

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Бараненко Александра Владимировича на диссертационную работу **Каримова Марата Шайдоллаулы** «Гелиоэнергетическая холодильная установка повышенной эффективности на основе термотрансформатора 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

На отзыв представлена диссертация, состоящая из введения, четырех глав, заключения и приложений. Работа изложена на 149 страницах, включая 73 рисунка, 3 таблицы, список литературы из 127 наименований и приложения на 29 страницах.

### Актуальность темы исследования

Актуальность темы диссертационной работы вытекает из современной стратегии развития энергетики, ориентированной на широкое и эффективное использование источников возобновляемой энергии, в том числе с применением доступной, экологически безопасной, неисчерпаемой энергии солнца для широкого круга потребителей. Доля возобновляемых источников энергии в мировом энергобалансе постоянно возрастает и по оценке Международного энергетического агентства может приблизиться к 50% к середине этого века.

Диссертационная работа Каримова М.Ш. посвящена созданию и совершенствованию новой холодильной техники, работающей на солнечной энергии. В регионах, с жарким климатом, большим количеством солнечных дней в году, и устойчивой энергетической динамикой солнечного сияния, проблема развития и внедрения эффективной, простой в изготовлении и эксплуатации автономной холодильной техники является важной и нужной. Для Республики Казахстан эта проблемы является особо актуальной, так как большие территории являются пустынными и жаркими с резким перепадом дневных и ночных температур, малочисленными фермерскими хозяйствами с

недостаточным электроснабжением, где охлаждение необходимо для хранения скоропортящейся продукции.

Гелиоэнергетические холодильные установки на основе адсорбционных термотрансформаторов, в которых солнечная энергия и суточные перепады температур способствуют протеканию физико-химических реакций и тепло-массообменных процессов позволяют обеспечивать хладоснабжение в автономном режиме. Совершенствование и надежность работы таких машин будут способствовать их широкому распространению.

### **Исследуемая проблема и направление научных исследований**

Прежде чем сформулировать исследуемую проблему диссертант сделал обзор и анализ по состоянию солнечной энергетики для ряда регионов Республики Казахстан, а также работ российских и зарубежных исследователей в области совершенствования гелиоэнергетической техники и ее аппаратов на основе термотрансформаторов адсорбционного типа.

На основе систематизации и обобщения рассмотренных материалов были сформулированы цель и задачи настоящего исследования.

В обобщенном виде направление и задачи исследования можно сформулировать следующим образом:

- разработка модели гелиоприемного устройства и реактора генератора-адсорбера гелиоэнергетической холодильной установки по оптическим и теплоэнергетическим показателям;
- поиск и исследование адсорбционной способности активированных углей и новых хладагентов – метиламина и этиламина;
- теплоэнергетические испытания гелиоэнергетической установки с модернизированным генератором- адсорбером;
- исследование эффективности работы и оптимальных режимов гелиоэнергетической холодильной установки на новых рабочих веществах.

### **Новизна исследований и полученных результатов**

Новизна проведенных исследований и полученных результатов определяется новым подходом к моделированию основных аппаратов гелиоэнергетической установки, на основе оптических и теплоэнергетических характеристик, глубоким анализом адсорбционных свойств новых рабочих пар, применяемых в термотрансформаторах сорбционного типа, энергетических и эксергетических показателей, используемых для оценки степени термодинамического совершенства современной холодильной техники. При этом значительными являются следующие результаты:

- обоснована целесообразность создания холодильных установок на основе термотрансформаторов адсорбционного типа, использующих солнечную энергию, в условиях климата южного региона;

- разработана и апробирована методика в форме алгоритма аналитических зависимостей для определения тепловых нагрузок на модернизированный генератор-адсорбер гелиоэнергетической холодильной установки;

- предложена методика исследования температурных градиентов и тепловых потоков в конструкциях реакторов генератора-адсорбера, позволяющая проектировать эффективные конструкции различной конфигурации;

- получены характерные коэффициенты для новых рабочих пар (АС-метиламин, АС-этиламин) в структурных уравнениях Дубинина-Радужкевича;

- получены новые термодинамические и эксергетические коэффициенты эффективности работы гелиоэнергетических холодильных установок на основе термотрансформаторов адсорбционного типа на новых рабочих парах, позволяющие определить области их применения;

- предложено новое техническое решение: установка по термоподготовке воды для выращивания и содержания гидробионтов

(патент РФ на полезную модель № 126894) с термотрансформатором адсорбционного типа.

### **Обоснованность и достоверность научных положений и выводов**

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, описанных в диссертационной работе, основывается на основных положениях теплофизики, химической термодинамики, энергетического анализа и корректной постановки задач теплофизического моделирования с использованием методов теории адсорбции, теплообмена и стандартных программ.

Полученные автором результаты хорошо апробированы на международных и российских конференциях.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретические основы расчета и проектирования гелиоприемного аппарата генератора-адсорбера совмещенной конструкции для гелиоэнергетических холодильных установок на основе термотрансформаторов адсорбционного типа, позволяют грамотно конструировать такие аппараты для установок различной производительности и конфигурации, используя новые рабочие пары сорбента и хладагента. Впервые заявлены новые рабочие пары: сорбент-хладагенты в адсорбционной технике, такие как АС-метиламин и АС-этиламин.

Предложенные в работе методики расчета используются в учебном процессе АГТУ.

### **Практическая ценность диссертационного исследования**

Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований: разработанные модели, расчетные программы, методики расчетов гелиоприемного устройства, генератора-адсорбера, реактора

гелиоэнергетической холодильной установки приняты в ОАО «Астраханский станкостроительный завод» для проектирования новой солнцезащитной техники; такие устройства можно использовать в системах термopодготовки воды на рыбopводных хозяйствах, приоритет идеи которой защищен патентом на полезную модель № 126894.

### **Общая оценка содержания диссертационной работы**

В диссертации приведены данные теоретического потенциала солнечной энергии для условий внедрения гелиоэнергетической холодильной техники на основе адсорбционных термотрансформаторов в различных регионах Республики Казахстан. Дан анализ обзора российских и зарубежных исследований, связанных с разработкой и исследованием адсорбционных гелиоэнергетических холодильных установок, работающих на активированном угле и таких хладагентах, как аммиак, метанол и этанол. Отмечаются конструктивные и эксплуатационные недостатки существующих гелиоэнергетических установок.

На основании комплексного анализа поставлены цель и задачи настоящего исследования.

На наш взгляд, применение отдельной конструкции гелиоприемного устройства холодильной установки, состоящей из двух параллельно соединенных генераторов-адсорберов, является довольно удачным решением.

При моделировании оптической части генератора-адсорбера используются основные конструктивные параметры зеркал и реактора, связанные через углы раскрытия и радиус реактора. Оптическое моделирование генератора-адсорбера, опираясь на теорию плоских зеркальных отражений, позволяет определить оптимальные геометрические характеристики элементов гелиоприемного устройства типа «горячий ящик» при трехкратном облучении рабочей поверхности реактора и рациональных размерах всего аппарата.

В основе методики определения тепловых нагрузок на гелиоприемное устройство генератора-адсорбера лежит предположение об изменении нестационарного потока энергии солнечной радиации как непрерывной функции, состоящего из ряда последовательных дискретных участков с постоянными параметрами длительностью в один час, в диапазоне границ дневного времени. На этой основе построен суточный цикл изменения температуры в аппаратах установки, как в дневное время, когда происходит режим регенерации хладагента в конденсатор, так и в ночное время, когда происходит процесс охлаждения в испарителе.

Алгоритм расчетных уравнений теплоэнергетической модели построен в закономерной последовательности, имеющей строгую логическую линию. Теплоэнергетическая модель генератора-адсорбера и алгоритм расчета тепловой нагрузки на наш взгляд учитывают все моменты распределения входящей солнечной энергии с учетом потерь через изолирующие покрытия и стенки. В модели учитывается тепловая инерция нагреваемых элементов конструкции, что существенно уточняет расчет полезной тепловой нагрузки. Удовлетворительное совпадение расчетных данных по теоретическим уравнениям с экспериментальными данными показывает правильность выбранного направления исследований.

Моделирование реактора генератора-адсорбера дает возможность широкого анализа конструктивных особенностей для этого элемента гелиоэнергетической холодильной машины. В частности, за счет учета распределения тепловых потоков и изотерм температур внутри реактора определяется количество сорбента, не вступающего в процесс десорбции с адсорбентом.

В экспериментальной части диссертации изучены характеристики адсорбционной способности некоторых сорбентов казахского и российского производства, к которым относятся активированные угли различных марок.

Сравнение изотерм адсорбции рабочей пары АС-аммиак, в настоящее время широко применяемого в гелиоэнергетических холодильных установках за рубежом, показывает удовлетворительное совпадение полученных данных с аналогичными данными других исследователей.

Впервые были получены изотермы адсорбции АС-метиламин и АС-этиламин, приведенные к структурным уравнениям Дубинина М.М. и Дубинина-Радущкевича.

Экспериментальные исследования гелиопринимной части генератора-адсорбера на воде и растворах вода-глицерин показали удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных. В результате испытания гелиоэнергетической холодильной установки на рабочей паре АС-аммиак получены основные рабочие параметры системы в течение суток.

На основании полученных зависимостей термодинамических и эксергетических коэффициентов эффективности работы установок показано, что эффективное применение гелиоэнергетических установок на рабочей паре активированный уголь-аммиак может происходить в режимах замораживания, охлаждения и кондиционирования; на рабочей паре активированный уголь-метиламин в режимах охлаждения и кондиционирования; на рабочей пары активированный уголь-этиламин только для режимов кондиционирования.

Предлагается использовать гелиоэнергетическую холодильную установку на основе термотрансформатора адсорбционного типа для систем охлаждения параметров воды, на что получен патент на полезную модель № 126894.

Каждая глава диссертации заканчивается выводами по соответствующему разделу. В заключении дана общая оценка проделанной диссертантом работы. В приложениях представлены таблицы экспериментальных значений, программы расчетов, расчеты погрешностей измерений и некоторые расчетные и экспериментальные данные по сорбентам и хладагентам.

Диссертация написана технически грамотным языком, содержательна, обладает внутренним единством и свидетельствует о личном вкладе автора в выполненное исследование.

Диссертационная работа является законченным научным исследованием, выполненным в предметной области холодильной техники.

### **Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации**

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. В нем отражены все основные блоки исследования-актуальность, цели и задачи, новизна исследования, теоретическая и практическая значимость, методы исследования, степень достоверности, апробация результатов и их реализация, выводы. Структурно автореферат диссертационного исследования выполнен обоснованно.

### **Полнота публикации основных результатов диссертации**

Основные результаты исследований по теме диссертации в достаточном объеме отражены в 17 научных печатных работах, в том числе 2 статьи в изданиях, индексируемых в базе Scopus и 3 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК РФ.

### **Замечания по диссертации**

1. Нестационарный поток энергии солнечной радиации изменяется как в пространстве, так и во времени. Автором принята непрерывность функции потока с постоянными параметрами длительности в один час, за время солнечного сияния. Длительность в один час относительно большая и любые изменения погодных условий будут сказываться на энергетике тепловых параметров установки в течение этого времени. Эти изменения в работе не учитываются.

2. Предлагаемая модель реактора генератора-адсорбера, по определению доли изменения насыщенности рабочей пары (сорбента и хладагента) внутри



аппарата, путем замеров внешней температуры его корпуса и расчета температурных градиентов и тепловых полей интересна и перспективна. Автором вводится коэффициент неравномерности распределения тепловой энергии в реакторе. Однако, допущения, принятые автором весьма существенные, он пренебрегает концевыми тепловыми эффектами конструкции реактора, а рассматривает только поперечное сечение аппарата. Поэтому, на наш взгляд, коэффициенты, предлагаемые автором по реакторам простой конструкции и с внутреннем оребрением, будут несколько ниже, чем приведенные в работе.

3. Универсальны ли методики расчета тепловых нагрузок на гелиоприемные аппараты других типов холодильных установок, например, солнцеексплуатирующих установок «сухой» абсорбции?

4. Объем автореферата превышает рекомендуемый объем 1 п.л.

Указанные замечания могут быть учтены при дальнейшем развитии исследований диссертантом.

### **Заключение**

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки представленной диссертации, теоретической и практической значимости выполненных исследований. Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой и может быть квалифицирована как совокупность научно обоснованных технических и технологических решений по проблеме совершенствования гелиоэнергетических холодильных установок адсорбционного типа, внедрение которых внесет значительный вклад в развитие и повышение эффективности холодильной и теплоэнергетической отрасли. Она широко апробирована на многих специализированных международных и российских конференциях. Полученные автором результаты достоверны, а выводы обоснованы. В диссертации рассмотрены основы повышения эффективности

разработанной гелиоэнергетической холодильной установки на основе термотрансформатора с модернизированным генератором- адсорбером, что соответствует требованиям, изложенным в Паспорте специальности 05.04.03 – Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения.

Считаю, что представленная диссертационная работа отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК Российской Федерации, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, и ее автор - Каримов Марат Шайдоллаулы заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.03- Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук по специальности  
05.04.03 - Машины и аппараты, процессы  
холодильной и криогенной техники, систем  
кондиционирования и жизнеобеспечения,  
профессор, заслуженный деятель науки РФ

Бараненко Александр Владимирович

Место работы:

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»  
(Университет ИТМО), советник при ректорате

Адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49

Тел.: +7 921 9378926.

E-mail: baranenko@mail.ifmo.ru

Подпись Бараненко А. В. заверяю  
директор мегафакультета биотехнологий и низкотемпературных систем  
Университета ИТМО



«30»

11

2018 г.

И. В. Баранов