

На правах рукописи

БАБАЕВ Баба Джабраилович

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ С ФАЗОПЕРЕХОДНЫМ
АККУМУЛИРОВАНИЕМ ТЕПЛА**

Специальность: 05.14.01 – энергетические системы и комплексы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Дагестанский государственный университет»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Волшаник Валерий Валентинович

Официальные оппоненты: **Безруких Павел Павлович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделением новых технологий и нетрадиционной энергетики ОАО «ЭНИН», г. Москва

Тягунов Михаил Георгиевич, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ", г. Москва

Харченко Валерий Владимирович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела возобновляемых источников энергии ФГБНУ «Всероссийский НИИ электрификации сельского хозяйства», г. Москва.

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт энергетических сооружений (АО «НИИЭС»), г. Москва

Защита диссертации состоится «8» июня 2016 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д.002.110.03 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединённого института высоких температур Российской академии наук по адресу: 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр. 2, экспозал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ОИВТ РАН <http://www.jiht.ru/>.

Автореферат разослан «__» _____ 2016 г. и размещен в библиотеке и на сайте ОИВТ РАН <http://www.jiht.ru/>

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук



Директор Л.Б.

Общая характеристика работы

Интенсивное развитие технологий использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в последние десятилетия доказало их конкурентоспособность по отношению к традиционным энергетическим технологиям во многих практических приложениях и странах мира как по экологическим, так и по экономическим соображениям. Благоприятные условия для эффективного использования ВИЭ имеются и во многих регионах России, прежде всего, удаленных от систем центрального энергоснабжения.

Одной из ключевых проблем, от решения которой зависит эффективность и надежность энергоснабжения потребителей (особенно автономных) на основе ВИЭ, является проблема разработки и создания накопителей энергии, необходимых для компенсации неравномерных во времени выработки и потребления энергии вследствие временной изменчивости возобновляемых энергетических потоков и графиков потребления энергии потребителями. В первую очередь, это относится к солнечным и ветровым энергоустановкам, характеризующимся сильной зависимостью вырабатываемой мощности от природных условий.

Основным объектом исследований и разработок данной работы являются энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии с накопителями тепловой энергии с использованием скрытой теплоты фазового перехода «твердое тело - жидкость» неорганических соединений и эвтектических композиций, а также программно-вычислительный комплекс (ПВК) оптимизации их использования в системах возобновляемой энергетики.

Целью работы является развитие методов оптимизации энергетических систем преобразования энергии возобновляемых источников с использованием фазопереходных аккумуляторов в части поиска эффективных фазопереходных теплоаккумулирующих материалов (ФТАМ) на основе многокомпонентных систем (МКС).

Основные задачи исследования:

- экспериментальное, методами физико-химического анализа, исследование реальных многокомпонентных систем, выявление эвтектических составов и поиск энергоемких фазопереходных теплоаккумулирующих материалов на основе эвтектических составов МКС;

- разработка алгоритма и компьютерной программы выявления химического и термохимического взаимодействия в МКС в зависимости от температуры, при которой тепловой эффект реакции достигает максимального значения;

- реализация разработанной программы на реальных МКС и формирование наиболее экономичных, энергоемких составов и термохимических реакций,

протекающих в МКС на основе фторидов, хлоридов, нитратов, молибдатов, сульфатов щелочных и щелочноземельных металлов, для теплового аккумулирования;

- разработка конструктивных элементов с тепловым аккумулированием и энергетических систем оптимального использования возобновляемых источников энергии автономными потребителями;

- разработка критериев оптимизации энергоснабжения потребителей за счет возобновляемых источников и аккумуляторов энергии для разработки оптимальных схем энергоснабжения с учетом особенностей региона размещения;

- разработка программно-вычислительного комплекса для выбора оптимальных систем энергоснабжения с учетом местных возобновляемых источников энергии и разноплановых критериев оптимизации.

Научная новизна работы:

- впервые экспериментально и теоретически исследованы фазовые равновесия систем на основе Li, Na, Ca, Ba//F, MoO₄ и системы NaF- NaNO₃- NaCl, и изучены их свойства. Показано, что выявленные эвтектические составы являются перспективными ФТАМ;

- научно обоснованы и разработаны алгоритм, блок-схема и программа для выявления химического и термохимического взаимодействия в МКС в зависимости от температуры, выявлены температуры, при которых тепловой эффект реакции достигает максимального значения;

- выявлены термохимические (с определением тепловых эффектов) реакции при $T = 298,15$ и $T = 500$ К, протекающие в системах Li, Na, Ca, Ba//F, MoO₄; Li, Na, K, Mg//F, Cl, Br, SO₄, и выбраны наиболее энергоемкие из них для теплового аккумулирования энергии;

- предложены эффективные конфигурации энергоустановок на ВИЭ и разработаны конструкции используемых в них фазопереходных тепловых аккумуляторов;

- разработана методика оптимизации параметров энергокомплекса, содержащего солнечную, ветровую, биогазовую энергоустановки и микро-ГЭС, с учетом включения в энергокомплекс накопителя энергии;

- научно обоснованы и разработаны методика, алгоритм и ПВК многокритериальной оптимизации энергоснабжения потребителей за счет использования ФТАМ и возобновляемых источников энергии с учетом особенностей региона размещения.

Практическая ценность работы:

1. Выявленные составы эвтектик и уравнения энергоемких термохимических реакций во взаимных системах, состоящих из фторидов, хлоридов, нитратов, молибдатов, сульфатов щелочных и щелочноземельных металлов, дают возможность подбора различных солевых композиций, которые могут быть использованы для разработки фазопереходных и термохимических теплоаккумулирующих материалов.

2. Разработанная программа описания термохимического взаимодействия позволяет:

- уменьшить трудоемкость исследований;
- выявить химические взаимодействия без привлечения объемных геометрических построений;
- получить зависимость направленности химических реакций от температуры;
- определять тепловые эффекты реакций при любой температуре, в пределах которых выполняется зависимость функции $[H_T^0 - H_0^0]/T$ от температуры, а также температуру, при которой тепловой эффект приобретает максимальное значение;
- автоматизировать процесс описания химических превращений в МКС.

3. Предложенные методика, алгоритм и ПВК оптимизации схем энергообеспечения по многим критериям могут использоваться при проектировании микроэнергокомплексов на основе местных возобновляемых источников энергии для энергообеспечения автономных потребителей.

4. Предложены конструктивные элементы энергоустановок на возобновляемых источниках энергии с фазопереходными тепловыми аккумуляторами, перспективные для практического применения.

5. Ряд выявленных эвтектических составов и разработанных конструкций энергоустановок на ВИЭ (солнечный коллектор, гелиосушилка и др.) внедрены в практику (акты внедрения прилагаются к диссертации).

На защиту выносятся:

- результаты экспериментальных исследований фазовых равновесий и выявленные эвтектические составы систем на основе фторидов, нитратов, хлоридов и молибдатов щелочных и щелочноземельных металлов, у которых теплоты и температуры фазовых переходов лежат в пределах $\Delta H = 189 \div 782$ кДж/кг, $T = 623 \div 1063$ К при атмосферном давлении;
- алгоритм и компьютерная программа выявления химического и термохимического взаимодействия в МКС в зависимости от температуры, при которой тепловой эффект реакции достигает максимального значения;

- выявленные термохимические реакции, протекающие в системах Li, Na, Ca, Ba//F, MoO₄; Li, Na, K, Mg//F, Cl, Br, SO₄, которые обладают большой энергоемкостью (до 980 кДж/моль), и реакции, у которых тепловые эффекты при повышении температуры от 298 К до 540 К изменяются от -7,13 кДж/моль до +5,31 кДж/моль (при перерасчете на 1 кг реакционной массы от -10,9 кДж/кг до +6,1 кДж/кг);

- разработанные конструкции солнечного коллектора, гелиосушилки и теплового аккумулятора с фазопереходным материалом;

- методика, алгоритм и ПВК многокритериальной оптимизации систем энергоснабжения автономных потребителей на основе возобновляемых источников энергии с учетом особенностей региона.

Достоверность полученных результатов определяется соответствием полученных характеристик с результатами исследований других авторов при апробации разработанных программ; близостью расчетных и опытных данных.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались на Всесоюзной конференции "Состояние и перспективы использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии" (Севастополь, 1990 г.), на Всесоюзном техническом совещании "Проблемы создания и эксплуатации энергетических установок, использующих возобновляемые источники энергии" (Владимир, 1991 г.), на Всероссийской конференции "Состояние и перспективы развития термоэлектрического приборостроения" (Махачкала, 1995 г.), на Международном симпозиуме "Проблемы рационального природопользования и обеспечения экологической и экономической безопасности Прикаспийского региона" (Санкт-Петербург, 1995 г.), на межвузовских научно-тематических конференциях в Дагестане (Махачкала, 1999-2001гг.), на ежегодных Бергмановских чтениях (Махачкала, 1999-2001гг.), на Всероссийской конференции молодых ученых (Нальчик, 2001г.), на Всероссийской конференции, посвященной 105-летию А. Г. Бергмана (Махачкала, 2002 г.), на конференции по подпрограмме "Топливо и энергетика" научно-технической программы "Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники" (Москва, 2002г.), на II Всероссийской научной конференции по физико-химическому анализу многокомпонентных систем (Махачкала, 2002 г.), на Первой всероссийской Школе-семинаре молодых ученых и специалистов «Энергосбережение – теория и практика» (Москва, 2002), на Международной школе-семинаре ЮНЕСКО «Образование и подготовка специалистов в области возобновляемых источников энергии: Проблемы и перспективы XXI века» (Москва, 2003 г.), на конференции «Возобновляемая энергетика 2003: Состояние, проблемы, перспективы» (Санкт-Петербург, 4 – 6 ноября 2003 г.), на XIII конференции по физической химии и электрохимии расплавленных и твердых

электролитов (г. Екатеринбург, 27 сентября – 1 октября 2004 года), на Международной школе-семинаре ЮНЕСКО «Образование и подготовка специалистов в области возобновляемых источников энергии: Проблемы и перспективы XXI века» (Москва, 2004 г.), XIII Российской конференции по физической химии и электрохимии расплавленных и твердых электролитов (Екатеринбург, 27 сентября – 1 октября 2004 г.); региональной научно-технической конференции «Системы обеспечения тепловых режимов преобразователей энергии и системы транспортировки теплоты» (7 – 9 декабря 2005 г., Махачкала); 1 Международной научно-практической конференции и выставке «Энергетика, материальные и природные ресурсы. Эффективное использование. Собственные источники энергии» (31 мая – 3 июня 2005 г., Пермь); Международном семинаре «Возобновляемые источники энергии: Материалы и технологии» (29 – 30 ноября 2007 г., Махачкала); «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов», II Школа молодых ученых (21 – 25 сентября 2008 г.) «Фундаментальные и прикладные проблемы современной химии и материаловедения», Всероссийской научной конференции (Махачкала: ДГУ); Всероссийском смотре-конкурсе научно-технического творчества студентов высших учебных заведений «Эврика-2008», (г. Новочеркасск, 17 – 23 ноября 2008 г.); Всероссийской научно-технической конференции «Системы обеспечения тепловых режимов преобразователей энергии и системы транспортировки теплоты» (23 – 25 декабря 2008 г., Махачкала); 13 Российской молодежной научной и инженерной выставке «Шаг в будущее»; на выставке в XII Международном салоне промышленной собственности «Архимед-2009»; IX Московском международном салоне инноваций и инвестиций (3 – 6 марта 2009 г., Москва), Всероссийском выставочном центре (2010 и 2011) гг.; Всероссийской научно-технической конференции «Системы обеспечения тепловых режимов преобразователей энергии и системы транспортировки теплоты» (23 – 25 декабря 2008 г., Махачкала, ДГТУ); Международной конференции «Энергоэффективность и энергосбережение. Законодательная и нормативная база. Новые энергоресурсосберегающие технологии и оборудование» (19 – 20 ноября 2009 г., Пермь); Международной научно-практической конференции «Энергоснабжение в теплоэнергетике и теплоэлектротехнологиях», (19 апреля 2010 г., г. Омск); на III – VIII Школах молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов», г. Махачкала (2011 – 2015 гг.), Международной конференции «Возобновляемая энергетика. Прикладные аспекты разработки и практического использования» REENFOR-2014 (30 июня – 2 июля 2014 г., Черноголовка).

Публикации. Основное содержание работы изложено в 150 публикациях, из них: 39 статей в изданиях, рекомендованных ВАК; 1 монография; 15 патентов; 7 авторских свидетельств; 6 учебно-методических изданий.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 345 страницах печатного текста, включает 32 таблицы, 69 рисунков и состоит из введения, четырех глав с выводами к каждой главе, общих выводов и рекомендаций, списка литературы из 371 наименований и 6 приложений.

Во **введении** приведены аргументы, определяющие актуальность темы диссертации, обоснование цели и задач исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В **первой главе** рассмотрены динамика развития мировой возобновляемой энергетики и масштабы ее участия в мировом и отечественном энергетическом производстве, приведены режимные особенности генерации энергии на основе ВИЭ и особенности использования энергии потребителями.

Отмечено, что обеспечение аккумулирования энергии, вырабатываемой с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является одной из важнейших проблем возобновляемой энергетики, для решения которой необходимы разработка соответствующих материалов, методов расчета и создание экономичных и эффективных устройств.

Дан обзор методов аккумулирования энергии и используемых теплоаккумулирующих материалов. Проведена их классификация. Рассмотрены свойства различных фазопереходных теплоаккумулирующих материалов (ФТАМ), предъявляемые к ним требования, сравнительные характеристики различных типов аккумуляторов тепла, сформулированы перспективные направления разработки новых методов и устройств аккумулирования тепловой энергии.

Во **второй главе** приведены результаты выполненных автором экспериментальных исследований с целью поиска и выявления наиболее энергоемких фазопереходных теплоаккумулирующих материалов на основе МКС с применением дифференциально-термического (ДТА), количественного дифференциально-термического, визуально-политермического и рентгенофазового анализов.

Впервые получены диаграммы состояния и составы эвтектик МКС на основе Li, Na, Ca, Ba//F, MoO₄, методом количественного ДТА определены энтальпии плавления эвтектических составов. Исследования данной системы проводились в лаборатории «Ионные расплавы и твердые электролиты» ДГПУ под руководством д.х.н. профессора А.М. Гасаналиева. Некоторые диаграммы состояний показаны на рис. 1, 2.

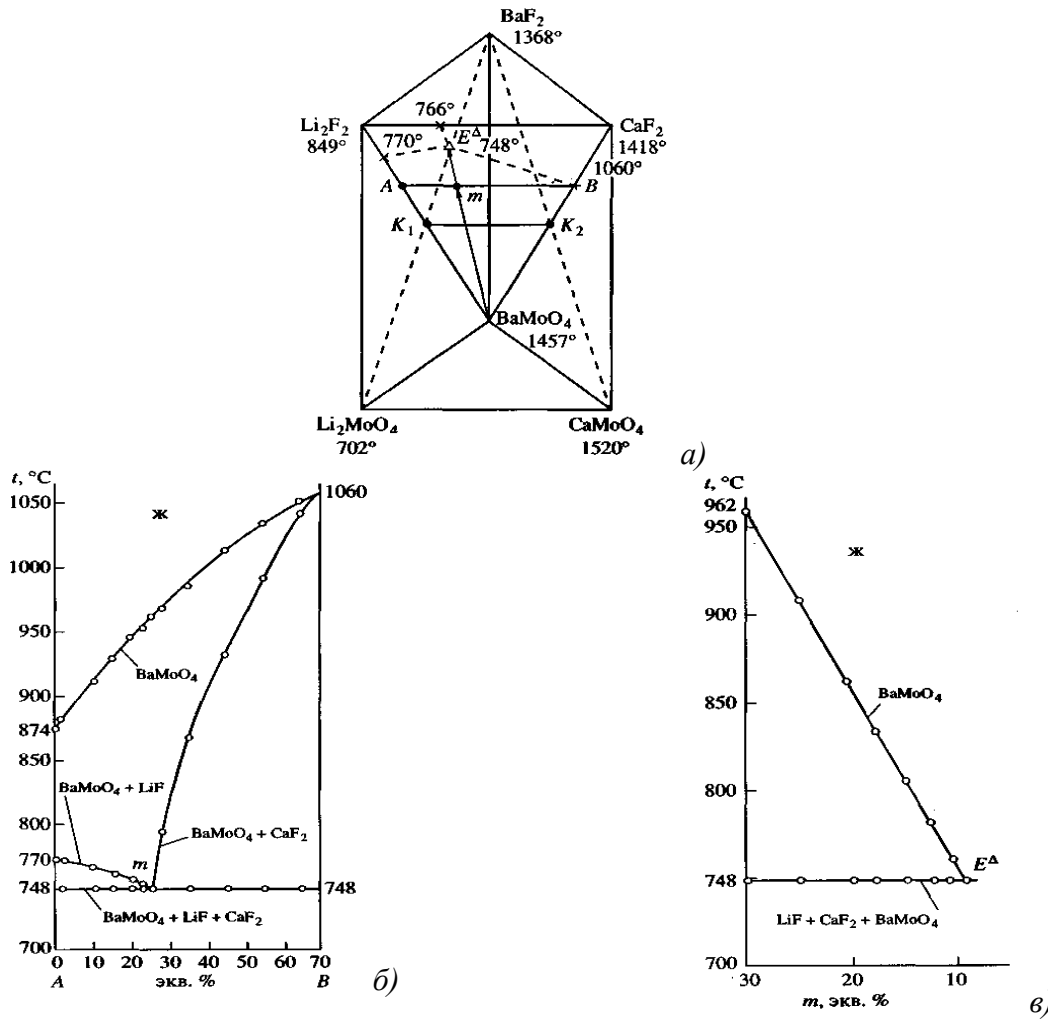


Рисунок 1 – Расположение политермического разреза $A-B$ в диаграмме составов (а), диаграммы состояний разрезов $A-B$ (б) и $BaMoO_4 \rightarrow m \rightarrow E^\Delta$ (в)

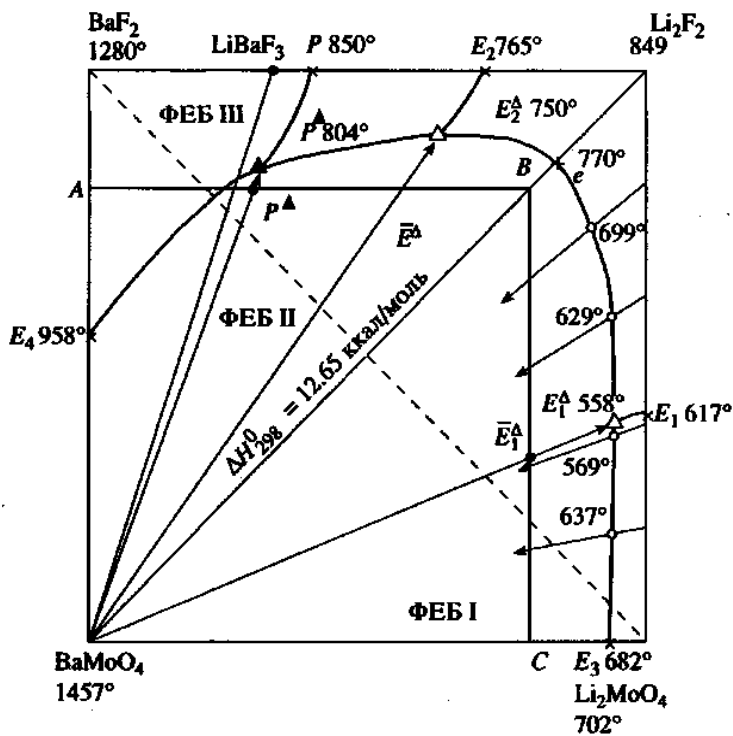


Рисунок 2 – Диаграмма составов системы $Li, Ba // F, MoO_4$ и расположение политермических сечений $A-B, B-C$,
 $BaMoO_4 \rightarrow \bar{E}_1^\Delta \rightarrow E_1^\Delta$;
 $BaMoO_4 \rightarrow \bar{E}_2^\Delta \rightarrow E_2^\Delta$;
 $BaMoO_4 \rightarrow \bar{P}^\Delta \rightarrow P^\Delta$

На основе экспериментальных данных построены древо фаз и комплексный чертеж общей компактной развертки ограничивающих элементов системы Li, Na, Ca, Ba // F, MoO₄ и подтверждена матрица смежности системы, которая, в свою очередь, является основой для выявления химических реакций, протекающих в данной МКС.

Исследовано с целью поиска новых энергоемких ФТАМ сечение NaF-NaNO₃-NaCl. Экспериментальными исследованиями выявлен состав эвтектики – 5%NaF; 87% NaNO₃; 8% NaCl, $T_{пл} = 288^{\circ}\text{C}$ (рис. 3). Определена методом количественного ДТА теплота фазового перехода данного эвтектического состава – $\Delta H_{пл.} = 224 \text{ кДж/кг}$.

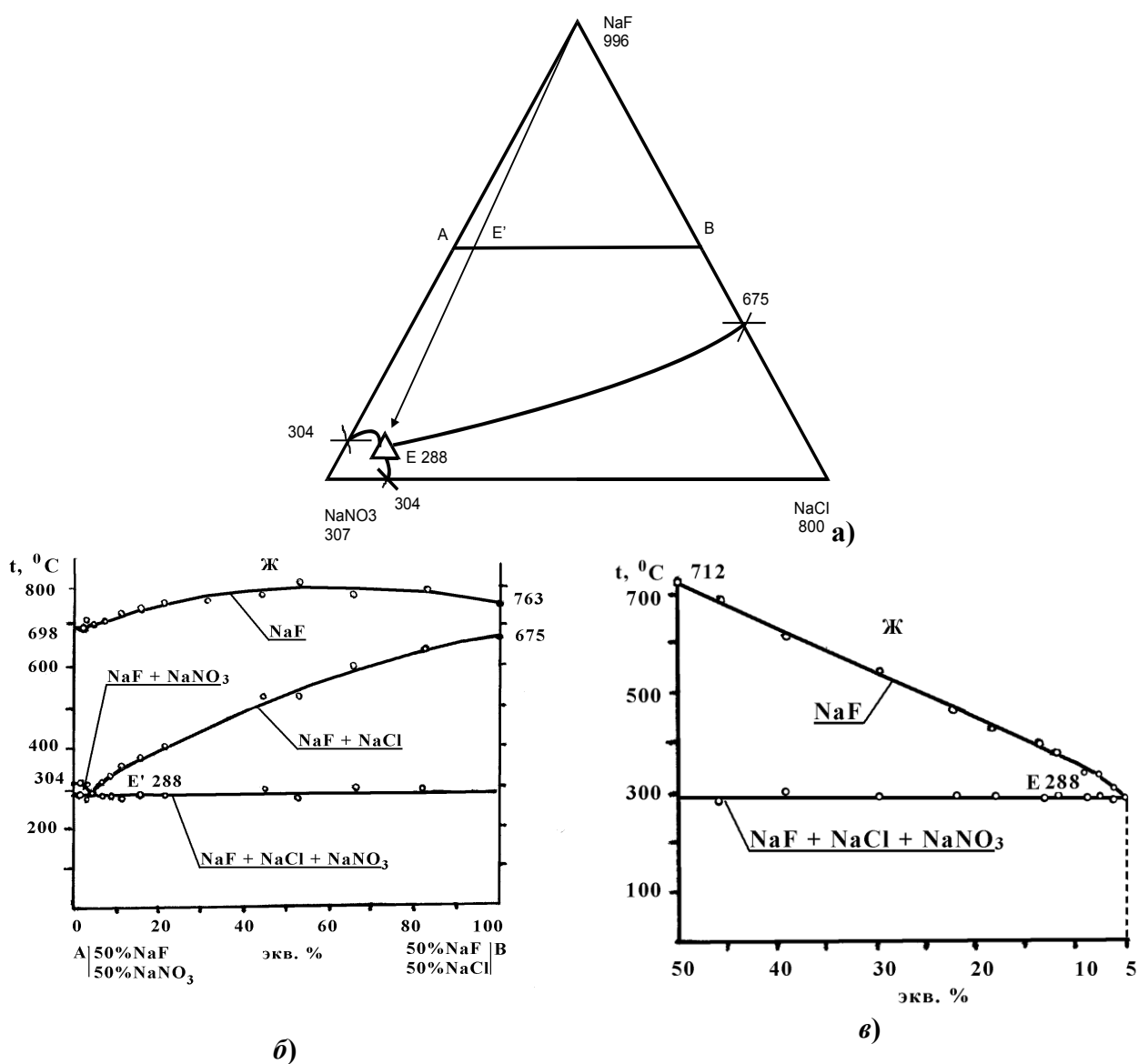


Рисунок 3 – Диаграммы составов системы NaF- NaCl- NaNO₃ (а) и политермических разрезов А–В (б) и E' –E (в)

Выявленные впервые эвтектические составы МКС являются перспективными энергоемкими ФТАМ.

Обоснована необходимость разработки нового алгоритма описания химических и термохимических (с указанием тепловых эффектов) реакций в многокомпонентных взаимных системах и составления по нему компьютерной программы выявления энергоемких теплоносителей и фазопереходных теплоаккумулирующих материалов. Приведены разработанные методика, алгоритм, блок-схема и программа «ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ реакций в МКС в зависимости от температуры», которая оперативно с минимальными трудозатратами позволяет выявлять возможные химические и термохимические реакции, протекающие во взаимных многокомпонентных системах с любым числом соединений и, в зависимости от температуры, определять относительные объемные изменения химических превращений; температуры, при которой тепловые эффекты реакций принимают максимальные значения.

Выявление уравнений химических реакций осуществляется сопоставлением выявленных наборов левых и правых частей.

При сопоставлении выявленных наборов должны соблюдаться следующие условия:

- наличие в обеих сопоставляемых частях одних и тех же ионов;
- отсутствие в сопоставляемых левых и правых частях одинаковых фаз;
- возможность уравнивания смоделированных реакций.

Уравнивание описываемых реакций осуществляется решением систем линейных алгебраических уравнений с неизвестными – коэффициентами перед соединениями, составляющими левые и правые части уравнений.

При этом все стехиометрические коэффициенты должны быть целыми положительными числами и не должны равняться нулю.

Определение тепловых эффектов реакций в зависимости от температуры производится по формуле

$$\Delta H_{\text{реакц}} = \left[\sum_{i=1}^k X_i \Delta_f H^0(0)_i^{\text{прод}} + \sum_{i=1}^k X_i (H_T^0 - H_0^0)_i^{\text{прод}} \right] - \left[\sum_{j=1}^n X_j \Delta_f H^0(0)_j^{\text{исх}} + \sum_{j=1}^n X_j (H_T^0 - H_0^0)_j^{\text{исх}} \right] \quad (1)$$

где X_i, X_j стехиометрические коэффициенты для продуктов и исходных компонентов в уравнении реакции. Температурную функцию $H_T^0 - H_0^0$ удобно задавать в программе в виде полинома, использованного в базе данных (БД) ИВ-ТАНТЕРМО

$$\frac{H_T^0 - H_0^0}{T} = h_1 + h_2/x^2 + h_3/x + h_4 \times x + h_5 \times x^2 + h_6 \times x^3, x = 10^{-4} \times T \quad (2)$$

Поскольку теплота реакции, также как энтальпии образования задана в кДж/моль, а функция (2) в Дж/(моль К), расчетная формула (1) примет вид

$$\Delta H_{\text{реакц}} = \left[\sum_{i=1}^k X_i \Delta_f H^0(0)_{i}^{\text{прод}} + \frac{T}{1000} \times \sum_{i=1}^k X_i \left(\frac{H_T^0 - H_0^0}{T} \right)_i^{\text{прод}} \right] - \left[\sum_{j=1}^n X_j \Delta_f H^0(0)_{j}^{\text{исх}} + \frac{T}{1000} \times \sum_{j=1}^n X_j \left(\frac{H_T^0 - H_0^0}{T} \right)_j^{\text{исх}} \right] \quad (3)$$

Погрешность расчетов тепловых эффектов по формуле (3) при $T = 298,15$ К составляет $\pm 3,00$ кДж/моль и соответствует погрешности справочных данных по $[H_T^0 - H_0^0]/T$ и $H(0)$.

Объемные изменения систем при плавлении и химических превращениях определяются вводом информации по относительным мольным изменениям компонентов МКС $\Delta V/V$, в %, по формуле:

$$\Delta V_{\text{реакц}}^{\text{отн}} = \sum_{i=1}^k X_i \Delta V_{\text{прод.}}^{\text{отн.}} - \sum_{j=1}^n X_j \Delta V_{\text{исх.}}^{\text{отн.}} \quad (4)$$

Программа апробирована на реальных МКС: Li, Na, Ca, Ba/F, MoO₄; Na, K, Ca, Ba/F, Cl, MoO₄, WO₄; Li, Na, K, Mg/F, Cl, Br, SO₄.

Для выявления термохимических реакций во взаимных системах Li, Na, Ca, Ba/F, MoO₄ использованы данные, полученные автором экспериментальным путем, а для Na, K, Ca, Ba/F, Cl и Li, Na, K, Mg/F, Cl, Br, SO₄ использованы известные экспериментальные данные других авторов. Данные МКС включают энергоемкие эвтектические составы для использования в качестве ФТАМ, поэтому они взяты нами с целью поиска энергоемких термохимических реакций и комбинированного использования составов для теплового аккумулирования.

Входная информация: числа соединений, катионов, анионов, сами катионы и анионы, компоненты МКС, матрица смежности, взятая из литературных источников, теплоты образования и функции $[H_T^0 - H_0^0]/T$, взятые из справочников для компонентов системы.

На основе входной информации разработанная программа позволила выявить термохимические реакции при $T = 298,15$ К в тройных, четверных, пяттерных, шестерных и в семерной взаимных системах, входящих в апробируемые МКС, с определением тепловых эффектов $\Delta H_{\text{реакц}}$ и относительных объемных изменений $\Delta V_{\text{реакц}}^{\text{отн}}$ при химических превращениях, вычисленных по формуле (4).

С помощью разработанной программы выявлены также реакции в диапазоне значений функции $[H_T^0 - H_0^0]/T$ при $298,15 < T < 540$ К, максимальные значения тепловых эффектов и температуры, при которых они достигаются. Реакции,

которые меняют направление протекания (знак теплового эффекта $\Delta H_{\text{реакц}}$) при повышении температуры до $T = 540$ К можно использовать для термохимического аккумулирования.

Наиболее энергоемкие термохимические реакции с указанием тепловых эффектов реакций в ранжированном виде приведены в диссертации.

Анализ выявленных термохимических реакций в разных МКС позволил установить, что сдвиги равновесий в них определенным образом связаны с местом элементов в периодической системе элементов. Минимальный сдвиг равновесия наблюдается в литий-бариевых системах, максимальный – в калий-магниевых системах (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Характер изменения сдвига равновесия во взаимных системах из солей щелочных и щелочноземельных металлов

Катионы	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Li ⁺	а) –27,64 б) –62,62 в) –90,27	а) –3,84 б) 19,58 в) 15,74	а) 3,66 б) 67,28 в) 70,94
Na ⁺	а) –13,44 б) 27,16 в) 13,72	а) 10,36 б) 109,36 в) 119,72	а) 17,86 б) 157,06 в) 174,92
K ⁺	а) 0,84 б) 90,92 в) 91,76	а) 24,64 б) 173,12 в) 197,76	а) 32,14 б) 220,82 в) 252,96

Примечание – В таблице указаны тепловые эффекты реакций в кДж/моль для систем:
а) Cl, Br; б) F, Cl; в) F, Br.

Разработанная программа «ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ реакций в МКС в зависимости от температуры» позволяет выявлять термохимические реакции, протекающие во взаимных многокомпонентных системах, независимо от компонентности при разных значениях температуры, прогнозировать направления их протекания при данной температуре, определяет температуру, при которой реакция обладает максимальным тепловым эффектом и определять относительные объемные изменения при реакциях.

В третьей главе сформулированы практические рекомендации по использованию результатов физико-химического анализа МКС, описаны разработанные и запатентованные автором схемы и конструктивные элементы энергоустановок на ВИЭ с использованием фазопереходных материалов: гелиосушилка; устройство для преобразования солнечной энергии в высокопотенциальную

энергию водяного пара; стеновая панель здания; солнечный коллектор; гелио-устройство для проведения химических реакций; конструкция теплового аккумулятора с ФТАМ. Выполнен анализ энергетической эффективности этих устройств. В диссертации представлены результаты экспериментальных исследований некоторых разработанных установок.

Сравнительные данные о тепловой производительности и температуре воздуха на выходе из сушильной камеры сушилки (СКС) с тепловым аккумулятором и без ФТАМ в зависимости от времени суток приведены на рис. 4 и 5.

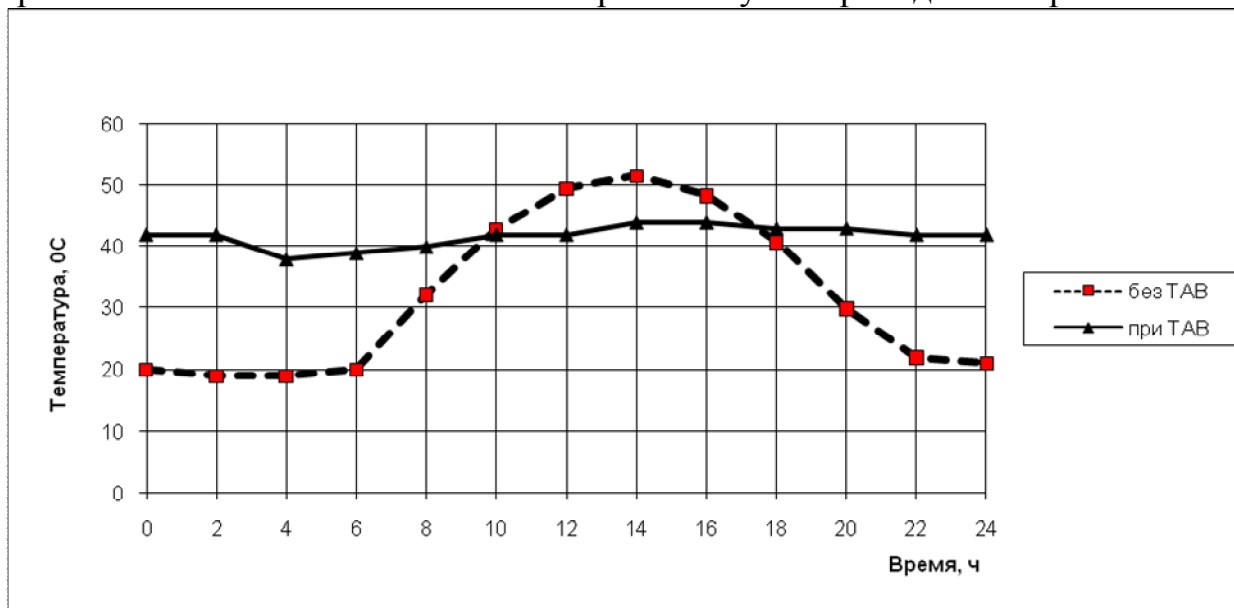


Рисунок 4 – График изменения температуры в СКС с тепловым аккумулятором и без ФТАМ

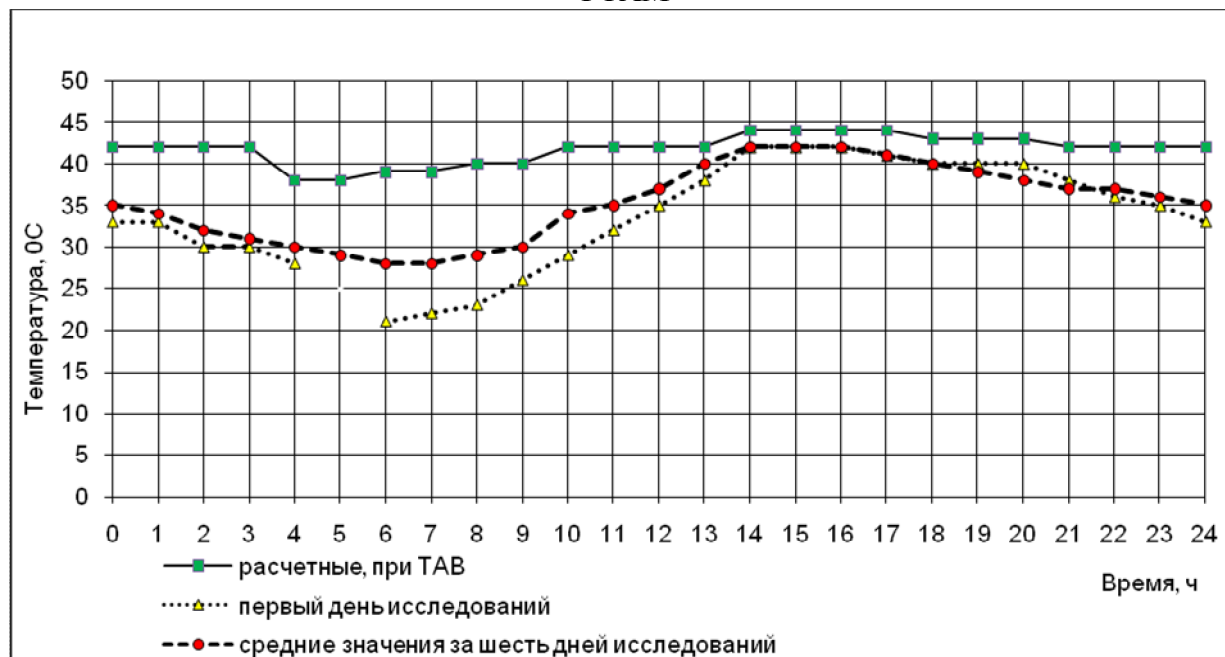


Рисунок 5 – Расчетные и экспериментальные значения температур на выходе из СКС с ФТАМ в зависимости от времени

Использование ФТАМ меняет характер изменения температуры в гелиосушилке, делая его более равномерным, уравнивает температуру в течение суток (рис. 5), в результате чего повышается качество сушки материала, а также снижается время сушки.

Некоторые из выявленных эвтектических составов и предложенных изобретений внедрены в практику (соответствующие акты прилагаются к диссертации).

В четвертой главе на примере Республики Дагестан приведены результаты анализа перспективных групп потребителей энергоустановок на ВИЭ, рассмотрены графики тепловой и электрической нагрузок характерных потребителей, предложены различные варианты энергоснабжения потребителей с учетом имеющихся ресурсов. 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. Разработаны метод и алгоритм, а также описана разработанная автором программа многокритериальной оптимизации энергоснабжения потребителя с использованием ВИЭ.

Сравнение альтернативных вариантов энергоснабжения является трудоемким процессом, тем более при использовании большого количества критериев, а при включении энергосистем на основе местных ВИЭ и разных альтернативных элементов систем, трудозатраты увеличиваются во много раз. Составление и использование компьютерной программы резко сократят трудозатраты, и позволит более обоснованно выбрать оптимальный вариант энергоснабжения потребителя.

В работе разработаны алгоритм, блок-схема и программно-вычислительный комплекс (ПВК) «*Optimum*» и «*Optimization of energysystems*» расчета необходимой тепловой нагрузки и электроэнергии потребителя и выбора оптимального варианта комбинированного энергоснабжения путем автоматизированного сравнения неограниченного количества вариантов комплексных технических систем с использованием ВИЭ по многим взаимосвязанным технико-экономическим, энергетическим, экологическим и социальным показателям.

Методика сравнительного анализа, по которой составлена программа, состоит в следующем.

1. Входная информация к программе. Количество энергосистем, имеющихся ресурсов и видов энергий, в которых нуждается потребитель. Исходные

системы энергоснабжения, данные потребителя, графики энергетических нагрузок потребителя. Матрица смежности. В матрице смежности, приняты следующие обозначения: «0» – левые от знака равенства системы (не смежные); «1» – правые от знака равенства системы (смежные). За матрицей смежности приводятся критерии и функции зависимости критериев для сравниваемых систем по порядку их расположения.

2. Методика автоматического формирования вариантов комбинированного энергоснабжения из систем с «0» в матрице. Такие комбинации вариантов комбинированного энергоснабжения из n -систем ($n = 2, 3, 4, 5$ и т.д.) формируются автоматически в соответствии со следующим общим правилом: осуществляется перебор систем строк и столбцов, соответствующих индексам «0» в матрице смежности при наличии в формируемых сочетаниях всех n систем и типов энергии, в которых нуждается потребитель.

3. Методика автоматического формирования вариантов комбинированного энергоснабжения из систем с «1» в матрице. Такие комбинации вариантов комбинированного энергоснабжения из n -систем формируются автоматически в соответствии со следующим общим правилом: осуществляется перебор систем строк и столбцов, соответствующих индексам «1» в матрице смежности при наличии в формируемых сочетаниях всех n систем и типов энергии, в которых нуждается потребитель.

4. Методика сравнительного анализа комбинированного энергоснабжения. Сравнение различных комбинированных систем энергоснабжения производится путем сопоставления выявленных вариантов всевозможных комбинаций с «0» и «1» в матрице смежности. С целью варьирования комбинированных систем в программе предусмотрено задание масок «0-1», «00-11», «01-11», «000-111», «0010-111» и т.д. Маска, например, «010-111» означает, что при формировании комбинаций систем с «0» к ним добавляется одна из систем с «1» в матрице.

При сравнительном анализе выявленных наборов вариантов комбинированных энергосистем должны соблюдаться следующие условия:

- наличие всех типов энергии, в которых нуждается потребитель;
- отсутствие в сравниваемых вариантах одинаковых систем.

5. Уравнивание и группирование сформированных комбинированных энергосистем. Уравнивание описываемых n -системных комбинирований осуществляется решением систем математических уравнений с неизвестными – коэффициентами перед символами отдельных энергосистем в различных вариантах комбинирования.

Системы математических уравнений составляются с учетом требований баланса генерируемой и потребляемой энергией каждого вида. Коэффициенты

находят решением систем линейных алгебраических уравнений методом Жордана-Гаусса. Если количество неизвестных больше количества уравнений, то система математических уравнений решается, придавая значения неизвестным коэффициентам до первого минимального значения, при котором система уравнений будет иметь целочисленное решение. Причем верхний предел придаваемых значений неизвестным коэффициентам задается в компьютерной программе.

Сформированные автоматически все возможные варианты сравнений комбинированных энергосистем группируются по числу энергосистем, т. е. выдают сравнения отдельно в три-, четыре-, пять- и т. д., n -системное комбинирование.

6. Сравнительный анализ сформированных и уравненных вариантов комбинированных энергосистем и выбор оптимального. Предложено производить оценку альтернативных систем энергоснабжения с использованием ВИЭ сравнением вариантов по значениям взаимосвязанных технико-экономических, энергетических, экологических и социальных показателей по методу "паук-диаграмм".

Оценка сравниваемых вариантов осуществляется по диаграмме: **диаграмма, очерчивающая наименьшую площадь, соответствует лучшему варианту энергоснабжения.** Площадь "паук-диаграммы" каждой энергосистемы $K(i)^{\text{эс}}$ вычисляется как сумма площадей треугольников по формуле

$$K(i)^{\text{эс}} = \sum_{i=1}^p [0,5 \sin(2\pi/p) \cdot Q \cdot (\sum_{j=1}^k X_j C_{e_j} \cdot X_1 K_1 + X_1 K_1 \cdot X_2 K_2 + X_2 K_2 \cdot X_3 K_3 + \dots + X_{p-1} K_{p-1} \cdot X_p K_p + X_p K_p \cdot \sum_{j=1}^k X_j C_{e_j})^{\text{эс}}], \quad (5)$$

где p – число вводимых критериев; C_{e_j} – цена единицы продукции; $X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ – коэффициенты перед критериями; $K_1, K_2, K_3, \dots, K_p$ – значения критериев сравнения, чем меньше их значения тем лучше энергосистема, в противном случае вводятся их обратные величины.

Если значения площадей "паук-диаграмм" для различных сравниваемых систем будут практически равны и нет возможности очевидного выбора, то исключаются менее важные критерии и вводятся наиболее важные. Таким образом, определяется приоритет показателей.

При использовании нескольких энергосистем (комбинированном энергоснабжении) в сравниваемых вариантах должны выполняться условия:

$$\sum Q \cdot a_{ij} = Q, \quad (6)$$

и для каждого $j^{\text{ого}}$ варианта

$$\sum_{i=1}^{i=n} a_{ij} = 1,0,$$

где a_{ij} – доли необходимой потребителю энергии Q генерируемой i -той системой в j -ом варианте комбинированного энергоснабжения (при выражении долей в % сумма a_{ij} должна равняться 100%), т. е. необходимо, чтобы потребитель был полностью обеспечен энергией Q .

Сравнительный анализ вариантов комбинированных энергосистем осуществляется по разности $\Delta K_{\text{ЭС}}$ суммарных площадей «паук-диаграмм» между левыми (левые от знака равенства) и правыми (правые от знака равенства) вариантами

$$\Delta K_{\text{ЭС}} = K(i)^{\text{пр.ЭС}} - K(i)^{\text{лев.ЭС}}, \quad (7)$$

где $K(i)^{\text{пр.ЭС}}$, $K(i)^{\text{лев.ЭС}}$ – суммы площадей «паук-диаграмм» введенных критериев ресурсов и систем, входящих в правую и левую части сравнений, соответственно, которые определяются для каждой системы по формуле (5).

При сравнении только по приведенным затратам или по цене единицы продукции вычисляются разности $\Delta Z_{\text{ЭС}}$, $\Delta Ce_{\text{ЭС}}$ между суммами входящих в правые $Z_j^{\text{пр.ЭС}}$, $Ce_j^{\text{пр.ЭС}}$ и левые $Z_j^{\text{лев.ЭС}}$, $Ce_j^{\text{лев.ЭС}}$ сформированные комбинированные системы

$$\begin{aligned} \Delta Z_{\text{ЭС}} &= \sum_{j=1}^k X_j Z_j^{\text{пр.ЭС}} - \sum_{j=1}^k X_j Z_j^{\text{лев.ЭС}}; \\ \Delta Ce_{\text{ЭС}} &= \sum_{j=1}^k X_j Ce_j^{\text{пр.ЭС}} - \sum_{j=1}^k X_j Ce_j^{\text{лев.ЭС}}. \end{aligned} \quad (8)$$

По этим разностям можно судить, какая из комбинированных энергосистем выгодна с учетом технико-экономических, экологических и социальных критериев.

После ввода исходных данных программа рассчитывает сравнительные характеристики комбинированных систем между разными сочетаниями систем с «0» и «1» в матрице (с указанием всех левых и правых комбинированных систем и разности площадей «паук-диаграмм» критериев) при любой заданной нагрузке потребителя.

Полученные сравнения располагаются в ранжированном порядке по значениям разности площадей «паук-диаграмм». Исходя из этих сравнений и выбирают оптимальную комбинированную систему энергоснабжения потребителя.

Программа позволяет также сравнивать отдельные участки, элементы разных энергосистем между собой и также определять, при каком значении на-

грузки потребителя тот или иной вариант комбинированного энергоснабжения становится оптимальным.

При вводе лишь экологических критериев программа позволяет сравнивать варианты комбинированного энергоснабжения по экологическому влиянию на окружающую среду.

Таким образом, для сравнительного анализа, экспертной оценки и принятия окончательного решения о выборе той или иной системы комбинированного тепло- и электроснабжения применяются неограниченное число критериев, что позволяет более обоснованно выбрать оптимальную систему при доминирующей роли критериев стабильности энергосбережения и использования местных возобновляемых источников энергии.

На основе входной информации для 12 энергетических систем с помощью программы «*Optimization of energy systems*» выявлены 123 сравнительные характеристики между их комбинированиями и в результате составлены перспективные схемы энергоснабжения автономных потребителей на основе возобновляемых источников энергии.

При апробации ПВК для выбора оптимальной системы энергоснабжения автономного потребителя на основе местных энергоисточников были обработаны данные 24 метеостанций, расположенных на территории Республики Дагестан (РД) за 1977 – 1988 и 1995 – 1999 годы. Определен технический ветроэнергетический ресурс на высотах 10 и 50 м. При этом территория РД разделена на три характерные зоны: низменная, предгорная и горная. Построена карта изолиний РД среднегодовых скоростей ветра с учетом рельефа местности, которая позволяет определить ветроэнергетический ресурс не только в местах расположения МС, но и в разных точках РД.

Уточнен ресурс солнечной энергии для трех характерных зон и всей территории РД на горизонтальную и наклонную площадки (при угле наклона, равном широте местности, $\beta = \varphi$) с учетом коэффициента заполнения солнечных преобразователей (при их прямоугольной форме, $K_{\text{зап.}} = 0,95$) на 1 км^2 , с учетом коэффициента использования территории ($K_{\text{исп.тер.}} = 0,1\%$) и времени облачности по месяцам в %, полученным нами путем анализа метеоданных за 2005 – 2012 гг.

Расчет проведен с помощью прикладной программы *Excel*. При изменении любого из параметров – δ , φ , β , % облачности, $K_{\text{зап.}}$, $K_{\text{исп.тер.}}$ результаты расчетов меняются автоматически. Таким образом, можно определить ресурс солнечной энергии для любой точки РД.

Апробация программы проводилась для местных условий РД. Расчеты, проведенные с использованием разработанного ПВК путем сравнительного анализа с учетом основных критериев и местных ресурсов возобновляемых ис-

точников энергии показали, что для энергоснабжения автономного потребителя (села), расположенного в горной зоне Республики Дагестан, оптимальным вариантом является энергоснабжение малыми гидроэлектростанциями, для которого приведенные затраты $Z(5) = 2,50$ млн руб, себестоимость $C(5) = 265$ руб/ГДж. На втором месте второй вариант – комбинированное энергоснабжение с использованием солнечной системы теплоснабжения (ССТ) – 6,3%, фотоэлектрической установки (ФЭУ) – 3,0%, ветроэнергетической установки (ВЭУ) – 6,0%, биогазовой установки (БГУ) – 5,0%, микро-гидроэлектростанции (МГЭС) – 79,7% с аккумуляторными батареями (АБ) и аккумулятором тепла (АТ), для которого $Z(2) = 2,78$ млн руб, $C(2) = 293$ руб/ГДж. В АТ разработанный нами используется фазопереходный теплоаккумулирующий материал – эвтектический состав на основе МКС выявленный экспериментально.

В главе приведены также методики разработки и оптимизации режима работы «местной энергосистемы (микроэнергокомплекса – МЭК)» на основе возобновляемых источников энергии с тепловым аккумулярованием. Разработанные методы и ПВК апробированы для энергоснабжения автономного потребителя по второму варианту при заданных условиях.

В основу модели функционирования микроэнергокомплекса (МЭК) в течение суток положено уравнение баланса мощностей

$$N_{\text{нагр}} = F_{\text{ФЭУ}} \cdot N_{\text{ФЭУ}}^{\text{уд}} + F_{\text{ССТ}} \cdot N_{\text{ССТ}}^{\text{уд}} + F_{\text{ВЭУ}} \cdot N_{\text{ВЭУ}}^{\text{уд}} + N_{\text{МГЭС}} + N_{\text{БГУ}} + N_{\text{ЭАУ}} + N_{\text{балластного ТА}} \quad (9)$$

где $F_{\text{ФЭУ}}, F_{\text{ССТ}}, F_{\text{ВЭУ}}, N_{\text{ФЭУ}}^{\text{уд}}, N_{\text{ССТ}}^{\text{уд}}, N_{\text{ВЭУ}}^{\text{уд}}$ – площади и удельные значения мощностей фотоэлектрических устройств, солнечной системы теплоснабжения и ветроэнергетической установки, согласно графиков суточного изменения, соответственно; $N_{\text{МГЭС}}, N_{\text{БГУ}}, N_{\text{ЭАУ}}, N_{\text{балластного ТА}}$ – мощности микро-гидроэлектростанции, биогазовой установки, энергоаккумулирующих устройств и мощность, рассеиваемая балластным сопротивлением на тепловое аккумулярование, соответственно.

Текущая емкость энергоаккумулирующей установки (ЭАУ) ($W_{\text{ЭАУ}}$) определяется по формуле:

$$W_{\text{ЭАУ}} = W_{\text{ЭАУ}}^0 + \int_0^T (N_{\text{АБ}} \cdot \eta_{\text{АБ}} + N_{\text{ТА}} \cdot \eta_{\text{ТА}}) dt \quad (10)$$

где $W_{\text{ЭАУ}}^0$ – емкость ЭАУ на начало суток; $N_{\text{АБ}}, N_{\text{ТА}}, \eta_{\text{АБ}}, \eta_{\text{ТА}}$ – мощности и КПД аккумуляторных батарей (аккумуляторов электрической энергии) и тепловых аккумуляторов, соответственно.

Математическая модель суточных режимов работы микроэнергокомплекса реализована в прикладной программе *Excel*. Исходные данные и результаты расчетов представлены в табличном и графическом виде. Расчеты можно выполнить для характерных суток каждого календарного месяца. Для этого вводятся исходные данные по суточному распределению солнечной радиации и скорости

ветра, мощности МГЭС и БГУ. С изменением этих данных изменяется вся информация о работе МЭК в табличной и графической форме. Фактические значения мощностей МГЭС, БГУ и площадей ФЭУ, ССТ, ВЭУ корректируются с учетом изменения их среднесуточных значений.

Таким образом, с помощью разработанной компьютерной программы можно выбрать оптимальный вариант комбинированной системы энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии и теплового аккумулирования. ПВК позволяет, кроме получения конечного решения, проанализировать и обработать промежуточные результаты, оценивать экологическое влияние каждой системы энергоснабжения.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Впервые экспериментально исследованы характеристики фазовых равновесий и химических взаимодействий в системах Li, Na, Ca, Ba//F, MoO₄; NaF- NaCl- NaNO₃; Li, Na, K, Mg//F, Cl, Br, SO₄, которые представляют практический интерес для теплового и термохимического аккумулирования.
2. Впервые экспериментально выявлены эвтектические составы солевых расплавов на основе МКС, обладающие высокими значениями энтальпий плавления от 189 до 782 кДж/кг, и перспективные для использования в качестве фазопереходных теплоаккумулирующих материалов. Даны рекомендации по практическому использованию результатов физико-химических методов анализа для использования в системах энергоснабжения потребителей энергии в качестве теплоносителей и фазопереходных теплоаккумулирующих материалов.
3. Разработаны методика, алгоритм и программа описания химических и термохимических реакций в МКС в зависимости от температуры независимо от компонентности в рамках которой:
 - решена задача описания при разных температурах стехиометрических термохимических реакций в любой точке фигуры конверсии МКС независимо от числа компонентов;
 - определены температуры, при которых реакции обладают наибольшим тепловым эффектом;
 - определены объемные расширения при химических превращениях в МКС;

- вычислены значения тепловых эффектов реакций и раскрыта картина химических взаимодействий в МКС Li, Na, Ca, Ba/F, MoO₄; Li, Na, K, Mg/F, Cl, Br, SO₄ в зависимости от температуры.

4. Предложены эффективные конфигурации энергоустановок на ВИЭ и разработаны конструкции используемых в них фазопереходных тепловых аккумуляторов, в том числе: гелиосушилка, устройство для преобразования солнечной энергии в высокопотенциальную энергию водяного пара, стенная панель здания, солнечный коллектор, конструкция теплового аккумулятора. Выполненные экспериментальные исследования разработанных устройств подтвердили эффективность использования в них аккумуляторов тепла на фазовых переходах. Ряд разработанных устройств внедрен в практику.
5. Разработаны алгоритм, методика расчета нагрузки и принципы оптимизации систем энергоснабжения автономного потребителя с использованием возобновляемых источников энергии и разработан программно-вычислительный комплекс (ПВК). ПВК позволяет рассчитывать необходимые данные для проектирования энергогенерирующей установки, обоснованно выбрать оптимальный вариант энергоснабжения с наименьшими трудозатратами, позволяет сформировать оптимальный МЭК. Оптимизация осуществляется сравнением большого количества вариантов по взаимосвязанным технико-экономическим, социальным и экологическим критериям.
6. Апробация разработанной программы по 9 видам ресурсов для среднего села в горном районе с количеством жителей 300 человек показывает, что оптимальным вариантом тепло- и электроснабжения его является энергоснабжение от МГЭС и комбинированная система с включением МГЭС, ССТ, ФЭУ, ВЭУ и БГУ. Система энергоснабжения автономного потребителя должна базироваться на создании небольших автономных установок с комплексным использованием различных возобновляемых источников энергии.
7. Разработана методика оптимизации параметров отдельных энергетических систем, входящих в микроэнергокомплекс. Проведенный анализ работы такого МЭК, включающего МГЭС, ССТ, ФЭУ, ВЭУ и БГУ с суточным аккумулярованием для летнего и зимнего периодов времени, позволяет оптимизировать параметры всех энергетических блоков, входящих в МЭК, и автоматизировать режим регулирования потребления и генерации энергии.

Результаты исследования изложены в 150 работах.

Из них основными являются следующие:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. *Вердиев Н. Н., Гасаналиев А. М., Бабаев Б. Д.* Фазовые равновесия в системах Li,Na,Ba//MoO_4 и Li,Ca,Ba//MoO_4 // Журнал неорганической химии. –1996. –Т. 41, –№2. –С. 309-312.
2. *Вердиев Н. Н., Бабаев Б. Д., Курбанмагомедов К.Д., Гасаналиев А. М.* Фазовый комплекс системы Li,Ca//F,MoO_4 // Журнал неорганической химии. –1996. –Т. 41, –№ 5. –С. 847-849.
3. *Бабаев Б. Д., Вердиев Н. Н., Гасаналиев А. М.* Диаграмма состояния системы $\text{Li}_2\text{MoO}_4\text{-Na}_2\text{MoO}_4\text{-CaMoO}_4$ // Журнал неорганической химии. –1996. –Т. 41,–№ 5.–С. 863-866.
4. *Бабаев Б. Д., Вердиев Н. Н., Гасаналиев А. М.* Стабильный треугольник $\text{Li}_2\text{F}_2\text{-CaF}_2\text{-BaMoO}_4$ // Журнал неорганической химии.–1996. –Т. 41, –№ 11, –С. 1934-1936.
5. *Бабаев Б. Д., Вердиев Н. Н., Гасаналиев А. М.* Фазовая диаграмма системы Li,Ba//F,MoO_4 // Журнал неорганической химии. –1997.–Т. 42,–№ 5. –С. 845-847.
6. *Бабаев Б. Д., Гасаналиев А. М.* Четверная система $\text{Li}_2\text{MoO}_4\text{-Na}_2\text{MoO}_4\text{-CaMoO}_4\text{-BaMoO}_4$ // Неорганические материалы. –2000.–Т 36,–№9.–С. 1137-1141.
7. *Бабаев Б. Д., Мамаев Н. И.* Выбор размеров бака-аккумулятора и коллектора в системах солнечного теплоснабжения зданий // Изв. вузов. Северо-Кавк. регион. Технические науки. –2002.–№ 1. –С. 113-114.
8. *Бабаев Б. Д.* Система NaF- NaCl- NaNO_3 // Неорганические материалы. –2002.–Т. 38, –№ 1. –С. 96-97.
9. *Бабаев Б. Д., Баламирзоев А. Г.* Оптимизация энергоснабжения автономных потребителей с использованием возобновляемых источников энергии // Изв. вузов. Северо-Кавк. регион. Техн. науки. –2002. Спецвыпуск. –С. 28-30.
10. *Бабаев Б. Д.* Критерии выбора альтернативных комбинированных систем энергоснабжения // Изв. вузов. Северо-Кавк. регион. Технические науки. –2003. –Приложение № 1. –С. 49-50.
11. *Бабаев Б. Д., Мамаев Н. И.* Определение тепловой нагрузки системы солнечного теплоснабжения с аккумулятором для жилого дома // Изв. вузов. Северо-Кавк. регион. Технические науки. –2003. –№ 2. –С. 49-50.

12. *Бабаев Б. Д., Гасаналиев А. М.* Диаграмма состояния системы LiF- NaF- CaF₂- BaF₂- BaMoO₄ // Неорганические материалы. –2003. –Т. 39, –№ 11.–С. 1389-1393.
13. *Бабаев Б. Д.* Формирование вариантов систем энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии для сравнительной оценки // Изв. вузов. Северо-Кавк. регион. Технические науки. –2003. –№ 1. –С. 31.
14. *Бабаев Б. Д.* Блок-схема описания химических реакций в многокомпонентных взаимных системах // Журнал неорганической химии. –2005. –Т. 50, –№ 5. –С. 815-818.
15. *Бабаев Б. Д.* Метод расчета энергетической нагрузки автономного потребителя с учетом местных возобновляемых топлив // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. –2012. –№ 24 (1). –С. 20-26.
16. *Бабаев Б. Д.* Ветроэнергетический ресурс Дагестана // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. –2012. –№ 25 (2). –С. 123-130.
17. *Бабаев Б. Д., Баламирзоев А. Г.* Оптимизация энергоснабжения автономного потребителя с использованием возобновляемых источников энергии и ЭВМ // Изв. вузов. Северо-Кавк. регион. Технические науки. –2012. –№1. –С. 53-56.
18. *Бабаев Б. Д.* Стабильная мощность солнечной ветроэнергетической установки // Альтернативная энергетика и экология. –2012. –№ 1. –С. 26-27.
19. *Бабаев Б. Д.* Энергетические характеристики двухкамерной системы солнечного энергоснабжения с водоаммиачным теплоносителем // Вестник Дагестанского государственного университета. Естественные науки. –2012. –В. 1. –С. 38-39.
20. *Бабаев Б. Д., Волшаник В. В.* Использование естественных водотоков в солнечных системах горячего водоснабжения // Экология урбанизированных территорий. –2012. –№ 1. –С. 64-65.
21. *Бабаев Б. Д., Волшаник В. В.* Исследование процессов сушки материалов в гелиосушилке для фруктов и овощей // Международный технико-экономический журнал. –2012. –№ 2. –С. 76-83.
22. *Бабаев Б. Д., Волшаник В. В.* Волноэнергетические ресурсы Каспийского моря // Гидротехническое строительство. –2012. –№ 9. –С. 51-53.
23. *Бабаев Б. Д., Волшаник В. В., Данилин В. Н.* Энергетическая установка для использования тепла автомобильных дорог и улиц городов // Экология урбанизированных территорий. –2012. –№ 2. –С. 29-32.
24. *Волшаник В. В., Бабаев Б. Д.* Прогнозирование экологической обстановки разработанной программой ЭВМ выявления химических взаимодействий //

- Вестник РУДН, серия: Инженерные исследования. –2012. –№ 4. –С. 135-140.
25. *Бабаев Б. Д.* Карта изолиний равных среднегодовых скоростей ветра Дагестана // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. –2012. –№ 27. –С. 122-127
 26. *Бабаев Б. Д., Волианик В. В.* Расчет гелиосистемы теплохладоснабжения с водоаммиачным теплоносителем графическим методом // Международный научный журнал. –2013. –№ 5. –С. 76-79.
 27. *Бабаев Б. Д.* Высокотемпературные фазопереходные теплоаккумулирующие материалы на основе системы Li, Na, Ca, Ba // F, MoO₄ и их свойства // Теплофизика высоких температур. –2014. –Т. 52,–№ 4. –С. 568-571.
 28. *Бабаев Б. Д.* Метод расчета параметров комбинированной энергосистемы на основе солнечной и ветровой энергий // Международный технико-экономический журнал. –2014. –№ 2. –С. 95-100.
 29. *Бабаев Б. Д.* Принципы теплового аккумулирования и используемые теплоаккумулирующие материалы // Теплофизика высоких температур. –2014. –Т. 52,–№ 5. –С.760-776.
 30. *Волианик В. В., Бабаев Б. Д.* Потенциальная мощность осмотической электростанции Волга - Каспий //Гидротехническое строительство. –2014. –№9. –С. 36.
 31. *Бабаев Б. Д., Волианик В. В.* Сравнительная оценка экологического влияния разных систем энергоснабжения, выполненная в программе «Optimum» // Вестник Московского энергетического института. –2014. –№4. –С. 29-32.
 32. *Бабаев Б. Д.* Блок-схема оптимизации комбинированного энергоснабжения потребителя // Энергетик. –2015. –№2. –С. 19-21.
 33. *Бабаев Б. Д.* Новые фазопереходные материалы для теплового аккумулирования энергии возобновляемых источников и их экологическая безопасность // Альтернативная энергетика и экология. –2015. –№20. –С. 14-18.
 34. *Бабаев Б. Д.* Методика определения оптимальных параметров солнечной системы теплоснабжения с фазопереходным тепловым аккумулятором // Международный технико-экономический журнал. –2015. –№ 4. –С. 97-100.
 35. *Бабаев Б. Д.* Возобновляемый концентрационный гальванический элемент и его использование для получения водорода // Альтернативная энергетика и экология. –2015. –№21.–С. 121-123.
 36. *Бабаев Б. Д.* Сравнительный анализ энергетической эффективности стеновой панели с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом // Мониторинг. Наука и технологии. –2015. –№ 4 (25). –С. 96-99.
 37. *Бабаев Б. Д.* Особенности энергетики Дагестана и возможные пути ее развития // Мониторинг. Наука и технологии. –2015. –№ 4 (25). –С. 40-44.

38. *Бабаев Б. Д.* Экспериментальное исследование гелиосушильной установки с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом // Мониторинг. Наука и технологии. –2016. –№ 1 (26). –С. 90-91.
39. *Бабаев Б. Д.* Аккумуляторы тепла при использовании возобновляемых источников энергии. Перспективные направления новых разработок // Энергетик. –2016. –№ 3. –С. 19-22.

Другие статьи, книги и материалы конференций

40. *Бабаев Б. Д.* Фазопереходный материал для аккумуляирования среднетенциальной тепловой энергии на основе системы NaF- NaCl- NaNO₃ // Вестник Дагестанского государственного университета. Естественные науки. – 2000. –В. 1. –С. 5-7
41. *Бабаев Б. Д.* Анализ целесообразности использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии на территории республики Дагестан. /Геотермальная энергетика – геологические, экономические и энергетические аспекты: тезисы докладов Межд. конф. 19 – 22 сентября 2000 г. – Симферополь: –2000. –С. 13-14.
42. *Мамаев Н. И., Бабаев Б. Д.* Физические основы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии. –Махачкала: ИПЦ ДГУ, –2001. –116 с.
43. *Бабаев Б. Д.* Корреляционная связь между значениями скоростей ветра и плотность его энергии в трех пригородных точках Махачкалы // Вестник Дагестанского государственного университета. Естественные науки. –2001. –В. 4. –С. 17-19.
44. *Бабаев Б. Д.* Тепло- и холодоаккумулирующие материалы и их использование. –М.: –2002. –65 с. –Деп. в ВИНТИ 06.02.02 № 245-В2002.
45. *Бабаев Б. Д., Данилин В. Н.* Энергоаккумулирующие установки. –Махачкала: ИПЦ ДГУ, –2002. –199 с.
46. *Бабаев Б. Д.* Энергетическая система комбинированного теплоснабжения дома в отдаленной от центральных систем местности. /Энергосбережение – теория и практика: Первой всероссийской Школы-семинара молодых ученых и специалистов. –М.: Издательство МЭИ, –2002. –С. 93-94
47. *Бабаев Б. Д., Данилин В. Н.* Исследование воздушных потоков вдоль авто-трасс. /Энергосбережение – теория и практика: тезисы Первой всероссийской Школы-семинара молодых ученых и специалистов. –М.: Издательство МЭИ, –2002. –С. 223-224.
48. *Бабаев Б. Д., Данилин В. Н., Гасаналиев А. М.* Расчет энергетических характеристик процессов зарядки и разрядки аккумулятора на основе системы MgO-Mg(OH)₂. /Физико-химический анализ многокомпонентных систем:

- тезисы докладов II Всероссийской научн. конф., 2002 г. –Махачкала: ДГПУ (НИИ ОНХ), –2002. –С. 27-28
49. *Бабаев Б. Д.* КПД термохимических преобразователей солнечной энергии. // Электронный научный журнал "Физико-химический анализ свойств многокомпонентных системах". ISSN 1819-5830. В. 1. 2003 г. [Электронный ресурс] –Режим доступа: <http://www.kubstu.ru/conf>.
50. *Бабаев Б. Д.* Термохимическое аккумулирование на основе реакций, протекающих в МКС. /Образование и подготовка специалистов в области возобновляемых источников энергии: Проблемы и перспективы XXI века: Материалы Межд. школы-семинара ЮНЕСКО / Под ред. М. Г. Беренгартена, С. И. Вайнштейна, А. Г. Евстафьева. –М.: МГУИЭ, –2003. –С. 191-192.
51. *Бабаев Б. Д.* Компьютерные методы обучения по выбору оптимальной комбинированной системы энергоснабжения автономного потребителя с использованием НВИЭ по программе «Optimum». /Образование и подготовка специалистов в области возобновляемых источников энергии: Проблемы и перспективы XXI века: Материалы Межд. школы-семинара ЮНЕСКО/Под ред. М. Г. Беренгартена, С. И. Вайнштейна, А. Г. Евстафьева. –М.: МГУИЭ, –2003. –С. 149-153.
52. *Бабаев Б. Д.* Бак-аккумулятор для термохимического и фазопереходного аккумулирования тепла. /Возобновляемая энергетика 2003: Состояние, проблемы, перспективы. 4 – 6 ноября 2003 г. Сборник докладов. –С. Птб.: Изд-во СПбГПУ. –2003. –С. 528-530.
53. *Бабаев Б. Д.* Алгоритм оптимизации тепло- и энергоснабжения автономных потребителей с использованием возобновляемых источников энергии // Вестник Дагестанского государственного университета. Естественные науки. –2004. –В.1 –С. 24-26.
54. *Бабаев Б. Д.* Система теплоснабжения с новым типом солнечного коллектора. /Энергоснабжение в теплоэнергетике и теплоэлектротехнологиях: тезисы Межд. научно-практ. конф. 19 апреля 2010 г. / под ред.: В. В. Шалая, А. С. Ненишева, А. Г. Михайлова и др. – Омск: Изд-во ОмГТУ, –2010. –С. 173-174.
55. *Бабаев, Б. Д., Магомедов А. М., Бабаев Э. Б., Мамаев Н. И.* Комбинированная система отопления жилого дома. /Энергоснабжение в теплоэнергетике и теплоэлектротехнологиях: Межд. науч.-практ. конф. 19 апреля 2010 г. / под ред.: В. В. Шалая, А. С. Ненишева, А. Г. Михайлова и др. –Омск: Изд-во ОмГТУ, –2010. –С. 174-176.
56. *Бабаев Б. Д.* Анализ процесса теплообмена в плоском слое фазопереходного теплоаккумулирующего материала. /Фазовые переходы, критические и не-

- линейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов Межд. конф. 21 – 23 ноября 2010 г. –Махачкала: –2010.–С. 266-267.
57. *Бабаев Б. Д., Бабаев Э. Б.* Анализ состояния и обоснование целесообразности строительства малых ГЭС по разработанной программе. /Современные проблемы электроэнергетики и пути их решения. Материалы 1-й Всероссийской научно-практ. конф., 20 декабря 2010 г. –Махачкала: ИД «Эпоха», –2011. –С. 38-54.
58. *Бабаев Б. Д.* Основы сравнительной оценки экологического влияния энергосистем. /Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов. Материалы V Школы молодых уч. им. Э. Э. Шпильрайна. 11 – 12 октября 2012 г/ Под ред. А. Б. Алхасова. –Махачкала: АЛЕФ (ИП Овчинников), –2012. –С. 184-190.
59. *Бабаев Б. Д.* Ресурсы солнечной энергии по республике Дагестан // Мониторинг. Наука и технологии. –2013. –№ 1 (14). –С. 28-35.
60. *Бабаев Б. Д.* Сравнительные характеристики различных типов аккумуляторов тепла, перспективные направления разработок новых методов и устройств для аккумулирования тепловой энергии. /Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов. Материалы VI Школы молодых ученых им. Э. Э. Шпильрайна. 23 – 26 сентября 2013 г. /Под ред. д.т.н. А. Б. Алхасова. –Махачкала: ИП Овчинникова (АЛЕФ), –2013. –С. 125-137.
61. *Бабаев Б. Д.* Программа выявления энергоемких термохимических реакций в многокомпонентных системах для теплового аккумулирования. /Материалы Межд. конф. «Возобновляемая энергетика. Прикладные аспекты разработки и практического использования» 30 июня – 2 июля 2014 г., г. Черноголовка / Под ред. д.т.н. Попеля и к.ф.-м.н., Д. О. Дуникова. – Москва: ОИВТ РАН, –2014. –С. 37-41.
62. *Бабаев Б. Д.* Программно-вычислительный комплекс оптимизации комбинированного энергоснабжения. /Материалы Межд. конф. «Возобновляемая энергетика. Прикладные аспекты разработки и практического использования» 30 июня – 2 июля 2014 г., г. Черноголовка / Под ред. д.т.н. Попеля О.С. и к.ф.-м.н., Д. О. Дуникова. –Москва: ОИВТ РАН, –2014. –С. 42-46.
63. *Бабаев Б. Д.* Ресурсы возобновляемых источников энергии Республики Дагестан: Учебно-справочное пособие. –Махачкала: Изд-во «Радуга», –2015. –102 с.
64. *Бабаев Б. Д., Волшаник В. В.* Экологическая безопасность и эффективность использования для теплового аккумулирования фазопереходных материалов. /Сб. публ. научно-инф. центра «Знание» по мат. Межд. научно-практ. конф.

«Развитие науки в XXI веке», 11.04 г. –Харьков: научно-инф. центр «Знание».
–2015. –Ч.2. –С. 69-77.

Патенты РФ на изобретения и свидетельства о государственной регистрации

65. Патент №2216699, РФ, МПК F26 B3/28, F24 J2/48. Гелиосушилка для сушки фруктов и овощей / *В. Н. Данилин, Б. Д. Бабаев* (РФ). –№2001114092; Заяв 22.05.01; Оpubл. 20.11.03, Бюл. № 32.
66. Патент ПМ (полезная модель) №24270, РФ, МПК F24 J2/10. Устройство для преобразования солнечной энергии в высокопотенциальную энергию водяного пара / *В. Н. Данилин, Б. Д. Бабаев* (РФ). –№200210968/20; Заяв. 08.04.02; Оpubл. 27.07.02. Бюл. № 26
67. Патент №2210040, РФ, МПК F24J2/42, F24J2/00. Устройство для использования гелиевого тепла автомобильных дорог и улиц городов / *В. Н. Данилин, Б. Д. Бабаев* (РФ). –№2001134471/06; Заяв. 17.12.01; Оpubл. 10.08.03. Бюл. № 12
68. Патент №2230263, РФ, МПК F24 J2/24. Солнечный коллектор / *Б. Д. Бабаев, В. Н. Данилин* (РФ). –№2002117347; Заяв. 28.06.02; Оpubл. 10.06.04, Бюл. № 16.
69. Патент №2234034, РФ, МПК F24J2/42, 2/34. Солнечная ветроустановка / *Б. Д. Бабаев* (РФ). –№2002132674; Заяв. 04.12.02; Оpubл. 10.08.04, Бюл. № 22.
70. Патент №2223451, РФ, МПК F24 J2/04, 2/34. Стеновая панель здания / *Б. Д. Бабаев, В. Н. Данилин* (РФ). –№2002106153; Заяв. 06.03.02; Оpubл. 10.02.04, Бюл. № 4.
71. Патент №2312276, РФ, МПК F24 J2/32. Гелиосистема / *Б. Д. Бабаев* (РФ). – №2006114310/06; Заяв. 26.04.06; Оpubл. 10.12.07, Бюл. № 34.
72. Патент №2350855, РФ, МПК F03 G7/06, F24 J2/42. Система солнечного энергоснабжения / *Б. Д. Бабаев, Э. Б. Бабаев* (РФ). –№2007144262/06; Заяв. 28.11.07; Оpubл. 27.03.09, Бюл. № 9.
73. Патент ПМ (полезная модель) № 79989, РФ, МПК F24 J2/00. Солнечный тепловой коллектор / *Б. Д. Бабаев* (РФ). –№2008123807/22; Заяв. 11.06.08; Оpubл. 20.01.09, Бюл. № 2.
74. Патент №2384735, РФ, МПК F03 G6/02, F03 G7/00. Тепловой двигатель / *Б. Д. Бабаев* (РФ). –№2009107653/06; Заяв.03.03.09; Оpubл. 20.03.10, Бюл. № 8.
75. Патент №2460949, РФ, МПК F24 J2/04, F28 D15/00. Система теплохладоснабжения / *Б. Д. Бабаев, Э. Б. Бабаев* (РФ). –№ 2011109423/06; Заяв. 11.03.2011. Оpubл. 10.09.12, Бюл. № 25.

76. Патент №2506504, РФ, М кл.³F 24 J 3/02, F 24 J 2/00, 2/42. Гелиоустановка для химических реакций / Б. Д. Бабаев (РФ). –№ 2012126271/06; Заяв. 22.06.2012. Опубл. 10.02.14, Бюл. № 4.
77. Патент №2536413, РФ, МПК F 03 В 13/22, 13/18, 13/26, Е 02 В 9/08. Волновая электростанция / Б. Д. Бабаев, Э. Б. Бабаев (РФ). –№ 2013108072/06; Заяв. 22.02.2013. Опубл. 20.12.2014, Бюл. № 35.
78. Патент №2547680, РФ, МПК F24H7/00, F24J2/04. Аккумулятор теплоты с фазопереходным материалом / Б. Д. Бабаев (РФ). –№ 2013152593/06; Заяв. 26.11.2013. Опубл. 10.04.15, Бюл. № 10.
79. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ №2002611012 «Программа ”оптимизация системы тепло- и энергоснабжения автономного потребителя ”Optimum”» / Б. Д. Бабаев, А. Г. Баламирзоев // Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 20.06.02.
80. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2003620015 «База данных программы “Optimum”» / Б. Д. Бабаев // Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 8.01.03.
81. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ №2003611296 «Описание химического взаимодействия в многокомпонентных взаимных системах "Reaction"» / Б. Д. Бабаев, Г. М. Халилуллаев // Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 28.05.03.
82. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2003611876 «Описание термохимических реакций в многокомпонентных взаимных системах "Тепловой эффект"» / Б. Д. Бабаев, Г. М. Халилуллаев // Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 12.08.03.
83. Свид. о гос. рег. №73200400092, ФГУП «ВНТИЦ» «Способ получения постоянного тока» / Б. Д. Бабаев // Зарег. 13.05.04.
84. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2005610201 «Описание термохимических реакций в многокомпонентных взаимных системах "Тепловой эффект в зависимости от температуры"» / Б. Д. Бабаев, Г. М. Халилуллаев // Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 21.01.05.
85. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2014613470 «Оптимизация системы энергоснабжения потребителя «Optimization of energysystems» / Б. Д. Бабаев, Г. М. Халилуллаев // Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 26.03.2014 г.

Бабаев Баба Джабраилович

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ С ФАЗОПЕРЕХОДНЫМ
АККУМУЛИРОВАНИЕМ ТЕПЛА**

Автореферат

Подписано в печать _____		Формат 60x84/16
Печать офсетная	Уч.-изд. л.	Усл.-печ. л.
Тираж 100 экз.	Заказ № _____	Бесплатно

ОИВТ РАН. 125412, Москва, Ижорская ул., 13, стр. 2