

**ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора технических наук

**ТЯГУНОВА Михаила Георгиевича**

на диссертацию **БАБАЕВА Баба Джабраиловича**

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

на соискание ученой степени доктора технических наук

по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы

**1. Актуальность избранной темы.**

Повышение эффективности и надежности энергоснабжения потребителей, особенно в изолированных энергосистемах с установками на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в значительной степени связано с разработкой накопителей энергии, предназначенных для компенсации неравномерности выработки энергии установками на основе ВИЭ. В первую очередь это относится к солнечным, ветровым и гидравлическим энергоустановкам, характеризующимся сильной зависимостью вырабатываемой мощности от природных условий. Чаще всего эта проблема обсуждается применительно к снабжению потребителей электрической энергии, хотя к снабжению теплом она относится в не меньшей степени, потому что в России потребление тепла в несколько раз превышает электропотребление.

Еще в большей степени важность проблемы возрастает при рассмотрении комплексных энергоснабжающих систем, в которых накопление тепла или холода становится более важной задачей, чем задача создания накопителей электрической энергии, потому что накопители тепла и холода могут аккумулировать и электрическую энергию. Важным преимуществом химических способов аккумуляции тепловой энергии по сравнению с иными является возможность хранить тепло достаточно длительное время без применения тепловой изоляции, достаточной простотой транспорта энергии на значительные расстояния без тепловых потерь.



**Целью работы** является развитие методов оптимизации энергетических систем с энергоустановками на основе ВИЭ и фазопереходными накопителями тепловой энергии с эффективными теплоаккумулирующими материалами на основе многокомпонентных систем (МКС).

**К основным задачам исследования** отнесены:

- экспериментальное выявление составов реальных МКС и поиск энергоемких фазопереходных теплоаккумулирующих материалов на основе эвтектических составов МКС;
- разработка алгоритма и компьютерной программы выявления химического и термохимического взаимодействий в МКС, их 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 в МКС на основе различных материалов для аккумуляции тепла;
- разработка критериев оптимизации и использующего их программно-вычислительного комплекса выбора оптимальных параметров элементов локальных энергетических систем с установками на основе ВИЭ и аккумуляторами энергии и апробация их на примере локальных энергосистем различного назначения.

Сказанное позволяет оценить направление проведенного автором исследования как безусловно актуальное.

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

Достоинством работы является, прежде всего, большой объем экспериментов, служащих доказательной базой правильности теоретических положений, изложенных в работе, и практических рекомендаций по составу и материалам тепловых аккумуляторов. В ходе экспериментов исследованы различные многокомпонентные системы МКС, предназначенные для создания композиций с требуемыми свойствами. Результатами этих исследований стали конкретные предложения по составу МКС для тепловых



аккумуляторов локальных энергосистем с энергоустановками на основе ВИЭ. Также важным результатом работы является разработка методики, алгоритма и программы, позволяющей с минимальными трудозатратами определять химические и термохимические реакции в МКС в зависимости от температуры независимо от числа компонентов МКС.

Достоверность методик, алгоритмов и программных комплексов, разработанных автором, подтверждены результатами их апробации при решении практических задач построения энергетических комплексов для различных потребителей Республики Дагестан.

### **3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

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

**Новизна полученных результатов** состоит в том, что в работе:

- впервые экспериментально исследованы фазовые равновесия систем на основе различных химических соединений, изучены их свойства, разработаны алгоритм и программа выявления химического и термохимического взаимодействий в МКС в зависимости от температуры, при которых тепловой эффект реакции достигает максимального значения, выбраны наиболее энергоемкие МКС для тепловой аккумуляции энергии;
- предложены эффективные конфигурации энергоустановок на основе 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;
- с учетом особенностей региона размещения обоснованы и разработаны методика, алгоритм и программный комплекс многокритериальной оптимизации локального энергетического комплекса в составе установок на основе возобновляемых источников энергии и фазопереходных тепловых аккумуляторов.



#### **4. Значимость для науки и практики полученных автором результатов.**

**Практическую ценность работы составляют:**

1. Возможность подбора различных композиций для разработки фазопереходных и термохимических теплоаккумулирующих материалов, основанная на выявленных составах и уравнениях энергоемких термохимических реакций различных химических соединений.

2. Разработанная программа описания термохимического взаимодействия, которая позволяет:

- упростить выявление химических взаимодействий и уменьшить трудоемкость исследований;
- получить зависимость направленности химических реакций от температуры;
- определять тепловой эффект реакций при любой температуре в допустимом диапазоне, а также температуру, при которой тепловой эффект приобретает максимальное значение;
- автоматизировать процесс описания химических превращений в МКС.

3. Методика, алгоритм и программный комплекс многокритериальной оптимизации схем энергоснабжения, предназначенные для проектирования энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии для энергоснабжения локальных энергосистем и автономных потребителей.

4. Рекомендации по перспективным конструкциям элементов энергоустановок на основе ВИЭ с тепловыми фазопереходными аккумуляторами.

5. Разработанные конструкции энергоустановок на основе ВИЭ с тепловыми аккумуляторами (солнечный коллектор, гелиосушилка и др.) внедрены в практику (акты внедрения прилагаются к диссертации).

#### **5. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Для этих типовых гибридных энергокомплексов разработаны программно-вычислительные комплексы «Optimum» и «Optimizationofenergysystems», которые позволяют выбрать оптимальный



вариант гибридного энергокомплекса с аккумулированием путем сравнения многих вариантов его структуры и параметров по многим, в том числе взаимосвязанным критериям. Эти программные комплексы защищены свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ, чего не имеет большинство аналогичных программ, разрабатываемых для исследовательских расчетов.

Программы апробированы на расчетах для среднего села Республики Дагестан, расположенного в горной зоне, с числом жителей 300 чел, общей полезной площадью жилых домов 2700 м<sup>2</sup>, отапливаемой площадью общественных зданий 1000 м<sup>2</sup>. В состав энергокомплекса входят биогазовая, солнечная электрическая и тепловая, ветровая, гидроэлектрические и энергоаккумулирующие установки. Из полученных вариантов структуры и параметров энергетического комплекса выбран наилучший по стоимости установленного киловатта и отпущенного киловатт-часа электроэнергии, что показывает работоспособность разработанных программ.

Основные результаты опубликованы в 85 источниках, причем 39 из них относятся к рецензируемым журналам из перечня ВАК России.

Работа доложена и обсуждена более чем на 30 международных и всероссийских конференциях и совещаниях.

#### **6. Оценка содержания диссертации, ее завершенности**

Диссертация БАБАЕВА Баба Джабраиловича «Разработка и исследование энергосистем на основе возобновляемых источников с фазопереходным аккумулированием тепла» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая важное социально-экономическое и хозяйственное значение, изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие энергетики страны.

#### **7. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, мнение о научной работе соискателя в целом.**

Весьма интересным и полезным является применение теоретических предложений автора к разработке конкретных энергетических установок



различного типа, актуальных для южных районов России. Предложенные автором установки защищены 12 патентами и свидетельствами на полезную модель.

Значительный интерес вызывает разработка и апробация программно-вычислительного комплекса оптимизации энергосистем на основе возобновляемых источников энергии с тепловым аккумулярованием для энергоснабжения автономного потребителя. При этом оптимизация проводится по нескольким независимым критериям: техническим, экономическим, экологическим, энергетическим и социальным. Конечная эффективность рассматриваемого варианта проектного решения определяется сопоставлением единовременных капиталовложений и ежегодных издержек с заменяемым вариантом, имеющим ту же выработку энергии и мощность.

Для расчетов автор выбирает типовые гибридные энергокомплексы, построенные по принципу:

- 1) основная энергоустановка – МГЭС. ФЭУ или ВЭУ являются дополнительными источниками энергии;
- 2) основная энергоустановка – жидкотопливная энергоустановка (ЖТЭ). ФЭУ или ВЭУ являются дополнительными источниками энергии, и служат для уменьшения расхода жидкого топлива;
- 3) основные энергоустановки – ФЭУ и ВЭУ. МГЭС или ЖТЭ являются резервными источниками энергии, и предназначены для обеспечения надежности электроснабжения потребителя в условиях отсутствия солнечной радиации или ветра и для уменьшения размера накопителя энергии.

По изученным материалам диссертации и автореферата имеется ряд замечаний и вопросов:

1. В качестве прогнозных значений развития ВИЭ в России приняты данные «Энергетической стратегии 2020», которая явно не является последним источником

2. На стр. 26-27 автор пишет: «Режим работы МГЭС зависит от расхода воды в створе при практическом отсутствии водохранилища». А далее МГЭС рассматриваются как установки, имеющие свойство естественной аккумуляции энергии. Чем объяснить такое противоречие?



3. Подробно и ясно обосновано проведение исследований тройных, тройных взаимных, четверных, четверных взаимных и пятерных систем, входящих в систему Li, Na, Ca, Ba/F, MoO<sub>4</sub>. А причина изучения тройной системы NaF- NaCl- NaNO<sub>3</sub> [39] обоснована явно недостаточно.

4. Выражение 4.14 ( $I = I_{\text{э}} + I_{\text{м}} + I_{\text{т}} + I_{\text{к}} + I_{\text{д}} + I_{\text{а}}$ ) достаточно известно, хотя не все слагаемые этого уравнения интерпретируются так, как написано в работе (например, автор называет  $I_{\text{м}}$  – затратами «на приобретение необходимых материалов для микро ГЭС, видов топлив и прочих предметов для автономного энергообеспечения в сельской местности») со ссылкой на не самый авторитетный источник [171]. Было бы более обоснованно ссылаться на такие фундаментальные работы, как, например, Роголёв Н.Д. «Экономика энергетики» (-М.: МЭИ, 2005) или Кожевников Н.Н. «Экономика и управление в энергетике» (Учебное пособие. – М.: Академия, 2003 г.).

5. Требуется дополнительное обоснование выбора метода оптимизации и способ построения алгоритма многокритериальной оптимизации структуры энергетического комплекса, состоящего из различных установок на основе ВИЭ, например, метода последовательного ранжирования критериев. Предлагаемый метод ЦИС основывается на достаточно старом и малоизвестном источнике (GildW., AltrichterS. Die ZIS-Erfolgsspinee// ZIS-Mitteilungen. –11(1969).

6. Для проверочных расчетов автор формирует три типовых варианта построения энергокомплекса (Стр. 218). Однако объяснение способа решения задачи для каждого из отмеченных типовых вариантов мало что объясняет. Желательно объяснить различие в подходе короче и по принципиальным позициям.

7. Хотелось бы также понять: оптимизация электро-, теплоснабжения или того и другого делается в практических расчетах? На стр. 218-220 написано, что энергокомплекс состоит из ветровой, солнечной и гидроэлектростанций, не производящих тепловую энергию, а на странице 224 делается вывод об обеспеченности только тепловой нагрузки в одном из населенных пунктов Республики Дагестан.



8. В разделе 4.5 не понятно что названо показателями, а что критериями. Желательно уточнить эти понятия применительно к рассматриваемой задаче.

**8. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.**

Диссертация является законченным научным исследованием, написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в энергетическую науку.

В диссертации приведены сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов.

В соответствии со сказанным диссертация БАБАЕВА Баба Джабраиловича «Разработка и исследование энергосистем на основе возобновляемых источников с фазопереходным аккумулированием тепла» соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор - БАБАЕВ Баба Джабраилович - заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы.

Доктор технических наук  
профессор НИУ «МЭИ»

М.Г.Тягунов

Подпись М.Г.Тягунова заверяю:

Зам. начальника управления по работе с персоналом НИУ «МЭИ»

Е.Ю. Баранова

16.05.2016

