



**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский политехнический университет»
(Московский Политех)

Б. Семёновская ул., д. 38, Москва, 107023
Тел. +7 495 223 05 23, Факс +7 499 785 62 24
www.mospolytech.ru | E-mail: mospolytech@mospolytech.ru

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор

ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»
доктор технических наук



В.В. Миклушевский
2018 г.

30.11. 2018 № 09-03-20/6425

на _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет» на диссертационную работу **КАРИМОВА Марата Шойдаллаулы** «Гелиоэнергетическая холодильная установка на основе трансформатора с модернизированным генератором-адсорбером», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.03 – «Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения»

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Диссертационная работа М.Ш. Каримова посвящена созданию и совершенствованию холодильной установки на основе адсорбционного трансформатора с новой конструкцией основного аппарата этой установки – генератора – адсорбера, работающей на энергии солнечной радиации и суточном перепаде температур окружающей среды.

Для южных регионов нашей страны и для Республики Казахстан, вопросы, связанные с разработкой таких установок являются весьма актуальными, так как в этих регионах имеются пустынные и полупустынные территории, где климатические условия хорошо пригодны для работы гелиоэнергетической техники, а сети электропередач находятся далеко от отдельных поселков, стоянок, пунктов. Такие установки существенно могут экономить электроэнергию на производство холода, кондиционирования, замораживания и хранения продуктов, этим самым улучшается социальный климат и жизненный быт населения. Модернизированный основной аппарат гелиоэнергетической холодильной установки - генератор-адсорбер, разработан автором с оптимально обоснованными параметрами по оптическим и

теплоэнергетическим характеристикам, в котором применены зеркальные отражатели и современные теплоизолирующие материалы.

Актуальность рассматриваемой в работе проблемы непосредственно связана с необходимостью разработки и всестороннего исследования эффективности работы гелиоэнергетических установок такого типа, их основных аппаратов и различных рабочих веществ (сорбентов и хладагентов).

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Новизна проведенных исследований и полученных результатов определяется новым подходом к созданию и проектированию гелиоэнергетических установок адсорбционного типа на основе моделирования основного его аппарата – генератора-адсорбера. Именно от правильности его работы зависит ритмичность и цикличность суточного функционирования солнечной установки. Автору удалось достичь необходимых результатов, среди которых значительными являются:

- создание оптической модели, описывающей геометрическое соотношение основных элементов генератора-адсорбера таким образом, что осуществляется полное многократное облучение реактора энергией солнечной радиации при оптимальных размерах зеркальных поверхностей и подложки;
- создание теплофизической модели генератора-адсорбера, включающую алгоритм решения уравнений распределения падающей энергии солнечной радиации на поверхность гелиоприемной части аппарата и распределения этой энергии внутри, включая поглощение, отражение, тепловые потери и выделение полезной тепловой нагрузки, идущей на нагрев и работу по выходу адсорбата из адсорбента в реакторе;
- создание методики анализа конструкторских решений при проектировании реактора генератора-адсорбера на основе моделирования температурных полей и тепловых потоков в реакторе;
- получение характерных коэффициентов для структурных уравнений Дубинина-Радускевича, определяющих адсорбционную способность новых рабочих пар: «активированный уголь – метиламин» и «активированный уголь – этиламин».

ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ И ВЫВОДОВ

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, вытекает из математически корректной постановки задачи теплофизического расчета охлаждающей системы, а также

подтверждается корректным использованием методов теории теплообмена и математического моделирования.

Полученные автором результаты прошли апробацию на международных и российских конференциях и семинарах.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

В работе сформулированы основные требования, предъявляемые к гелиоэнергетическим установкам на основе термотрансформаторов абсорбционного типа. Разработана конструкция модернизированного генератора-адсорбера, позволяющего повысить эффективность работы всей гелиоэнергетической холодильной установки. Выработаны положения, расширяющие границы применимости гелиоэнергетических систем охлаждения на основе использования новых рабочих веществ АС-метиламина и АС-этиламина. Получены методики определения полезных тепловых нагрузок на реактор гелиоприемного устройства генератора-адсорбера холодильной установки.

Полученные результаты исследований нашли практическое применение в ОАО «Станкостроительный завод» для перспективных разработок гелиоэнергетической техники для охлаждения и замораживания, а также внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО "Астраханский государственный технический университет" (г. Астрахань). Идеи применения и использования гелиоэнергетических термотрансформаторов использованы в патенте РФ на полезную модель.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДОВ, ПРИВЕДЕННЫХ В ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

Полученные результаты целесообразно использовать:

- в деятельности научно-исследовательских и проектно-технологических организаций, на предприятиях, занимающихся вопросами проектирования гелиоэнергетической холодильной техники;
- в системе профессионального образования для учебных и исследовательских целей;
- в соответствующих дисциплинах, связанных с подготовкой инженеров и магистров в области проектирования гелиоэнергетической и холодильной техники.

ОБЩАЯ ОЦЕНКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы основные задачи и практическая ценность исследований, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе доказывається возможность внедрения гелиоэнергетических холодильных установок на основе термотрансформаторов адсорбционного типа на многих территориях Республики Казахстан, благодаря уникальным климатическим условиям. Проведен литературный обзор теоретических и экспериментальных научно исследовательских работ российских и зарубежных ученых по исследованию тепло-массообменных процессов, процессов адсорбции и десорбции, протекающих в гелиоэнергетических холодильных установках, конструктивные особенности термотрансформаторов адсорбционного типа. Повышенное внимание уделяется исследованиям основного аппарата установки генератора-адсорбера, аппарата совмещенного действия, в котором солнечная энергия преобразуется в тепловую днем, нагревая насыщенный сорбент и десорбируя его в реакторе, и ночью, когда хладагент адсорбируется сорбентом. Рассмотрены основные уравнения адсорбции и рабочие пары, применяемые в адсорбционных термотрансформаторах.

Во второй главе описываются особенности работы исследуемой конструкции гелиоэнергетической холодильной установки. Рассматриваются основные принципы построения оптической и теплоэнергетической моделей конструкции генератора-адсорбера. Особенностью конструкции генератора-адсорбера является применение плоских зеркал для концентрации солнечной энергии внутри корпуса гелиоприемного устройства типа «горячий ящик» и плоской подложки под реактором цилиндрической формы.

Моделирование оптической части основывалось на теории плоских зеркал, когда длины зеркал при однократном отражении солнечных лучей и внешний радиус реактора, были рассчитаны через фиктивный угол раскрытия. Этим определялась площадь полного потока солнечных лучей. При расчете оптимальных параметров получается трехкратное освещение внешней цилиндрической поверхности реактора в гелиоприемном устройстве, а общие размеры всего аппарата минимальны.

Теплоэнергетическая модель генератора-адсорбера построена на распределении входящей энергии теплового потока солнечной радиации в «горячий ящик». Доля полезной тепловой энергии приходящейся на реактор получается путем вычитания из полной нагрузки, тепловых потерь, через прозрачные и теплоизолирующие покрытия гелиоприемника, нагрева воздуха внутри конструкции, нагрева элементов конструкции, куда входят металлические детали, изоляция, стекла, и другие детали, образуя тепловые инерционные потери. В основу энергетической модели положены экспериментальные значения температур, замеряемых на имитационных стендах и аппаратах.

Другим способом определения тепловой нагрузки, является определение потока тепловой энергии на реактор, как суммы падающей прямой энергии на корпус реактора и суммы отраженной тепловой энергии от двух плоских зеркал, а также тепловой энергии от подложки реактора, работающего как прямое ребро. По этим двум принципам были составлены аналитические выражения, связывающие нестационарные тепловые потоки солнечного излучения в дневное время с теплоэнергетическими процессами, протекающими в гелиоприемном устройстве и реакторе генератора-адсорбера.

Удовлетворительное совпадение двух способов определения искомой величины и проверка экспериментом результатов восприятия тепловой энергии теплоносителем, свидетельствует о правильности разработанной методики. При построении моделей использовались теория плоских зеркал, нестационарные законы Фурье, уравнения Стефана-Больцмана и другие аналитические уравнения. Расчеты были проведены в математическом пакете Madcat.

Моделирование реактора генератора-адсорбера позволяет анализировать распределение градиентов температурных полей и направлений тепловых потоков внутри аппарата в зависимости от внутреннего вида конструкции. Эта задача решается за счет использования расчетов в программном пакете Elcud (методом конечных разностей). Экспериментально определив температуры стенок реактора по наружному периметру живого сечения и сечения хладопровода можно определить области изотерм внутри насыщенного сорбента, которые находятся в диапазоне температур десорбции (чем суше сорбент, тем температура его выше). Таким образом, такая методика позволяет в первом приближении определить количество отработанного сорбента при протекании в нем процесса десорбции и количество сорбента, не участвующего в процессе десорбции при недостаточном подводе к массе сорбента тепловой энергии. Такой анализ позволяет ввести в полное уравнение тепловой энергии коэффициент неравномерности распределения тепловой энергии в корпусе реактора. Лучшие показатели дает применение ребренных конструкций хладопровода, что и было доказано расчетами.

В третьей главе исследуются особенности адсорбционной способности различных марок активных углей казахского и российского производства. Определяются основные характеристики: удельная масса, суммарный объем пор, пористость сорбентов.

Описаны методика и стенд для определения изотерм адсорбции на активных углях аммиака, метиламина и этиламина. Экспериментальные данные по адсорбции рабочей пары «АС-аммиак», сравниваются с данными других исследователей и дают удовлетворительные результаты. Рассчитаны коэффициенты энергии адсорбции в структурных уравнениях Дубинина-Радушкевича, причем для рабочих пар «АС-метиламин» и «АС-этиламин» они получены впервые.

Описаны стенд, приборы и методики экспериментальных исследований гелиоприемной части генератора-адсорбера при изучении полезной тепловой

нагрузки на реактор генератора-адсорбера с водоглицериновыми растворами. В работе приведены температурные характеристики суточного цикла работы гелиоэнергетической холодильной установки на рабочей паре «АС-аммиак», в котором получен положительный эффект охлаждения.

В четвертой главе рассматривается расчетная модель в пакете Matlab. В основе модели лежит структурное уравнение Дубинина-Радужкевича, позволяющее с заданным промежутком времени в диапазонах параметров термодинамического цикла работы установки определять и рассчитывать долю насыщения активного угля хладагентом, определить затраченную теплоту, идущую на процессы изостерического нагрева и десорбции днем и полезную теплоту, реализуемую в охлаждаемом элементе ночью.

Приводится анализ зависимостей энергетических коэффициентов для рабочих пар «АС-аммиак», «АС-метиламин», «АС-этиламин» от различных температурных параметров установки (температур десорбции, адсорбции, кипения, конденсации, температуры охлаждающей среды).

Анализ позволяет рекомендовать применение гелиоэнергетических холодильных установок на основе термотрансформатора адсорбционного типа, использовать на рабочей паре «АС-аммиак» в режимах низкотемпературного охлаждения (замораживание, охлаждение), на рабочей паре «АС-метиламин» в режимах охлаждения и кондиционирования, на рабочей паре «АС-этиламин» только в режимах кондиционирования.

В заключении автор обобщил полученные результаты и указал, что практическая реализация разработанной гелиоэнергетической холодильной установки позволит значительно сократить потребление электроэнергии на получение холода, обеспечить автономную работу охлаждающих устройств.

Материал диссертационной работы в рамках поставленной задачи изложен логично и аргументировано. Оформление текстового и графического материала выполнено в соответствии с существующими нормами. Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в опубликованных работах и в автореферате.

В качестве **замечаний** следует отметить следующее:

1. В написании нестационарного уравнения Фурье (2.21) на стр. 73 диссертации автор допустил ошибку, коэффициент температуропроводности « a » входит в это уравнение в первой степени.

2. При построении математической модели процессов тепло- и массопереноса (стр. 73-74) делается допущение о квазистационарном развитии процесса массопереноса, что требует обоснования, так как оба процесса протекают совместно и для полного описания требуется совместное решение двух дифференциальных уравнений; в работе представлено только решение уравнения теплопроводности.

3. Первая и четвертая главы диссертации перегружены материалами, которые не имеют прямого отношения к проведенному исследованию.

4. Способствовало бы улучшению диссертации введение списка условных обозначений и сокращений.

Отмеченные недостатки не влияют на положительную оценку работы, которая представляет собой законченное научное исследование, содержащее решение актуальной задачи, характеризующееся теоретической новизной и практической полезностью.

Диссертационная работа М.Ш. Каримова **"Гелиоэнергетическая холодильная установка повышенной эффективности на основе термотрансформатора с модернизированным генератором-адсорбером"** соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.03 – машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения.

Отзыв рассмотрен и одобрен на расширенном заседании кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств» ФГБОУ ВО "Московский политехнический университет" 15 ноября 2018 года, протокол № 33.

Заведующий кафедрой АОиАТП
Московского политехнического университета
доктор технических наук (по специальности 05.04.09
Машины и агрегаты нефтеперерабатывающих
и химических производств»),
профессор, Лауреат Государственной Премии СССР,
Заслуженный деятель науки РФ

Генералов Михаил Борисович

107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38
Тел.: +7-905-761-14-60
E-mail: nano@mami.ru

Подпись Генералова Михаила Борисовича заверяю
Ученый секретарь специального диссертационного совета ДС212.043.01

Кандидат химических наук, профессор Беренгартен Михаил Георгиевич

Почтовый адрес университета:
107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, д. 38
Московский Политех
тел. +7-495-2230523
mospolytech@mospolytech.ru

