

ОТЗЫВ

**официального оппонента, кандидата технических наук Рябовой Татьяны
Владимировны на диссертацию Амер Ахмед Элсайед Абделкафи Абделаал на тему:
«Повышение эффективности систем аккумулирования теплоты в солнечных системах
теплоснабжения Республики Египет», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная
теплоэнергетика**

1. Актуальность темы диссертации

Весьма эффективной теплоэнергетической технологией использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии является солнечная энергетика. Несмотря на очевидные преимущества солнечной энергетики, ей присущи и существенные недостатки, заключающиеся в неравномерности поступления солнечной энергии в течении суток. Проблемы неравномерности поступления солнечной энергии решаются путем использования систем аккумулирования тепла.

Одним из перспективных способов аккумулирования энергии является тепловое аккумулирование с использованием скрытой теплоты фазового перехода неорганических, органических соединений и эвтектических композиций. Несмотря на столь важное прикладное значение тепловых аккумуляторов с материалами, имеющими фазовый переход, многие проблемы в области их разработки остаются нерешенными. Это вопросы оптимальных конструкций теплоаккумулирующих устройств, выбора рабочих сред с фазовыми переходами и исследование их термодинамических параметров и характеристик.

Таким образом, разработка новых научных и технических решений в области теплового аккумулирования на основе фазового перехода различных веществ является актуальной задачей, решение которой позволит снизить энергозатраты за счет использования альтернативных источников энергии, а также повысить эффективность работы имеющегося энергетического оборудования.

Из вышесказанного следует, что диссертационная работа Амер Ахмед Элсайед Абделкафи Абделаал посвященная вопросу повышения эффективности систем аккумулирования теплоты в солнечных системах теплоснабжения, является актуальной.

2. Научная новизна работы:

- Разработаны методические основы построения иерархической факторно-критериальной модели выбора материала с фазовым переходом для систем аккумулирования тепла.
- Установлена зависимость темпов плавления и застывания теплоаккумулирующего материала от параметров оребрения вертикальной теплопередающей поверхности теплового аккумулятора, а также от основных эксплуатационных и конструктивных факторов.
- Установлена зависимость темпов плавления и застывания теплоаккумулирующего материала в цилиндрическом горизонтальном теплоаккумуляторе от конструктивных особенностей продольных ребер.

3. Теоретическая и практическая значимость:

- Разработана методика выбора теплоаккумулирующего материала для аккумулирования теплоты, позволяющая научно обосновать, что наиболее подходящим материалом с фазовым переходом для теплоаккумуляторов систем солнечного теплоснабжения является парафин;

- Разработана и апробирована численная модель исследования процессов плавления и застывания теплоаккумулирующего материала и доказана её адекватность экспериментальным исследованиям;
- Разработана численная модель для исследования темпов плавления и застывания теплоаккумулирующего материала внутри вертикального кожухотрубного теплоаккумулятора с кольцевым оребрением и получены оптимальные параметры ребер для предложенной конструкции теплоаккумулятора;
- Произведен анализ и рекомендованы к практическому внедрению зависимости влияния эксплуатационных и конструктивных факторов (температуры теплоносителя на входе, расхода, направления потока и диаметра внутренней трубы) на время плавления, время застывания, распределение температуры, распределение объемной доли жидкой фазы теплоаккумулирующего материала внутри теплоаккумулятора;
- Предложена конструктивная схема теплоаккумулятора с продольными разветвленными ребрами, защищенная патентом на полезную модель № 2020139947, позволяющая повысить эффективность процессов теплопередачи по сравнению с конструкцией теплоаккумулятора с традиционными продольными ребрами;
- Разработанная инженерная методика проектирования систем накопления тепловой энергии на основе материалов с фазовым переходом может быть использована в проектной и конструкторской документации при разработке систем аккумулирования теплоты и повышения их эффективности.

4. Достоверность и обоснованность научных положений и результатов работы

Достоверность полученных результатов диссертационной работы достигнута за счет корректного использования теории системного анализа при выборе материала с фазовым переходом в качестве рабочего тела теплоаккумулятора. Разработка критериев, а также иерархической факторно-критериальной модели выбора ФТАМ произведены на основе обработки больших массивов эмпирических данных, представленных в научных базах данных. Достоверность результатов математического моделирования поведения теплоаккумулирующего материала подтверждается корректным использованием математического аппарата - уравнений сохранения энергии, импульса и уравнения преемственности для исследования процессов плавления и застывания ФТАМ. Достоверность результатов численного моделирования обеспечивается корректным использованием известного и апробированного метода исследования двухфазных сред энталпии-пористости, обоснованным применением двумерных CFD-моделей с использованием программного обеспечения ANSYS FLUENT для моделирования процесса плавления и застывания в инженерных задачах, и доказательством адекватности численной модели практическим экспериментальным исследованиям. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, также подтверждается патентом на полезную модель теплоаккумулятора с новой системой продольных разветвленных ребер, апробацией полученных результатов в периодической печати, а также внедрением практических результатов исследования в проектно-конструкторской деятельности предприятия «Spanish for engineering works».

Основные научные результаты отражены в трех положениях, выносимых на защиту:

1. Предложенный метод выбора материала с фазовым переходом для систем аккумулирования тепла, в отличие от применяемых в настоящее время методов, позволяет более обоснованно выбирать материал с фазовым переходом на основе разработанного комплекса критериев и иерархической факторно-критериальной модели.

Первое защищаемое положение раскрывается в второй главе диссертации. Разработана методика выбора термоаккумулирующего материала для систем аккумулирования тепловой энергии. Рассмотрены основные критерии выбора ФТАМ. Произведен анализ основных материалов для систем аккумулирования тепловой энергии с фазовым переходом. На базе проведенных исследований были разработаны критерии выбора ФТАМ и выбраны материалы, в наибольшей степени подходящие для использования в системах аккумулирования тепла солнечных систем теплоснабжения. Предложена методология выбора материала с фазовым переходом для систем аккумулирования тепла, которая позволяет выбирать ФТАМ, используя комплекс научно-обоснованных критериев и разработанную иерархическую факторно-критериальную модель на базе метода анализа иерархий.

В результате решения первой задачи исследования методом анализа иерархий были определены глобальные веса альтернативных ФТАМ, позволяющие определить их приоритеты при выборе ФТАМ для систем аккумулирования тепла в солнечных системах теплоснабжения.

Таким образом было выявлено, что наилучшим материалом с фазовым переходом, который можно использовать для солнечных водонагревательных систем с учетом всех проанализированных критериев, является парафин.

2. Разработанная численная модель поведения теплоаккумулирующего материала в вертикальном кожухотрубном тепловом аккумуляторе позволяет исследовать темпы плавления и застывания рабочего тела при изменении параметров оребрения теплопередающей поверхности аккумулятора и установить зависимости времени плавления и застывания от основных эксплуатационных и конструктивных факторов – температуры теплоносителя на входе, расхода теплоносителя, направления потока теплоносителя и диаметра трубы теплоносителя

Положение раскрывается в третьей главе диссертации, которая посвящена разработке численной модели процессов изменения свойств материала с фазовым переходом. Численная модель базируется на основных математических зависимостях тепломассобмена в материалах с фазовым переходом. Математические уравнения, используемые для решения моделей застывания и плавления, основаны на методе энталпии-пористости. Моделирование выполнено в программной среде ANSYS FLUENT (программа вычислительной гидродинамики (CFD)). Результаты численного моделирования были проверены на адекватность модели экспериментальным данным.

В работе представлены результаты численного моделирования при исследовании темпов плавления и застывания ФТАМ внутри вертикального кожухотрубного теплоаккумулятора с кольцевым оребрением. Получены оптимальные параметры оребрения для предложенной конструкции теплоаккумулятора: число ребер, толщина ребер, шаг оребрения и соотношение размеров ребер.

Исследованы зависимости влияния эксплуатационных и конструктивных факторов (температуры теплоносителя на входе, расхода, направления потока и диаметра внутренней трубы) на время плавления, время застывания, распределение температуры, распределение объемной доли жидкой фазы ФТАМ внутри аккумулятора.

3. Использование разветвленных продольных ребер в разработанной конструкции цилиндрического горизонтального теплоаккумулятора повышает теплопередачу и существенно сокращает время плавления и застывания рабочего тела по сравнению с конструкцией теплоаккумулятора с традиционными продольными ребрами.

Положение раскрыто в третьей главе диссертации. Разработана численная модель процессов плавления и застывания ФТАМ в запатентованной конструкции аккумулятора, а также произведен сравнительный анализ эффективности двух вариантов конструкций продольных ребер.

5. Публикации, язык и стиль диссертации

Диссертация написана грамотным техническим языком, основной текст обладает внутренним единством, характеризуется логичностью в изложении материалов. В тексте представлены наглядные цветные иллюстрации, графики и таблицы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, приложений. Список литературы составляет 142 наименований и содержит в достаточном объеме источники как на русском языке, так и работы зарубежных авторов.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 8 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, в 3 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus; получен 1 патент.

6. Замечания и вопросы по диссертации

1. Автор пишет, что анализ материалов с фазовым переходом показал: наиболее значимыми критериями с точки зрения их влияния на энергетическую эффективность, надежность и экономическую целесообразность являются скрытая теплота плавления, теплопроводность материала, удельная теплоемкость, плотность, термическая стабильность, стоимость и коррозия. Отобранных критериев, возможно, достаточно для органических соединений, но ранее в числе подлежащих учёту параметров перечисляются также фазовая сегрегация и переохлаждение. По-видимому, эти дополнительные параметры актуальны в большей степени для гидратов солей и металликсов, их можно было бы также включить в перечень выбираемых ФТАМ.

2. При описании численной процедуры (раздел 3.2 , стр.81) указано: «Изменение объема ФТАМ при изменении фазы было проигнорировано». При этом изменение плотности жидкой фазы с изменением температуры учитывалось приближением Буссинеска, и на этом основан расчёт плавучести и влияния естественной конвекции на процессы, происходящие в теплоаккумулирующем устройстве. Не понятно, насколько изменение плотности парафина при фазовом переходе мало по сравнению с изменением плотности при последующем нагреве? Если различие в плотности фаз учесть, влияние свободной конвекции, очевидно, усиливается, и это приведёт к изменению времени зарядки. Хотя бы один тестовый расчёт с учётом изменения плотности при фазовом переходе был бы очень полезен. Или ссылка на выводы других исследователей, что плотность слабо влияет на время зарядки-разрядки.

3. Не совсем понятно, почему соотношение объема ребра и межреберного пространства, заполненным ФТАМ, установлено постоянным (1,42%), а высота ребра принята также постоянной и равной 40 мм. Никакого физического обоснования условию, что число ребер, их толщина и расстояние между ними являются зависимыми параметрами, нет, во всяком случае, такого обоснования не представлено.

7. Заключение по диссертации

Диссертация «Повышение эффективности систем аккумулирования теплоты в солнечных системах теплоснабжения Республики Египет», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 19.12.2019 № 1755 адм, а ее автор – Амер Ахмед Элсайед Абделкафи

Абделаал – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика.

Официальный оппонент,
доцент факультета энергетики
и экотехнологий,
руководитель
образовательной программы,
федерального
государственного
автономного
образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный
исследовательский
университет ИТМО», к.т.н.

Рябова Татьяна Владимировна

Тел.: +7 (981) 976-42-13
e-mail: ryabova_tatyana@itmo.ru
01.06.2021

197101, РФ, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д.49, литер А
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Подпись Т.В. Рябовой заверена
Директор ИФ *= Н.В. Боранов =*

