

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Харченко Валерия Владимировича на диссертацию Бабаева Баба Джабраиловича «Разработка и исследование энергосистем на основе возобновляемых источников с фазо-переходным аккумулированием тепла», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы.

Актуальность диссертации

Диссертация Б.Д. Бабаева посвящена решению проблемы создания высокоэффективных энергетических комплексов энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), для чего в работе сформулирована цель – развить методику оптимизации энергетических систем преобразования энергии возобновляемых источников с использованием фазо-переходных аккумуляторов в части поиска эффективных фазо-переходных теплоаккумулирующих материалов (ФТАМ) на основе многокомпонентных систем (МКС). Такая постановка работы представляется безусловно актуальной. Дело в том, что мировая практика свидетельствует о бурном развитии возобновляемой энергетики во многих странах. Даже в России, которую трудно отнести к лидерам в вопросах использования ВИЭ, в последнее время наметилась положительная тенденция. Наиболее активно в РФ развивается автономная энергетика на базе ВИЭ, причем использование сложных энергетических комплексов автономного энергоснабжения, интегрирующих несколько видов возобновляемых источников энергии, развиваются опережающими темпами. Одновременное использование в одном комплексе двух, трех и более видов ВИЭ существенно сглаживает негатив, связанный со стохастическим, вероятностным проявлением наиболее распространенных видов ВИЭ – таких как солнце и ветер. Однако даже в этом случае вопрос аккумулирования энергии остается чрезвычайно важным для обеспечения бесперебойного энергоснабжения. Системы аккумулирования должны быть одновременно эффективными и экономичными. Одним из перспективных способов аккумулирования энергии является тепловое аккумулирование с использованием скрытой теплоты фазового перехода неорганических, органических соединений, эвтектических композиций и термохимических реакций. Идея этане нова, но она представляется весьма перспективной. Однако степень проработанности вопросов использования этих процессов на практике оставляет желать лучшего. Несмотря на важное прикладное значение тепловых аккумуляторов фазового перехода, многие проблемы в об-

ласти их разработки остаются нерешенными из-за сложности изучения многокомпонентных систем. Любые работы, направленные на развитие подхода, связанного с использованием в качестве аккумуляторов тепловой энергии рассмотренных устройств можно только приветствовать.

В диссертационной работе Бабаева Б.Д. изложен большой теоретический и экспериментальный материал по изучению многокомпонентных взаимных систем, описанию термохимических реакций обмена, их использованию для теплового аккумулярования. Проведенные исследования представляют несомненный научный интерес и являются весьма востребованными. В связи с вышеизложенным актуальность темы рассматриваемой диссертации не вызывает сомнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Положения, выносимые на защиту, в диссертации сформулированы не вполне удачно по форме. Тем не менее, можно заметить, что информация, приведенная в данном разделе, базируется на корректно сформулированных допущениях и обеспечивается надежностью используемых в работе математических методов исследования. Адекватность математических моделей и расчетных формул подтверждается качественным (а в некоторых случаях, и количественным) согласием результатов расчетов с результатами эксперимента.

Защищаемые положения имеют экспериментальное подтверждение и коррелируют с известными теориями. Они получены с использованием современных методов математического моделирования и современных экспериментальных методов исследования, прошедших необходимую метрологическую проработку и апробацию.

Достоверность полученных результатов определяется использованием автором проверенных и широко используемых специалистами методов и приборов. Так, к примеру, точность рентгенофазовых исследований составляет 0,1 масс. %, методы расчёта теплоёмкости жидкой фазы эвтектических составов обеспечивают вполне удовлетворительную точность – 7,5 – 9 %, а погрешность измерения энтальпии плавления, установленная путем статистической обработки экспериментальных данных, составляла 9%. Далее, расчет программой теплового эффекта реакции взаимодействия фтористого натрия с азотнокислым литием при $T = 298,15 \text{ К}$ в диссертации выполнен с погрешностью $\pm 1,75 \text{ кДж/моль}$, в то время как аналогичные значения в литературной базе данных (Термодинамические свойства индивидуальных веществ // Под.ред. Глушко В. П. –М.: Наука, 1978. –Т. 1. Кн. 1, изд. 3е, 1978.–495 с) приводятся с погрешностью $\pm 3,00 \text{ кДж/моль}$.

Научная новизна работы

К наиболее существенным научным результатам диссертации, отличающихся новизной, можно отнести следующие:

- впервые экспериментально исследованы фазовые равновесия пригодных для аккумулирования многокомпонентных систем и изучены их свойства. Показано, что выявленные эвтектические составы являются перспективными для использования в качестве фазопереходных теплоаккумулирующих материалов;

-научно обоснованы и разработаны алгоритм, блок-схема и программа расчета для выявления термохимического взаимодействия в многокомпонентных системах;

-выявлены термохимические реакции, протекающие в системах со многими химическими элементами, и выбраны наиболее энергоемкие;

-предложены новые энергетические системы и конструктивные элементы (солнечный коллектор, тепловой аккумулятор с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом, гелиоустановка для проведения химических реакций использования природных возобновляющихся энергисточников с применением теплового фазопереходного аккумулирования);

-научно обоснованы и разработаны методика, алгоритм и программа оптимизации систем энергоснабжения автономных потребителей с учетом местных условий по многим критериям.

Практическая и научная ценность результатов исследований

-выявленные составы эвтектик, разработанная программа описания термохимического взаимодействия позволяет решать ряд практических задач, связанных с созданием систем аккумулирования энергии;

-разработанные энергетические системы запатентованы и внедрены в практику;

-предложенные методика, алгоритм и программа многокритериальной оптимизации энергоснабжения автономных потребителей, конструктивные элементы и энергетические системы преобразования возобновляемых источников энергии с фазопереходным тепловым аккумулированием могут быть применены при разработке систем энергоснабжения и программ энергосбережения;

-результаты расчетов местных ресурсов по возобновляемым источникам энергии, как это следует из материалов диссертации, могут быть учтены при разработке стратегии развития энергетики в Республике Дагестан.

Диссертационная работа Б.Д. Бабаева изложена на 345 страницах, включает 32 таблицы, 69 рисунков и состоит из введения, четырех глав выводами к каждой главе, общих выводов и рекомендаций, списка литературы из 371 наименования и 6 приложений.

Во введении определена актуальность работы, изложены цели и задачи исследований, отмечаются научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе рассмотрена динамика развития возобновляемой энергетики и ее доли в мировом и отечественном энергетическом производстве, изложены результаты аналитического обзора литературных источников, относящихся к проблемам повышения надежности энергоснабжения на основе ВИЭ, а также аккумулирования энергии. Проанализированы способы аккумулирования тепловой энергии, приведен анализ применяемых фазопереходных теплоаккумулирующих материалов (ФТАМ) и требования, предъявляемые к ним. Показана необходимость поиска новых энергоемких фазопереходных теплоаккумулирующих материалов и термохимических реакций на основе физико-химического анализа многокомпонентных систем.

Во второй главе описаны методологические принципы изучения многокомпонентных систем (МКС) и инструментальные методы анализа. Показано, что основными методами инструментальных измерений являются методы термического анализа. Впервые получены диаграммы состояния и составы эвтектик МКС, входящих в $\text{Li,Na,Ca, Ba//F, MoO}_4$ и системы $\text{NaF - NaNO}_3 - \text{NaCl}$. Определены методом количественного дифференциально-термического анализа (ДТА) энтальпии плавления некоторых эвтектических составов, которые представляются перспективными фазопереходными теплоаккумулирующими материалами (ФТАМ) с высокой энергоемкостью. Здесь же проводится обоснование нового алгоритма описания термохимических реакций в многокомпонентных взаимных системах и составления по нему компьютерной программы. Приводятся разработанные методики, алгоритм, блок-схема и программа «Тепловой эффект реакций в МКС в зависимости от температуры». С использованием разработанной программы выявлены химические и термохимические реакции при разных температурах в системах $\text{Li,Na,Ca,Ba//F,MoO}_4$; Na,K,Ca,Ba//F,Cl ; $\text{Li,Na,K,Mg//F,Cl,Br,SO}_4$, получена закономерность сдвига равновесий реакций и выбраны наиболее энергоемкие из этих реакций, которые целесообразно использовать для термохимического аккумулирования. Показано, что предложенную автором методику и программу можно использовать для прогнозирования экологической ситуации вокруг предприятий с вредными выбросами, если химически вредные выбросы известны.

В третьей главе даны практические рекомендации по использованию данных физико-химического анализа МКС, описаны и проанализированы на энергетическую эффективность разработанные в рамках рассматриваемой работы и запатентованные новые энергетические системы с использованием фазопереходных теплоаккумулирующих материалов и возобновляемых источников энергии. Ряд разработанных диссертантом энергетических систем и конструктивных элементов запатентованы и внедрены в практику.

В четвертой главе диссертации приводятся разработанные соискателем алгоритм, блок-схема, программа и математическое описание задачи многокритериальной оптимизации энергоснабжения потребителя от возобновляемых источников энергии. Изложены принципы выбора оптимальных мощностей комбинированной системы на основе фотоэлектрической и ветроэнергетической установок в зависимости от потребляемой мощности и средних минимальных и максимальных значений солнечной радиации и скоростей ветра, принципы определения оптимальной площади коллекторов солнечной системы теплоснабжения.

Основное внимание в работе уделено одной из важнейших частей энергетического комплекса, а именно части, связанной с аккумулярованием тепловой энергии. Без эффективных систем аккумулярования теплоты комплексные системы теплоснабжения теряют в эффективности и делаются вообще малопригодными для решения задач автономного энергоснабжения.

Разработанная в работе программа позволяет кроме того сравнивать отдельные блоки и элементы разных энергосистем между собой, а также определять, при каком значении нагрузки потребителя тот или иной вариант комбинированного энергоснабжения становится оптимальным. Использование разработанной компьютерной программы позволяет существенно сократить трудозатраты и более обоснованно выбрать оптимальный вариант энергоснабжения потребителя. При апробации программы для конкретного района определены и уточнены местные ресурсы возобновляющихся источников энергии. Приведены также методики разработки и оптимизации режима работы «местной энергосистемы (микроэнергосистемы – МЭЖ)» на основе возобновляемых источников энергии с тепловым аккумулярованием. Разработанные методы и программно-вычислительный комплекс апробированы для энергоснабжения автономного потребителя при заданных условиях. Предложенные методика и программа позволяют провести оценку экологического влияния разных энергосистем на основе традиционных и нетрадиционных энергоресурсов.

Следует отметить, что для достижения поставленной цели автор был вынужден достаточно глубоко окунуться в химию и химическую технологию

аккумуляции тепловой энергии с использованием фазовых переходов. К чести автора можно констатировать, что с этой задачей он справился вполне успешно.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. В формулировании цели исследования, по нашему мнению, закрапалась некоторая неточность. Автор в качестве цели определяет развитие методов оптимизации энергетических систем преобразования энергии возобновляемых источников с использованием фазопереходных аккумуляторов в части поиска эффективных фазопереходных теплоаккумулирующих материалов. Т.е. подразумевается, что оптимизация методов преобразования энергии ВИЭ как бы достигается путем поиска эффективных материалов для ее аккумуляции. По-видимому, правильнее было бы говорить о повышении эффективности функционирования всего комплекса за счет решения задачи эффективного аккумуляции тепловой энергии.

2. Положения, выносимые на защиту, как уже отмечалось выше, сформулированы не вполне удачно по форме.

3. Основное замечание к литературному обзору заключается в том, что автор, желая сократить объем основного текста излишне злоупотребляет ссылками на литературные источники, что вынуждает читателя обращаться к последним, а это затрудняет чтение диссертации и восприятие материала.

4. Было бы целесообразным привести в качестве примера график, иллюстрирующий характеристики прихода возобновляющихся источников энергии в течение суток и потребления электроэнергии, из которого необходимость аккумуляции энергии была бы проиллюстрирована более предметно.

5. В диссертации недостает информации о стоимостных (экономических) показателях упоминаемых способов аккумуляции.

6. Очевидно, что альтернативой аккумуляющим системам в энергетических комплексах могут служить специально вводимые источники генерации традиционного типа, например дизельгенераторные установки. Было бы интересно сравнить рассматриваемые автором энергокомплексы на основе аккумуляющих систем с аналогичными комплексами с резервными источниками генерации, как в техническом, так и в технико-экономическом аспекте.

7. Полученные автором экспериментальным путем эвтектические составы на основе многокомпонентных систем имеют высокие значения температуры плавления. Не вполне понятно, как их использовать в качестве фазопереходных теплоаккумуляторов в солнечных энергоустановках без концентрирующих систем.

8. По использованию результатов исследований для теплового аккумуля-

лирования энергии изложены несколько типов энергетических систем и конструктивных элементов использования возобновляемых источников энергии с фазопереходным тепловым аккумулярованием, однако отсутствуют данные расчетов экономической целесообразности разработанных и внедренных установок.

Вышеуказанные замечания, тем не менее, не снижают общей положительной оценки работы, которая выполнена на актуальную тему, является полезной и комплексной, представляет собой важный шаг в решении проблемы расширения масштабов использования возобновляемых источников энергии в Российской Федерации.

Текст диссертации изложен хорошим научным языком, иллюстрирован графическими материалами высокого качества. Однако не лишен опечаток, ошибок, неудачной стилистики. Однако их так мало, что на общее положительное впечатление от работы они практически никакого влияния не оказывают. Например, на стр. 133 диссертации повторяется один и тот же абзац дважды «Разработанная программа является универсальной, так как...». При чтении автореферата встречаются отдельные опечатки. Например, в списках опубликованных работ:

- «43. *Бабаев Б. Д.* Корреляционная связь...» вместо корреляционная.. (с. 26);
- «64. ...начно-инф...» вместо научно-инф. .. (с.29).

Основное содержание диссертации достаточно широко представлено в публикациях, в том числе и в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, защищено патентами РФ и доложено на конференциях. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

В диссертации, безусловно, сделан акцент на хоть и важном, но единственном компоненте энергетического комплекса, а именно системах аккумулярования тепловой энергии, в то время как несколько менее подробно рассмотрены другие компоненты энергокомплексов, такие как, в частности, генераторы энергии. В меньшей мере рассмотрены вопросы генерации и аккумулярования электрической энергии, хотя вопросы теплоснабжения всегда представляли огромный интерес.

Несмотря на указанные выше особенности диссертации, можно констатировать, что она соответствует паспорту специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы.

Диссертация Баба Джабраиловича Бабаева является завершенной самостоятельной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой соискателем разработаны и обоснованы реко-

