.

Выбор материалов для изготовления деталей оборудования и конструкций применяемых при преобразовании энергии возобновляемых источников определяется условиями работы последних, назначением конструкций, технологическими, производственными и экономическими соображениями.

Так, например, среди машиностроительных материалов первостепенное значение имеют стали и чугуны, нашедшие широкое применение в весьма ответственных деталях двигателей Стирлинга и ДВС, работающего на продуктах переработки возобновляемых ресурсов. Выбор материалов для изготовления коленчато-шатунного механизма, технология его изготовления и методы его упрочнения являются важнейшим условием в повышении надёжности работы и увеличении ресурса этих конструкций.

В этой связи перед автором была поставлена задача по определению материалов и упрочнения последних с целью увеличения ресурсных характеристик конструкций преобразования НВИЭ.

Эта задача была решена в главе четвертой настоящей диссертации.

Четвертая глава посвящена актуальным вопросам повышения надежности и долговечности оборудования и установок по преобразованию энергии возобновляемых источников за счет оптимально выбранных и рекомендованных упрочняющих технологий, существенно улучшающих эксплуатационные свойства материалов, применяемых при создании энергетического оборудования.

Классические стационарные способы термического упрочнения металлов и сплавов, состоящие традиционно из операций нагрева, выдержки и охлаждения не одинаково, а иногда и противоречиво влияют на конструкционную прочность железо-углеродистых сплавов (ЖУС). Известно, что увеличение статической прочности деталей не всегда равнозначно повышению их долговечности, так как с ростом предела прочности увеличивается вероятность усталостного и хрупкого разрушения деталей.

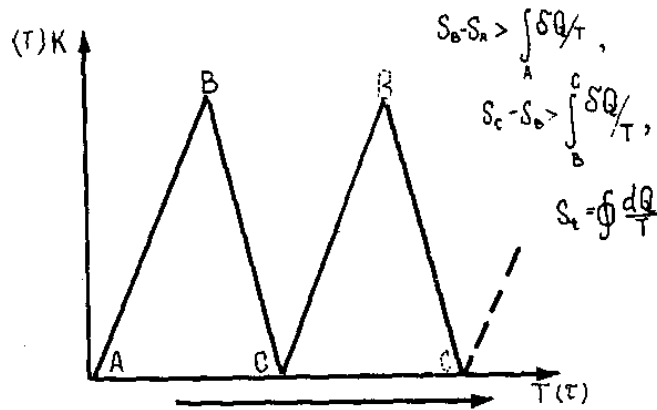
Высокие комплексные требования современного энергомашиностроения ставят перед конструкторами НВИЭ задачи, которые не могут быть решены применением традиционных изотермических методов упрочнения и химико-термической обработки, их возможности уже в большей мере исчерпаны.

С целью снижения веса конструкций, а, следовательно, и уменьшением материалоёмкости, себестоимости, при сохранении надежности и долговечности изделий из железо-углеродистых сплавов, автором разработаны теоретические предпосылки для создания новых технологий структурообразования (термоциклическая обработка – ТЦО), в основе которых лежат полиморфные превращения в нестационарных динамических условиях, достигаемые путем циклической накачки энергии в результате скоростных нагревов и охлаждений. Причем, впервые в области термической обработки, железо-углеродистый сплав рассматривается как открытая система, обменивающаяся веществом и энергией с окружающей средой. В этих условиях при фазовых переходах происходит самоорганизация диссипативных структур, оказывающих определяющее влияние на конечную микроструктуру ЖУС и распределение легирующих элементов и примесей.

Термоциклическая обработка железо-углеродистых сплавов рассматривается как нелинейный энергетический процесс термической обработки, состоящий из ветвей нагрева и ветвей охлаждения, подобных в термодинамическом смысле энерговоздействия. Начальные и граничные условия данного процесса ТО рассматриваются как подобные с таким дополнением, что конечные условия предыдущей ветви являются начальными условиями последующей ветви, (рис. 16).

Нелинейность в поведении железо-углеродистых сплавов при ТЦО учитывается использованием приближения потоков – явно нестационарными кооперативными элементами механизмов многократного энергетического воздейст-

вия.



S_b, S_a, S_c – энтропия всего цикла и его состояний соответственно

Рис. 16. Схема "ветвей" нагрева и охлаждения в понимании граничных условий процесса ТЦО в неравновесной термодинамике

Движение вакансий, дислокации и других дефектов, трактуемое как движение сфер деформаций, описывается в термодинамической модели потоками вещества с соответствующими градиентами, также как поток тепла градиентом температуры.

Большие значения градиентов температур не могут существовать в ЖУС длительное время из-за высокой скорости распространения тепла внутри сплава, следовательно, температура при ТЦО становится характеристикой сугубо локальной, что является принципиальной отличительной чертой метода данной термической обработки от ранее развитых изотермических способов ТО сплавов.

При рассмотрении термоциклирования железо-углеродистых сплавов как существенно нестационарного, не изотермического процесса, развитие которого определяется конечным временем релаксации энергетического воздействия, гетерогенностью состава и морфологией строения структуры железо-углеродистых сплавов установлено, что конечная скорость тепловых волн приводит к значительному увеличению амплитуды напряжений и, следовательно, деформаций железо-углеродистых сплавов при увеличении скорости, интенсивности и частоты энерговоздействий (циклов) и существенной интенсификации процессов массопереноса и термодислокационных эффектов.

Причем основой всех физико-химических процессов при ТЦО является градиент напряжений и деформаций. Особенности диссипации энергии при термоциклировании, выражающиеся в росте энтропии, на единицу объема, являются теоретическим обоснованием эффективности ТЦО при энергетической модификации.

Предложенная математическая модель (в виде укрупненного алгоритма расчета режимов ТЦО в зависимости от эксплуатационных требований к детали (рис. 17)) термоциклической обработки ЖУС с использованием эмпирических формул, основанных на аппроксимации экспериментальных данных, связы-

вающих параметры нагрева и охлаждения с энтропийным фактором позволяет управлять новым технологическим процессом структурообразования и осуществлять путем термоциклирования упрочнения готовых изделий и деталей в отсутствие коробления и поводки. Расчеты режимов ТЦО, проведенные на ЭВМ с использованием эмпирических формул, хорошо согласуются с лабораторными и натурными испытаниями.

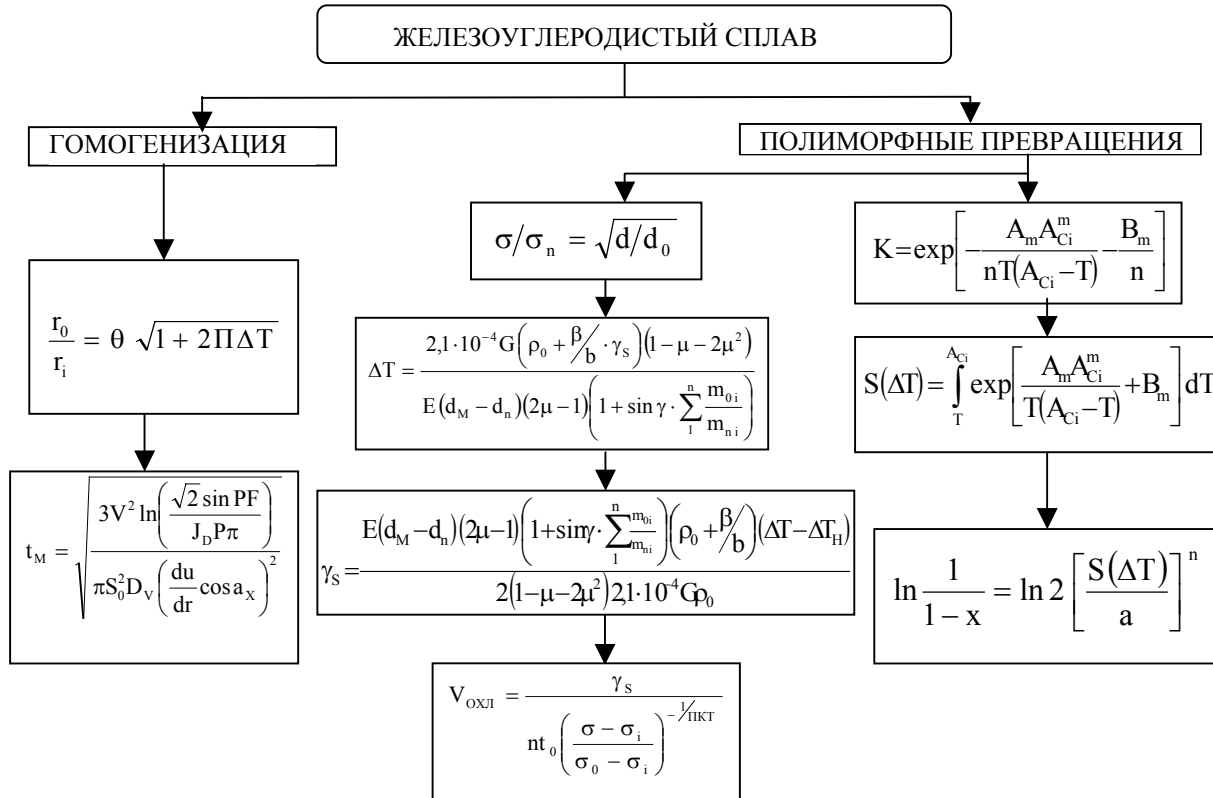


Рис.17. Схема обобщенного алгоритма решения задачи по определению режимов ТЦО в зависимости от условий эксплуатации изделий и деталей из ЖУС для оборудования НВИЭ

Разнообразными стандартными механическими испытаниями образцов и полуфабрикатов из железо-углеродистых сплавов, прошедших ТЦО, установлено (на примере ВПЧ), что в зависимости от температурных условий проведения ТЦО (в области надкритических и межкритических температур) его предел прочности при растяжении увеличивается на 50-80%, предел прочности на изгиб – на 40-70% и сопротивление на кручение – на 35-50%, предел текучести – на 50-70%, ударная вязкость – на 80-170%. При этом, как правило, картина вязкого излома материала, подвергнутого ТЦО, резко отличается от фрагментов излома материалов, не прошедших ТЦО, своей "волокнистостью", подтвержденной специальными электронно-микроскопическими исследованиями.

При проведении специальных исследований в области материаловедения железо-углеродистых сплавов в энергомашиностроении на примере образцов и полуфабрикатов изделий энергомашиностроения из ВПЧ установлено, при использовании ТЦО усталостная прочность повышается в среднем на 40-75%, из-

носостойкость – на 150-220%, кавитационная стойкость – на 250-600%. Указанные эффекты повышения эксплуатационных свойств объясняются структурно-морфологическими изменениями в ВПЧ, как следствие применения ТЦО, способствующей направленному развитию процессов полиморфных превращений и гомогенизации фрагментов структуры ВПЧ, что хорошо подтверждено также такой интегральной оценкой, как определение декремента собственных колебаний материала.

В качестве обобщения результатов теоретических, экспериментальных, лабораторных и полупромышленных исследований разработана инженерная методика расчета режимов ТЦО железо-углеродистых сплавов в зависимости от требований по условиям эксплуатации изделий из них. Разработанная методика реализована на ЭВМ, что позволяет автоматизировать как процессы решения задач оптимизации режимов ТЦО в каждом конкретном случае применения деталей из сплавов на основе железа в энергомашиностроении, так и автоматизировать собственно процессы ТЦО.

В пятой главе раскрыта энергоэкономическая концепция использования комбинированных автономных энергетических систем, работающих на НВИЭ.

Сравнение различных проектов КАЭС и выбор лучшего из них автор предлагает производить с использованием следующих основных критериев: чистый дисконтированный доход (ЧДД) или интегральный эффект ($\mathcal{E}_{\text{инт}}$), внутренняя норма доходности (ВНД), период окупаемости, индекс доходности (ИД).

Чистый дисконтированный доход равен разности между текущей стоимостью потока будущих доходов или выгод и текущей стоимостью будущих затрат на осуществление, эксплуатацию и техническое обслуживание на протяжении всего срока службы. ЧДД – наиболее общий критерий, показывающий доходы собственников капиталов за весь жизненный цикл проекта КАЭС.

$$\mathcal{E}_{\text{инт}} = \text{ЧДД} \sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1 \pm E)^t}$$

где R_t – суммарные результаты (выгоды или доходы), достигаемые на t - шаге расчета, Z_t – затраты, осуществляемые на том же шаге, E – норма дисконта, равная приемлемой для инвестора норме дохода на капитал, T – горизонт расчета (равный номеру шага расчета, на котором производится ликвидация объекта).

ЧДД можно рассматривать как текущую стоимость дохода или выгод от сделанных инвестиций. В финансовом анализе рентабельности ЧДД представляет собою текущую стоимость потока чистых доходов инвестора, финансирующего данный проект. Для расчета ЧДД необходимо определить соответствующую учетную ставку, провести дисконтирование потоков выгод и затрат и затем суммировать приведенные значения стоимости. Если сумма дисконтированных стоимостей имеет положительное значение, то чистый дисконтированный доход положителен и проект может рекомендоваться для финансирования.

Внутренняя норма доходности (ВНД) проекта равна ставке дисконта, при которой суммарные выгоды равны расходам. Поскольку ВНД может устанавливать приоритеты, отличные от критерия ЧДД, то ранжирование проектов следует осуществлять с одновременным использованием этих двух критериев, при этом в качестве дополнительных могут использоваться и другие критерии.

Периодом окупаемости с учетом дисконтирования является продолжительность наименьшего периода, по истечении которого накопленный чистый ЧДД становится и в дальнейшем остается неотрицательным. Этот критерий не благоприятствует проектам, приносящим большие выгоды в более поздние сроки.

Индекс доходности (ИД) является отношением приведенных выгод к приведенным капитальным вложениям. Проекты, характеризующиеся более высоким ИД, эффективнее чем проекты с меньшим значением индекса доходности.

Проектный анализ предполагает совместное применение критериев ЧДД, ВНД и ИД. В табл. 4 приведены соотношения между этими критериями согласно характеристикам и ограничениям проекта. Пользуясь этой таблицей можно сформулировать ряд общих правил для альтернативных критериев принятия решений.

Таблица 4

Использование основных критериев ЧДД, ВНД и ИД

Кол-во проектов	Зависимость проектов	Значение критериев отбора	Необходимость ранжирования
Один проект	Независимый, не имеющий ограничений по капиталу	ЧДД > 0 ВНД > граничной ставки процента на капитал ИД > 1	Не требуется Не требуется Не требуется
Несколько проектов	Независимые (не взаимно-исключающие), не имеющие ограничений по капиталу	ЧДД > 0 ВНД > граничной ставки процента на капитал ИД > 1	Не требуется Не требуется Не требуется
	Независимые, имеющие ограничения по капиталу	ИД > 1	Требуется
	Зависимые, имеющие ограничения по капиталу	Найти множество max ИД	Не требуется
	Зависимые, не имеющие ограничений по капиталу	Найти множество max ЧДД	Не требуется
	Взаимоисключающие, не имеющие ограничений по капиталу	Наибольший ЧДД	Не требуется

Сравнение проектов КАЭС с НВИЭ с целью принятия правильных инвестиционных решений является весьма сложной проблемой. Даже после того,

как все критерии вычислены, упорядочения проектов по разным критериям могут не совпадать. Решения одобрить или отклонить проект в конечном счете принимаются с учетом общей стратегии планирования развития предприятия, потребителя, региона или экономики в целом.

В качестве примера предлагаемого инвестиционного проекта на рис. 18 показана схема КАЭС (с использованием солнечной, ветровой энергией и энергией биомасс) энергоснабжение индивидуального потребителя (или потребителей) сельской местности.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка основной используемой литературы. Работа изложена на страницах, включает таблиц и рисунков. Библиография содержит наименований.

На основании выполненных автором исследований впервые проведено комплексное изучение и научное обоснование технологических решений использования энергии возобновляемых источников с целью создания комбинированных автономных энергосистем, обеспечивающих значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса.

1. Теоретически обоснована перспективность применения комбинированных автономных энергосистем в процессе преобразования энергии нетрадиционных возобновляемых источников в силу их особенностей и характеристик.

2. Разработаны базовые принципы проектирования и технико-экономического обоснования комбинированных автономных энергосистем, работающих на НВИЭ.

3. Разработаны основные конструктивные схемы комбинированного автономного использования энергии нетрадиционных возобновляемых источников.

4. Разработано и создано новое высокоэффективное оборудование по преобразованию энергии возобновляемых источников.

5. Разработан и предложен синергетический подход к вопросам повышения прочности, надежности и ресурса элементов конструкций и оборудования для преобразования энергии возобновляемых источников.

6. Предложено технико-экономическое обоснование проектных решений, определяющих развитие комбинированных автономных энергосистем.

Автором опубликовано 56 печатных работ. Основное содержание, относящееся к данной диссертационной работе опубликовано в следующих печатных работах:

1. Прикладная теория термоциклической обработки высокопрочного чугуна. Депонированные научные работы.- ВНИИЧЕРМЕТ.- №8.- 1984.

2. Применение синергетических принципов при разработке новых технологий обработки материалов.- Вестник машиностроения.- М.- 1988.

3. Физические процессы в материалах при внешних энергетических воздействиях.- Металловедение и термическая обработка- № 9.- 1989.

4. Коллективные эффекты в кинетике разрушения металлов и спонтанное

изменение фрактальной размерности диссипативной структуры при вязкохрупком переходе. Доклады Академии Наук СССР.- Т. 332.- № 6.- 1992.

5. Реализация принципов синергетики в разработке прогрессивных технологий (соавтор Барахтин Б.К.).- М.- Наука.- 1989.

6. Создание автоматизированного Стирлинг-генератора, работающего на возобновляемых энергоресурсах (соавтор Елистратов В.В.). Межд. науч. конф. "Возобновляемые источники энергии для устойчивого развития Байкальского региона". г.Улан-Уде. Июль 2001.

7. Солнечная электрическая станция СЭС-1. Сб. трудов Межд. науч.-техн. конф. "Научные проблемы энергетики возобновляемых источников". Самара. 2000.

8. Создание опытного образца автоматизированного Стирлинг-генератора (АСГ-1), мощностью 3 кВт для автономной гелиоэнергетической установки (АГУ). Сб. трудов Межд. науч.-техн. конф. "Научные проблемы энергетики возобновляемых источников". Самара. 2000.

9. Разработка энергетической установки с двигателем Стирлинга для гибридных транспортных средств (соавтор Елистратов В.В.), 5-ый Междун. семинар "Российские технологии для индустрии", "Нетрадиц. и возобн. источники энергии". СПб. 2001.

10. Разработка ветроэнергетической установки со спиральными лопастями (соавтор Елистратов В.В.), 5-ый Междун. семинар "Российские технологии для индустрии", "Нетрадиц. и возобн. источники энергии". СПб, 2001.

11. Технологии преобразования нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Изд-во "Нестор". СПб, 2001.

12. Ветроэнергетическая установка для индивидуального пользования (соавтор Елистратов В.В.) Межрег. научно-практ. конф. "Энергетика в современном мире". Чита. 2001.

13. Kraft-Warme-Kopplung mit Stirlingmotoren. Europaisches Stirling Forum 1992.- Osnabruck.- Marz.- 1992.

14. Materialien zur Anwendung in Solar - Stirlingmotoren. Europaisches Stirling Forum 1994.- Osnabrtick.- Marz.- 1994.

15. Verfahren fur expirimentelle Berechnung von Stirlingmotoren mit System der Wärmeübertragung nach dem Prinzip der Heatpipe. Europaisches Stirling Forum 1994.- Osnabriick.- Marz.- 1994.

16. Aktuelle Problemlosungen bei Stirling - Wärmepumpen.Europaisches Stirling Forum 1996.- Osnabruck.- Februar.- 1996.

17. Der Stirlingmotoren ST 05G mit einem Holz (hackschnitzel) ofen als Klein - Kraft-Warme-Kopplungsanlage fur ein Einfamilienhaus zur Stromerzeugung und Heizun (mitverfasser Vitbach G.). Europaisches Stirling Forum 1998.- Osnabruck.- Februar.- 1998.

18. 10 KW hermetic Stirling engine for car. ISEC. 6th International Stirling Engine Conference 1993.- Eindhoven.- May.- 1993.

19. Development of new solar Stirling Engine. 6th International Stirling Conference 1993.- Eindhoven.- May.- 1993.

20. System - thermodynamic basis of optimal designing of Stirling machines (co-author Meleshenko N.). Europaisches Stirling Forum 1998.- Osnabrtick.- Februar.- 1998.

21. Complex estimation of working capacity of major components and units at optimal designing of Stirling engine (co-author Meleshenko N.). Europaisches Stirling Forum 1998.- Osnabruck.- Februar.- 1998.

22. "Stirlingmaschinen einfacher Bauart". Erweiterte Neuffulage.- 1992.

23. "Stirling - Maschinen". Grundlagen. Technik. Anwendung.- 1992.

24. Development of power installations with a Stirling engine and electric generators working on ecologically clean fuel-biological mass. (co-author Elistratov V.). 10th International Stirling Engine Conference (ISEC).- Osnabruck.- September.- 2001

25. Development of brushless DC-motors. European Wind Energy Conference and Exhibition. Bella Center.- Copenhagen.- Denmark.- July.- 2001.

26. Breusov V. английский патент, кл. F45 (F31f) №2675931, заявл. 05.05.97 опублик. 11.08.98 (Конструкция регенератора Стирлинга).

27. Патент на изобретение № 2157898 от 20 октября 2000 г. "ДВС со смежно работающими цилиндрами и искровым зажиганием" (соавторы Зуев А.А., Козлов М.В.).

28. А.С. № 359449. Способ термической обработки высокопрочного чугуна. Открытия, изобрет., пром. образцы, тов. знаки. 1974, №8 (авторы Бреусов В.П., Пустовойт В.К., Федюкин В.К.).

29. А.С. № 412262. Способ термоциклической обработки чугуна. Открытия, изобр., пром. образцы, тов. знаки. 1974, №8 (авторы Бреусов В.П., Лебедев Т. А. и др.)

30. А.С. № 460307. Способ термической обработки чугуна. Открытия, изобр., пром. образцы, тов. знаки. 1975, №6 (авторы Бреусов В.П., Лебедев Т.А. и др.)