

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра Теоретической и промышленной теплотехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Фазовые превращения при охлаждении металлических образцов корпусов реакторов АЭС эмульсиями и суспензиями на основе воды

УДК 621.311:621.039.53-046.47:536.42

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ5В	Опарин Александр Олегович		

Руководитель

Зав.кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АТП	Стрижак П.А	д.ф-м.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский М.В.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПТ	Кузнецов Г.В.	д.ф-м.н		

Томск – 2017 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы магистра по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	Универсальные компетенции	
P1	Использовать представления о методологических основах научного познания и творчества, анализировать, синтезировать и критически оценивать знания	Требования ФГОС (ОК-8, 9; ПК-4), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-3; ПК8, 24), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации, осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ОК-4, 5; ПК-3, 16, 17, 25, 27, 28, 32), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
	Профессиональные компетенции	
P6	Использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и применения инновационных технологий в теплоэнергетик	Требования ФГОС (ПК-1, 5), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Применять глубокие знания в области современных технологий теплоэнергетического производства для постановки и решения задач инженерного анализа, связанных с созданием и эксплуатацией теплотехнического и теплотехнологического оборудования и установок, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов теплоэнергетики	Требования ФГОС (ПК-2, 7, 11, 18 – 20, 29, 31), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Разрабатывать и планировать к разработке технологические процессы, проектировать и использовать новое теплотехнологическое оборудование и теплотехнические установки, в том числе с применением компьютерных и	Требования ФГОС (ПК-9, 10, 12 – 15, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEAN

	информационных технологий	
P9	Использовать современные достижения науки и передовой технологии в теоретических и экспериментальных научных исследованиях, интерпретировать и представлять их результаты, давать практические рекомендации по внедрению в производство	Требования ФГОС (ПК-6, 22 – 24), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Применять методы и средства автоматизированных систем управления производства, обеспечить его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на теплоэнергетическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-21, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Готовность к педагогической деятельности в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ПК-32), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки 140100 Теплоэнергетика и теплотехника

Кафедра Теоретической и промышленной теплотехники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ТПТ

_____ Кузнецов Г.В.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группы	ФИО
5БМ5В	Опарину Александру Олеговичу

Тема работы:

Фазовые превращения при охлаждении металлических образцов корпусов реакторов АЭС эмульсиями и суспензиями на основе воды

Утверждена приказом ректора (номер, дата)

№235/с от 27.01.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

— объект исследования: физико-химические свойства исследуемых хладагентов связанные с эффективностью отведения избыточной тепловой энергии от теплонагруженных поверхностей ограждающих конструкций энергетического оборудования. Исследуемые объекты: водопроводная, морская вода, солевой раствор, суспензии глины и графита на основе воды.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Аналитический обзор литературы по тематике исследования. Исследование физико-химических свойств хладагентов. Обработка экспериментальных данных. Анализ результатов и формулировка выводов по результатам численного исследования.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	(количество слайдов презентации)

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна, доцент кафедры МЭН
Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович, доцент кафедры ЭБЖ
раздел ВКР на иностранном языке	Тарасова Екатерина Сергеевна, доцент кафедры ИЯ

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Введение
Методика исследований и экспериментальный стенд для изучения процессов испарения капель воды, содержащих крупные металлические включения
Результаты экспериментального исследования процесса испарения капель воды, с крупными металлическими включениями
Заключение
Обзор источников

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	23.09.2015г.
--	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.кафедрой	Стрижак Павел Александрович	д.ф-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ5В	Опарин Александр Олегович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа на тему «Фазовые превращения при охлаждении металлических образцов корпусов реакторов АЭС эмульсиями и суспензиями на основе воды» состоит из текстового документа, выполненного на 135 с. Текстовый документ содержит 25 рисунков, 15 таблиц, список используемой литературы из 101 наименования.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, распад, капли, высокотемпературные среды, газовые среды, поверхности, теплообмен, жидкости, отвод, энергия, теплонагруженные конструкции, металлические конструкции, испарения, воды, гетерогенная жидкость, интенсификация.

Объектом исследования является физико-химические свойства хладагентов.

Цель работы – экспериментальное и численное исследование закономерностей фазовых превращений при охлаждении металлических шаров, суспензиями и растворами на основе воды, а также при нагреве капель воды с металлическими соразмерными включениями.

Поставлены задачи по определению закономерностей высокотемпературных фазовых превращений при охлаждении металлических образцов (шаров) растворами и суспензиями на основе воды, а также нагреве капель воды с металлическими включениями. Определить влияние добавления растворимых и нерастворимых примесей в объем воды на характеристики процессов высокотемпературного испарения и кипения при охлаждении металлических шаров и нагреве гетерогенных капель воды (с металлическими включениями). Определить оптимальные (ресурсоэффективные) условия охлаждения, металлоконструкций при использовании в качестве хладагентов неоднородных жидкостей на основе воды в случае чрезвычайной ситуации на ТЭС и АЭС, связанных с перегревом оборудования

Выпускная квалификационная работа оформлена в текстовом редакторе MicrosoftWord 7.0 и представлена в распечатанном виде на листах формата А4.

Список условных обозначений и символов

u_g – скорость движения потока газов, м/с;

h_{in} – высота включения, мм;

m_{in} – масса включения, г;

T_g – температура газовой среды (температура нагрева), К;

h_v – толщина парового слоя на внутренней границе раздела сред «хладагент – металлическое включение», мм;

a_{Me} – коэффициент температуропроводности металлов, см²/с;

a_w – коэффициент температуропроводности воды, м²/с;

T – температура стального шара, К;

t – время охлаждения, с;

T_0 – температура среды до начала нагрева (температура воздуха в помещении лаборатории ~298 К);

Греческие символы:

α – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·К);

τ_h – время существования неоднородной капли в высокотемпературной среде, с;

τ_{Me} – время прогрева металлических включений, с;

τ_w – время прогрева слоя воды, с;

y_s – концентрацией солей в морской воде, г/л;

y_{NaCl} – концентрацией солей в солевом растворе, г/л;

Оглавление

Введение.....	11
Глава 1. Современные представления о подходах эффективного отведения избыточной тепловой энергии в системах «хладагент – поверхность теплообмена»	18
Выводы по первой главе.....	28
Глава 2. Экспериментальное исследование процессов тепломассообмена и фазовых превращений при охлаждении металлических шаров, суспензиями и растворами на основе воды, а также при нагреве капель воды с металлическими соразмерными включениями	29
2.1. Методика исследований и экспериментальный стенд для изучения процессов испарения капель воды, содержащих крупные металлические включения	30
2.2. Экспериментальный стенд и методика исследований эффективности применения различных хладагентов на основе воды для быстрого охлаждения металлических поверхностей.....	37
2.3. Результаты экспериментального исследования процесса испарения капель воды, с крупными металлическими включениями	40
2.4. Результаты экспериментального изучения эффективности применения различных хладагентов на основе воды для быстрого охлаждения металлических шаров.	51
Выводы по второй главе.....	60
Список условных обозначений и символов по второй главе	62
Глава 3. Численное исследование процесса охлаждения корпуса реактора АЭС растворами и суспензиями на основе воды	63
3.1. Математическая постановка задачи	64

3.2. Метод конечных разностей	66
3.3. Блок схема рассматриваемой задачи.....	74
3.4. Код программы.....	76
3.5. Результаты численного исследования	83
Выводы по третьей главе.....	92
Список условных обозначений и символов по третьей главе	93
Глава 4. Социальная ответственность	94
4.1. Производственная безопасность.....	96
4.1.1. Анализ выявленных вредных факторов при функционировании реактора.....	96
4.1.2. Анализ выявленных опасных факторов при функционировании реактора.....	101
4.2. Экологическая безопасность.....	101
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	102
4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	103
Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	107
5.1. Swot-анализ.....	108
5.2. Календарный план-график выполнения работ.....	113
5.3. Смета бюджет-проекта	120
Список публикаций.....	123
Список литературы	124
Приложение А	136

Введение

В настоящее время проблема, связанная с необходимостью обеспечения быстрого охлаждения поверхностей технологического оборудования, в частности, ограждающих конструкций реакторов атомных электростанций (АЭС), является достаточно актуальной. Особенно, после аварии, произошедшей на АЭС Фукусима-1, в результате которой температура топливных элементов (топливных стержней) в активной зоне АЭС возросла до 1200–1400 К [1]. Производительности существующей системы водяного охлаждения оказалось недостаточно для эффективной компенсации такой высокой температуры. Результаты расследования случившегося инцидента, показали, что причиной неэффективного (недостаточного) охлаждения и, как следствие, физического повреждения активной зоны АЭС стало снижение скорости теплопередачи из-за пленочного кипения [2]. Этот режим кипения характеризуется образованием устойчивой паровой пленки на нагретой до столь высокой температуры металлической поверхности. Такой процесс впоследствии повышает термическое сопротивление всей системы. В этом случае, паровой слой является своего рода теплоизолирующим. Применение морской воды, как показывают исследования [2], исключает процесс пленочного кипения и повышает эффективность охлаждения металлических образцов.

Исследования механизма пленочного кипения и минимальной температуры пленочного кипения или температуры Лейденфроста представлены многочисленными научными работами (например, [3–5]), среди которых подавляющее количество теоретические. Однако, довольно ограниченная экспериментальная информационная база и сложность численных решений (моделирования) с многочисленными допущениями оставляют механизмы и условия пленочного кипения при интенсивном охлаждении до конца неизученным.

Предложенные в [6] меры безопасности опираются на доказанную эффективность использования морской воды (без специализированных примесей) при аварийном охлаждении ограждающих конструкций активной зоны АЭС во время чрезвычайных ситуаций, подобных аварии на АЭС Фукусима-1. Однако, даже учитывая огромный потенциал (перспективы) применения морской воды, обусловленный близостью многих АЭС к мировому океану, не стоит забывать об остальных станциях, расположенных в глубине материков, в частности в Европе и Северной Америке. Использование морской воды, безусловно, будет невозможно в таких регионах. В связи с этим, проблема эффективного охлаждения ограждающих конструкций активной зоны АЭС с использованием традиционного хладагента (воды) остается актуальной, а, следовательно, и проблемы, связанные с замедлением скорости теплопередачи из-за образования паровой пленки с низкой теплопроводностью на границе раздела сред «поверхность металла - слой воды».

Наиболее популярным направлением развития рассматриваемой тематики являются исследования влияния добавления различных наночастиц и соли в объем воды на критический тепловой поток и минимальную температуру пленочного кипения при быстром охлаждении металлических объектов малых размеров (например, [7–9]).

Кроме того, положительный эффект применения водно-солевых растворов и суспензий выявлен в ряде других высокотемпературных гетерогенных технологий [10-13], среди которых наиболее интересным и перспективным является полидисперсное пожаротушение.

Авторы статей [10] и [11] показали масштабы влияния добавления солей и твердых углеродистых включений на интенсификацию процессов испарения капельных неоднородных потоков в высокотемпературной газовой среде. Более того, в статьях [12] и [13] с применением аналогичного экспериментального стенда установлены закономерности механизмов фазовых превращений капель воды, содержащих крупные (до 3–4 мм) графитовые включения, в продуктах

сгорания топлив при высоких температурах. В ходе экспериментов неоднократно наблюдалось новое и крайне мало изученное явление взрывного вскипания жидкости, которое также позволяет утверждать о незавершенности исследования процессов нагрева (или охлаждения), испарения и режимов кипения жидкостей с примесями различной природы (суспензии, эмульсии, растворы).

Таким образом, несмотря на огромное количество ежегодно проводимых теоретических и экспериментальных исследований, проблема связанная с необходимостью быстрого охлаждения поверхностей технологического оборудования АЭС и ТЭС, в случае аварийного перегрева достаточно актуальна. В первую очередь это связано с возникновением стабильной паровой пленки (пленочное кипение) на поверхности сильно нагретого металлического объекта. Эта пленка существенно замедляет теплообмен. Ускорение перехода от пленочного кипения к пузырьковому является крайне важным для изучаемых процессов. Такого эффекта добиваются, например, за счет добавления частиц различного размера, происхождения и концентрации в охлаждающую жидкость или применения морской воды, а также водно-солевых растворов.

Цель работы: экспериментальное и численное исследование закономерностей фазовых превращений при охлаждении металлических шаров, суспензиями и растворами на основе воды, а также при нагреве капель воды с металлическими соразмерными включениями. Исследования будут проводиться в температурных условиях, соответствующих или близких к реальным условиям перегрева корпусов (ограждающих конструкций) теплонагруженного оборудования ТЭС и АЭС.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработка и монтаж двух многофункциональных экспериментальных стендов для исследования закономерностей высокотемпературных фазовых превращений при охлаждении металлических образцов (шаров) растворами и суспензиями на основе воды, а также нагреве капель воды с металлическими включениями.

2. Создание экспериментальных методик исследования изучаемых процессов на основе метода высокоскоростной видеорегистрации.
3. Экспериментальное исследование влияния добавления растворимых и нерастворимых примесей в объем воды на характеристики процессов высокотемпературного испарения и кипения при охлаждении металлических шаров и нагреве гетерогенных капель воды (с металлическими включениями).
4. Численное исследование процесса охлаждения металлических ограждающих конструкций растворами и суспензиями на основе воды в случае аварийного перегрева, характерного для условий эксплуатации оборудования ТЭС и АЭС.
5. Установление оптимальных (ресурсоэффективных) условий охлаждения, металлоконструкций при использовании в качестве хладагентов неоднородных жидкостей на основе воды в случае чрезвычайной ситуации на ТЭС и АЭС, связанных с перегревом оборудования.

Научная новизна работы.

Применение растворов NaCl и суспензий глины и графита на основе воды способствует более эффективному в сравнении с водой охлаждению элементов поверхностей технологического оборудования АЭС и ТЭС. За счет полного или частичного исключения пленочного режима кипения на начальной стадии процесса охлаждения.

Практическая значимость работы.

Результаты экспериментального и численного исследования являются информационной базой для разработки и применения технологии, эффективного и быстрого охлаждения теплонагруженных поверхностей ограждающих конструкций энергетического оборудования (за счет создания вспомогательного теплообменного слоя между теплонагруженной поверхностью и наружной средой

на основе суспензий и растворов с высокой теплоемкостью и теплопроводностью).

Личный вклад автора состоит в: разработке методик экспериментальных исследований тепломассопереноса и фазовых превращений при охлаждении металлических шаров суспензиями и растворами на основе воды, а также нагреве капель воды с металлическими включениями; постановке и планировании экспериментов; создании экспериментальных стендов; проведении опытов; обработке полученных результатов; оценке систематических и случайных погрешностей; анализе и обобщении результатов исследований; разработке рекомендаций по их практическому применению. Автор работы провел численное исследование процесса охлаждения корпуса реактора АЭС эмульсиями и суспензиями на основе воды.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность экспериментальных результатов подтверждается оценкой систематических и случайных погрешностей измерений, повторяемостью опытов при идентичных начальных параметрах системы, а также использованием современного высокоточного оборудования. Также выполнено сравнение полученных результатов с теоретическими заключениями других авторов.

Оценка достоверности результатов численных исследований проводилась сравнением с известными экспериментальными данными и проверкой консервативности разностной схемы. Тестирование выбранных численных методов и разработанных алгоритмов решения систем нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных выполнено на менее сложных нестационарных, нелинейных задачах теплопроводности, конвективного тепло – и массообмена.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих научных мероприятиях:

✓ III Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы», г. Томск, 2016 г.

✓ IV Международный молодёжный форум «Интеллектуальные энергосистемы», г. Томск, 2016 г.

✓ XX Международный научный симпозиум студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», г. Томск, 2016 г.

✓ Международная молодежная научная конференция «Тепломассоперенос в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического и технологического оборудования», г. Томск, 2017 г.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 4 печатных работах. Которые были представлены на следующих научных конференциях в России: «Молодежь, наука, технологии» (Томск, 2016), «Интеллектуальные энергосистемы» (Томск, 2016), «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2016), «Тепломассоперенос в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического и технологического оборудования» (Томск, 2017).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, включающего 101 наименование, содержит 25 рисунков, 15 таблиц, 135 страниц.

Краткое содержание работы.

Введение отражает актуальность темы, а также определяет цель и задачи исследований.

Первая глава отражает современное состояние теоретических и экспериментальных исследований связанных с эффективностью отведения избыточной тепловой энергии от теплонагруженных поверхностей. Проанализированы известные результаты исследований закономерностей,

условий и характеристик фазовых превращений, а также рассмотрены установленные ранее особенности быстропротекающих процессов на границах раздела сред при интенсивном нагреве и охлаждении.

Во второй главе представлены описания созданных экспериментальных стендов, разработанные методики проведения исследований и обработки полученных результатов, а также проведена оценка погрешностей результатов выполненных измерений. Представлены результаты экспериментальных исследований фазовых превращений при охлаждении металлических образцов (шаров) растворами и суспензиями на основе воды, а также нагреве капель воды с металлическими включениями. Зарегистрированы характерные времена существования неоднородных капель жидкости в высокотемпературных средах. Показано влияние добавления различных примесей в воду на процессы ее испарения и кипения.

В третьей главе приводятся результаты численного исследования процесса охлаждения корпуса ядерного реактора суспензиями и растворами на основе воды, а также температурные поля защитной оболочки теплонагруженного оборудования при использовании водопроводной, морской воды и суспензий состоящих из глины и графита. Выполнен анализ наиболее оптимальных (ресурсоэффективных) условий охлаждения рассматриваемой ограждающей конструкции.

В заключении подведены основные итоги диссертационных исследований, а также сформулированы соответствующие выводы и рекомендации по практическому использованию полученных результатов.

Глава 1. Современные представления о подходах эффективного отведения избыточной тепловой энергии в системах «хладагент – поверхность теплообмена»

Одним из важнейших направлений развития теплофизических технологий в настоящее время является интенсификация теплообмена при фазовых превращениях однородных и неоднородных жидкостей.

В этой области можно выделить труды таких исследователей и научных коллективов как: Г.В. Кузнецов, П.А. Стрижак [11-13], А.И. Леонтьев [14-19], А.Ю. Вараксин [20], Е.А. Чиннов, О.А. Кабов [21], С.А. Исаев [14,15,17-19], П.А. Баранов [15,18,22], В.В. Олимпиев [16,22,24], Г.А. Дрейцер [23], Ю.А. Зейгарник [20,24–28], А.А. Голубев [29,30], А.М. Гафуров [31,32] и других.

Условно методы интенсификации теплообмена разделяются на две группы: активные и пассивные. Первая группа методов менее востребована из-за негативных эффектов вибрации и акустического шума [33-34]. Вторая группа не требует внешнего вмешательства и разделяется на две подгруппы:

1. Совершенствование поверхностей теплообмена.
2. Изменение свойств жидкостей путем добавления различных примесей.

Метод совершенствования поверхностей теплообмена находит свое применение при разработке нового оборудования. Вторым указанным методом применяется в технологиях эффективного охлаждения различных устройств, поверхностей и деталей [35-37].

Опубликовано большое количество работ (например, [14-16,20-27]), результаты которых показывают возможности влияния добавления различных примесей на теплофизические свойства изучаемых растворов и суспензий с целью повышения эффективности их использования и технологических процессов, в которых они находят применение. Особое внимание уделяется исследованиям методов увеличения критического теплового потока, отводимого от

теплонагруженной поверхности при фазовых превращениях, за счет введения твердых частиц (различной физической природы и концентраций) в теплоноситель [38].

В последние годы зарубежные исследования сфокусированы на исследовании свойств наножидкостей, например [17,21,39]. Это объясняется успехом в изучении влияния наночастиц на протекание тепловых процессов [18-19,40-41]. Вследствие неустойчивости наножидкостей существует ряд проблем при их исследовании. Во-первых, наночастицы объединяются в группы и оседают в объеме базовой жидкости (например, при скоплении и оседании частиц изменяется теплопроводность наножидкости [42]). Это в свою очередь является неблагоприятным фактором при их использовании в различных технологиях и практических приложениях. Малые концентрации наночастиц в жидкостях приводят к значительным изменениям в свойствах традиционных теплоносителей, таким как рост теплопроводности (до 15%), критического теплового потока (до 190% и выше), теплоотдачи (до 55%) [43]. Например, при добавлении наночастиц меди в концентрации 2% в базовую жидкость коэффициент теплоотдачи увеличивается на 70-80%, а при добавлении 0,01 г/л частиц оксида алюминия Al_2O_3 (размером 50-450 нм) критический тепловой поток увеличивается на 200% (при наклоне поверхности до 150° , даже на 500%) [43] и т.д. Исследования Сибирского федерального университета и Института вычислительного моделирования СО РАН показывают, что использование наножидкостей увеличивает коэффициент теплоотдачи на 25-50% при вынужденной конвекции, а также повышает значение критического теплового потока в 2-3 раза. Таким образом, исследования в данной области открывают новые перспективы повышения эффективности функционирования теплообменного оборудования. Использование наножидкостного теплоносителя на АЭС и ТЭС, без каких либо изменений в технологической схеме, способно поднять производство электроэнергии на 30-35% [43]. Исследования [44-47] подтверждают существование реальных возможностей увеличения производительности

оборудования в теплоэнергетике, криогенике, атомной энергетике, снижения металлоемкости и стоимости агрегатов, сокращения эксплуатационных расходов при функционировании тепловых сетей, контуров охлаждения и нагрева различных установок (например расхода электроэнергии циркуляционными насосами).

Такое явление как паровой взрыв может происходить при авариях на АЭС, из-за перегрева металла до температуры плавления [48-52]. При взаимодействии расплавленного металла и охлаждающего агента происходит паровой взрыв, который в свою очередь угрожает целостности конструкции ядерного реактора. Это явление также зачастую встречается в таких отраслях промышленности как металлургия и литейное производство [50]. Негативными последствиями парового взрыва являются человеческие потери и материальные затраты на восстановление технологических процессов объектов промышленности.

В металлургии для охлаждения корпуса плавильной камеры используют промежуточный жидкометаллический теплоноситель находящийся внутри корпуса плавильной камеры, выполненного в виде двустенной металлической оболочки с герметичной полостью. Охлаждение промежуточного жидкометаллического теплоносителя выполняется вторичным газообразным теплоносителем, проходящим через теплообменник [29]. Использование данного хладагента позволяет создать более простой и эффективный агрегат [29]. Для охлаждения корпуса плавильного агрегата также применения свинцово-висмутовый теплоноситель, предназначенный для реализации нового эффективного технологического способа переработки радиоактивных отходов [29].

Проблема связанная с необходимостью обеспечения эффективного охлаждения поверхностей технологического оборудования стала весьма актуальной. Авторами [28] Охлаждение нагретых до высоких температур различных металлических стержней и сфер, проводилось с помощью водно-солевых растворов и суспензий на основе воды. С помощью высокоскоростной

видеосъемки регистрировались особенности быстропротекающих процессов. В ходе экспериментов с водопроводной водой обнаружено, что при быстром охлаждении металлического образца, формируется паровая пленка, которая в свою очередь существенно замедляет теплообмен. Применение морской воды, как показывают исследования (например, [10]), исключает процесс пленочного кипения и повышает эффективность охлаждения металлических образцов.

В экспериментах [28] установлено, что при охлаждении тел сферической формы, диаметр которых варьировался от 15 до 25 мм, с начальной температурой 800 К при погружении в объем охлаждающей жидкости с температурой около 297 К происходит взрывной переход от пленочного режима кипения к пузырьковому, который сопровождается характерным хлопком. Кроме того, авторы выделили не описанный ранее пульсационный режим кипения общей продолжительностью менее 0,2 с, конечной стадией которого и является хлопок. При этом режиме были отчетливо видны локальные области с интенсивными пульсациями границы раздела фаз (исходя из этого авторы [28] называли данный процесс пульсационным режимом кипения), фронт которых двигался со скоростью примерно 200—250 м/с во всех направлениях. Также в области пульсационного режима были обнаружены образования, внешне напоминающие расположенные на границе раздела фаз пузыри. Для исследований [28] характерны сложности достоверного измерения температур из-за ничтожно малых времен протекания процессов охлаждения.

В последние годы выбор хладагента для холодильных машин водится не только по теплофизическим и термодинамическим параметрам, но и исходя из оценки их влияния на экологию [53]. Коэффициент теплоотдачи при кипении смесевых хладагентов R407C и R410A значительно увеличивается за счет роста плотности теплового потока [54]. Объяснить данное явление можно так же, как и для однокомпонентных веществ. С ростом перегрева жидкости (характеризуется ростом плотности теплового потока) появляется возможность компенсации перепада давления (эффект Лапласа и Томсона) [55]. Очевидно, что это

обусловлено ростом перегрева, когда жидкость испаряется в пузыри с меньшим радиусом. Следует также отметить, что зародыши паровой фазы с меньшим радиусом кривизны становятся активными, это может привести к повышению интенсивности теплообмена [53-55].

Авторы [56] определили распределение температуры при охлаждении деталей различных форм. Выявлено, что, скорость охлаждения наружного слоя не превышает, скорость охлаждения внутренних слоев деталей. При этом происходит более интенсивное сокращение объема внутренних слоев рассматриваемых образцов. Таким образом, превышение температурных напряжений выше предела прочности материала, приводит к разрушению деталей. Результаты расчета [56] на базе алгоритмов для термореактивного материала марки К-18-2 позволяют сделать следующие выводы: при охлаждении деталей на плоских и эллиптических поверхностях уменьшение температуры тел происходит по концентрическим окружностям с увеличением их радиуса; в точках пересечения с окружностью наименьшего радиуса сохраняется наибольшая температура; на внешней поверхности с большей площадью максимальная температура значительно выше [56].

Проведены систематические расчеты [57] характеристик паровой конверсии метана для реакторов панельного типа с одно- и двухсторонним обогревом, которые позволили выявить уровень предельно допустимых тепловых потоков, газодинамические ограничения на длину канала, давление и расход газа, целесообразные масштабы развития макроповерхности контакта в канале и способы размещения на ней катализатора. По итогам этих расчетов сделан, в частности, вывод о неэффективности каталитической насадки, не имеющей хорошего теплового контакта с греющей стенкой [57].

Согласно закону Мура за последние десятилетия должно произойти резкое увеличение плотности размещения электронных компонентов в корпусах изделий [58]. Одновременно с увеличением коэффициента использования объема изделия увеличивается и плотность тепловых потоков. Возможности обычного

воздушного охлаждения практически исчерпаны, но проблемы рассеивания тепла могут быть во многом решены с помощью жидкостного охлаждения. Пути отвода тепла зависят от технологии сборки и конструкции корпуса системного блока [59]. Для эффективной работы жидкостного охлаждения требуются термостабилизация, и оптимальный выбор хладагента, обеспечивающий минимальные габариты оборудования и температуры поверхности [58-59]. Испарительное охлаждение является одним из таких способов. Значительный эффект в таких системах достигается не только за счёт кипения теплоносителя на охлаждаемой поверхности, что обеспечивает отвод значительных тепловых потоков, но и за счёт подвода хладагента по нормали к поверхности через одиночный канал или группу каналов.

В настоящее время наиболее эффективными и перспективными методами интенсификации теплообмена являются импактные струи. Благодаря разрушению пристеночного пограничного слоя. Также для дополнительной интенсификации теплообмена используются различные способы развития поверхности (миниоребрения и микрооребрения) с разным профилем и поверхностной шероховатостью. Некоторые аспекты интенсификации теплоотдачи при импактной подаче теплоносителя на различные поверхности рассмотрены в [60-62]. Проведённые экспериментальные исследования [60] свидетельствуют о существенном влиянии на теплоотдачу при кипении импактных струй фреона R-134a высоты миниоребрения, формы подающего канала и расстояния от канала до рабочей поверхности. Применение многоточечного орошения поверхности приводит к снижению неравномерности распределения температурного поля на рабочем участке.

В литературе [63] достаточно подробно рассмотрены вопросы однофазного струйного охлаждения. Рассмотрим некоторые исследования более подробно. В [64] рассматриваются вопросы струйного охлаждения теплонагруженных поверхностей импактными потоками и отдельными каплями теплоносителя. В зависимости от условий проведения экспериментов хладагент мог быть

представлен в виде мелкодисперсной фазы либо при достаточной интенсивности подачи – в виде отдельных жидких конгломератов, сливающихся в единую струю. Влияние растворенного газа на параметры процесса кипения рассмотрены в [63] и [65]. В [63] осуществлялась подача FC- 87, FC-72, метанола и воды через восемь отверстий и установлено, что наличие растворенного газа приводит к увеличению критической плотности теплового потока и положительно сказывается на эффективности охлаждения теплонагруженных элементов радиооборудования. В [65] исследовано влияние растворенного газа в жидкости FC-72. Результаты, полученные в [65], подтвердили выводы, представленные ранее в [63], а именно, доминирующее влияние добавок растворимого газа на снижение перегрева стенки при фиксированном тепловом потоке.

Существующие решения задач лучисто-конвективного нагрева (охлаждения) тел на начальной стадии при нестационарных коэффициентах теплообмена и температуры среды довольно громоздки. Авторы работ [66] получили более простые зависимости. Решения базируются на основе анализа полученных уравнений связи между причиной (тепловым потоком) и следствием (температурой поверхности) в начальный период нагрева. Предложены простые и эффективные инженерные методики расчета нестационарных полей температур и осевых термических напряжений на начальной стадии нагрева (охлаждения) тел канонической формы одновременно конвекцией и излучением при переменных коэффициентах теплообмена и температуре окружающей среды. Установлено [66], что осевые термические напряжения целиком определяются тепловым потоком на поверхности. Адекватность разработанных методик установлена на пяти случаях расчета нагрева (охлаждения) плиты при различных условиях ее теплового нагружения.

Конденсаторы паровых турбин на тепловых электрических станциях (ТЭС) и атомных электрических станциях (АЭС), являются одним из основных источников сбросной низкопотенциальной теплоты, где происходит конденсация отработавшего пара с выделением скрытой теплоты парообразования в

окружающую среду [67]. Прямая прокачка пресной озерной или речной воды через конденсатор и дальнейшее возвращение ее в естественные водоемы без предварительного охлаждения, является обычным способом использования воды для поглощения тепловой энергии [68-70]. В новых системах охлаждения, в которых промежуточным теплоносителем вместо водопроводной воды служит аммиак, испаряющийся в поверхностном конденсаторе паровой турбины и впоследствии конденсирующийся в охладительной башне, в которой теплота конденсации передается наружному воздуху. Такая система из тепловых трубок заполненных аммиаком, которые являются поверхностью конденсатора, эффективно передают теплоту. Эта система обеспечивает существенное снижение затрат на оборудование, при минимальном вложении материальных средств в модернизацию конденсатора. В ходе экспериментов [31-32] авторами разработано несколько эффективных способов охлаждения конденсаторов паровой турбины с помощью углекислого газа (CO_2) и пропана (C_3H_8), которые циркулируют в замкнутом контуре теплового двигателя, работающего по циклу Ренкина. С помощью технической воды или наружного воздуха окружающей среды в зимний период времени осуществляют охлаждение низкокипящего работающего рабочего газа CO_2 и C_3H_8 [67-70,31-32].

Одной из основных задач последнего десятилетия является разработка и исследование систем электротранспорта на основе автономного электропривода, с источником питания на борту [71]. Увеличение удельной мощности электроприводов обуславливает применение жидкостного охлаждения. Источниками тепла, а значит и объектами охлаждения в разрабатываемом электротранспортном средстве являются два мотор–колеса номинальной мощностью по 40 кВт и инверторы векторных приводов. Отвод тепла от инвертора происходит за счет контакта между его теплообменным телом и системой охлаждения (СО). В состав каждого контура СО входит радиатор, соединительные патрубки, датчики температуры и расхода жидкости и исполнительные механизмы. Процесс отвода и рассеивания в каждом контуре

можно разделить на три этапа: теплообмен между источником тепла и охлаждающим агентом, теплообмен между охлаждающим агентом и радиатором, рассеивание тепла в окружающую среду. Во всех трех случаях происходит принудительная конвекция. В первых двух этапах на протекающие процессы влияет только электропомпа. В сравнении с режимом работы СО, при котором на все исполнительные механизмы подавалось по 12 В, затраты на охлаждение преобразователя были снижены на 55 и 42,6 % при охлаждении преобразователя и мотор–колеса, соответственно [72]. Предложенный авторами [71-73] метод, позволил исключить нерациональное использование энергии и сформировать алгоритм терморегулирования.

Современное технологическое оборудование мощных газовых лазеров, обеспечивающее отвод и эффективное рассеяние тепловой энергии при минимальном расходе хладагента, циркулирующего во внешнем контуре системы, непрерывно связано с разработкой компактных систем охлаждения [74]. В последние годы появляется необходимость перевода системы на более эффективный режим движения теплоносителей, а также существует необходимость интенсификации процессов конвективного теплообмена путем формирования новой формы сечения каналов теплообменника, в виде зазора с малым гидравлическим диаметром [74]. В работах [73-77] описана эффективная и компактная жидкостная система охлаждения при использовании газовых лазеров мощностью 40 кВт. Исследования теплообмена проводились на установке, состоящей из контрольно-измерительных приборов, определяющих массовые расходы теплоносителей, начальную, конечную и продольную температуры по поверхности теплообмена [74].

Термическая обработка полупроводниковых пластин – важный этап многих технологических маршрутов при формировании приборов микроэлектроники, предъявляющий повышенные требования к лабораторному и промышленному оборудованию [78]. Важнейшие характеристики такого процесса: скорость и однородность нагрева/охлаждения образцов, максимальная температура, время

обработки, управляемые параметры газовой среды. Ранее для охлаждения образцов использовался поток инертного газа, например, азота, однако эффективность подобной системы низка, поскольку скорость охлаждения образца мала и расход газа при температурах ниже 300°C достаточно большой. Для устранения вышеперечисленных недостатков авторами [78] предложена новая конструкция реактора для высокотемпературной термической обработки образцов в управляемой газовой среде с возможностью их быстрого нагрева и охлаждения. В отличие от традиционного кварцевого предложенный реактор выполнен из нержавеющей стали с двойными стенками, что позволяет проводить охлаждение водой. Подобная конструкция реактора позволяет производить длительные процессы термической обработки при температурах более 1200°C с высокими скоростями нагрева и охлаждения.

Подводя итоги можно сказать, что результаты современных исследований процессов эффективного охлаждения поверхностей теплонагруженного оборудования мало изучены и не имеют единой теоретической базы. Таким образом, в теории фазовых превращений и теплообмена вопросы интенсификации и эффективного охлаждения остаются актуальными. Применение систем водного охлаждения имеет множество плюсов, таких как: доступность, экономичность, простота использования, безопасность. А указанные выше системы охлаждения безусловно связаны со сложностями при эксплуатации, материальными затратами и потенциальными экологическими проблемами. Именно поэтому применять обычную водопроводную воду и смеси на ее основе, является актуальным направлением.

Выводы по первой главе

1. Методы интенсификации теплообмена продолжают активно развиваться. Появление новых технологий, способствует значительному росту исследований по разработке смешанных методов и усовершенствованию классических.
2. Целесообразным является проведение экспериментальных исследований закономерностей фазовых превращений при охлаждении металлических шаров, суспензиями и растворами на основе воды, а также при нагреве капель воды с металлическими соразмерными включениями, уделяя особое внимание эффективности хладагента.
3. Следует определить характеристики тепломассопереноса и фазовых превращений при охлаждении металлических шаров, суспензиями и растворами на основе воды, а также при нагреве капель воды с металлическими соразмерными включениями, исследовать влияние группы основных варьируемых параметров системы «капля суспензии или эмульсии – высокотемпературная среда» и «жидкость – металлический шар» на эти характеристики.

Глава 2. Экспериментальное исследование процессов тепломассообмена и фазовых превращений при охлаждении металлических шаров суспензиями и растворами на основе воды, а также при нагреве капель воды с металлическими соразмерными включениями

Основной задачей планируемых экспериментов является установление условий устойчивой интенсификации при охлаждении металлических шаров суспензиями и растворами на основе воды, а также при испарении капель воды с металлическими соразмерными включениями.

Среди основных параметров, оказывающих существенное влияние на фазовые превращения при охлаждении металлических шаров, суспензиями и растворами на основе воды, а также при испарении капель воды с металлическими соразмерными включениями, необходимо выделить температурные режимы и характеристики среды. Такие как времена реализации режимов парообразования с учетом группы быстропротекающих процессов (возникновение и дальнейшая эволюция пузырьков пара на границах раздела сред; смена режимов кипения и т.д.), свойства компонентов в объеме жидкости и другие.

Целью данной работы является экспериментальное исследование закономерностей фазовых превращений при охлаждении металлических шаров, суспензиями и растворами на основе воды, а также при нагреве капель воды с металлическими соразмерными включениями. Исследования будут проводиться в температурных условиях, соответствующих или близких к реальным условиям перегрева корпусов (ограждающих конструкций) теплонагруженного оборудования ТЭС и АЭС.

Для варьирования объема жидкости в составе неоднородных капель применялся электронный дозатор с функциями забора жидкости от 5 до 50 мкл. Непосредственный забор жидкости проводился специальным сменным наконечником, которым оснащен электронный дозатор.

Для контроля времени нагревания неоднородной капли жидкости последняя закреплялась на керамическом стержне (диаметр 0,3 мм), который автоматическим передвижным механизмом помещался вместе с каплей в высокотемпературную газовую среду.

Металлический шар изготовленный из стали марки 45 при достижении необходимой температуры с помощью координатного устройства перемещался в емкость с хладагентом. Время передвижения металлического шара в емкость, заполненную хладагентом, составляло приблизительно одну секунду, это компенсировало показатель тепловой инерции хромель-алюмелевой термопары.

Исследование особенностей испарения и кипения неоднородных капель жидкости с детальной визуализацией процессов на внутренних и внешних границах раздела сред, а также эффективности применения различных хладагентов на основе воды для быстрого охлаждения металлических поверхностей выполнено с применением высокоскоростной видеосъемки. Программный комплекс «Phantom Camera Control», обеспечивающий работу высокоскоростной камеры, использовался для оценки временных характеристик процессов, а также определения линейных размеров капель и массивов жидкостей.

2.1. Методика исследований и экспериментальный стенд для изучения процессов испарения капель воды, содержащих крупные металлические включения

Эксперименты выполнены на стенде, внешний вид которого представлен на рис. 2.1.1. Техническая база и некоторые элементы методики аналогичны использованным при проведении экспериментов в исследованиях [79]. На вставке рис. 2.1.1 представлена фотография области исследований, т.е. рассматриваемая система «капля воды с металлическим включением – высокотемпературная газовая среда».

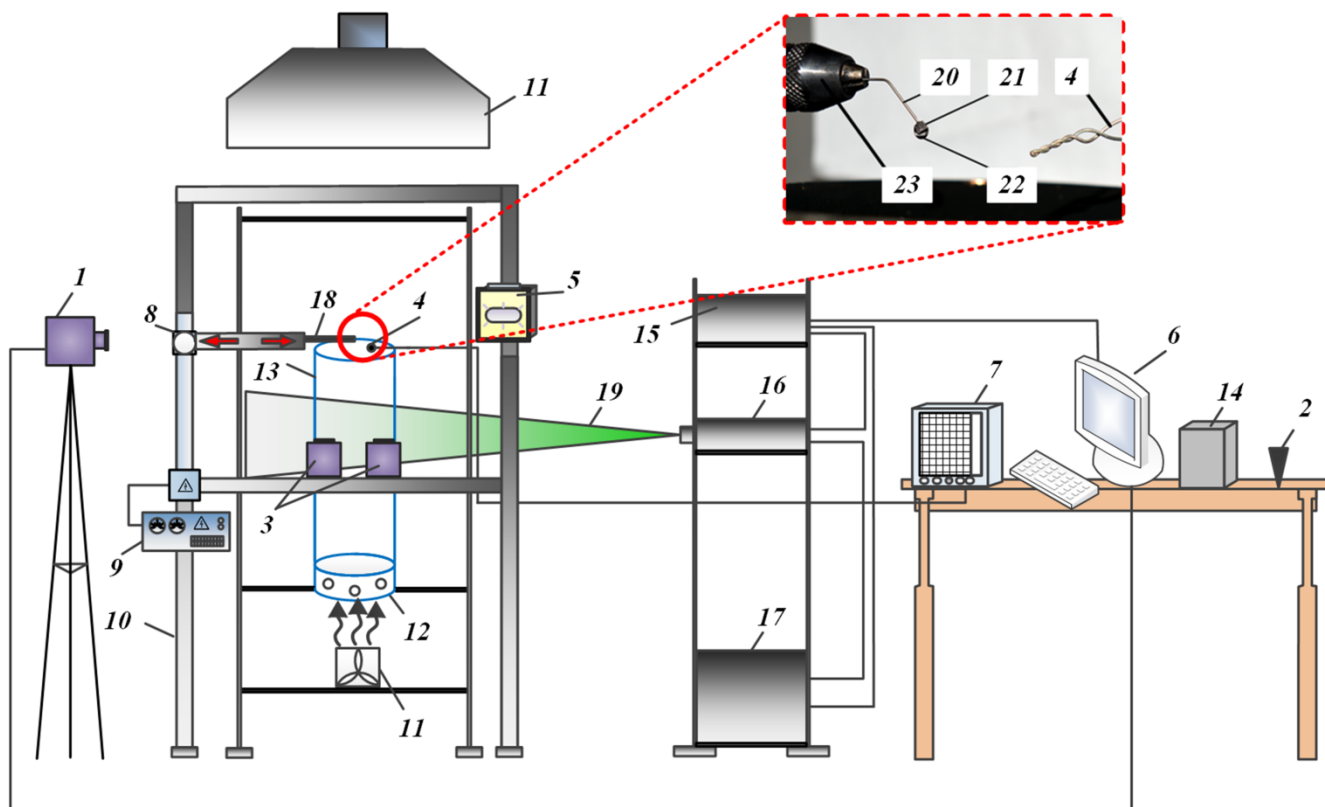


Рис. 2.1.1 – Схема экспериментальной установки: 1 – высокоскоростная камера, 2 – дозатор, 3 – кросскорреляционная цифровая видеокамера, 4 – термопара, 5 – прожектор, 6 – персональный компьютер (ПК), 7 – регистратор температуры, 8 – автоматическое координатное устройство (АКУ), 9 – блок питания АКУ, 10 – алюминиевая стойка, 11 – система обеспечения воздушного потока, 12 – горелка, 13 – цилиндр из кварцевого стекла, 14 – весы, 15 – синхронизатор ПК, кросскорреляционной цифровой видеокамеры, 16 – твердотельный лазер с ультракороткими импульсами, 17 – генератор лазерного излучения, 18 – направляющая, 19 – световой импульс, 20 – керамический стержень, 21 – металлическое включение, 22 – капля воды, 23 – устройство для фиксации керамического стержня

Цель данного исследования – исследование и сравнение процессов испарения капель воды, содержащих крупные включения, изготовленные из металлов марок: углеродистая сталь марки AISI 1080, нержавеющая сталь марки AISI type 316L и никель без примесей, при нагреве в высокотемпературной (до 900 K) газовой среде. В ходе экспериментального исследования должны быть

установлены условия, способствующие максимально эффективному охлаждению включений, а также предложены технические решения, направленные на усовершенствование существующих мер по защите ограждающих конструкций активной зоны АЭС от критических перегревов, приводящих к их физическому повреждению (подобно аварии на АЭС Фукусима-1).

Необходимо отметить, что в ходе экспериментальных исследований фазовых превращений капель воды с металлическими включениями использовалась высокоскоростная видеокамера 1 «Phantom V411» и программное обеспечение «Phantom Camera Control», позволяющее проводить обработку снятого видеоматериала. Применение такого подхода позволило решить следующие задачи:

1. Определить времена существования τ_h капель воды с металлическими включениями в высокотемпературной газовой среде. Скорость записи видеоматериала при этом составляла до 10^3 кадров в секунду (кадр/с).
2. Выявить закономерности фазовых превращений на внутренних «металлическое включение - капля воды» и внешних «неоднородная капля жидкости - высокотемпературная газовая среда» границах раздела сред. Скорость записи видеоматериала составляла до 10^4 кадр/с.

В исследованиях применялись широко распространенные в последнее время оптические методы бесконтактной диагностики однородных, неоднородных, двухфазных или мультифазных потоков (например, [80–82]). В частности, для контроля скоростей движения потока высокотемпературных газов u_g использовались методы «Particle Image Velocimetry (PIV)» и «Stereo PIV». Первый позволил определить двухкомпонентные поля скоростей потока продуктов сгорания за счет введения в него трассирующих частиц (нанопорошка – диоксида титана TiO_2); аналогичная методика представлена в [82].

Второй обусловлен применением второй кросскорреляционной камеры 3 и позволяет проводить измерение всех трех компонентов скорости в пределах плоскости лазерного ножа 19. Камера (или камеры в случае использования «Stereo

PIV)» 3 регистрировала перемещение трассеров в потоке газов в период времени между вспышками излучаемого лазером 16 светового ножа 19. Примеры полученных с помощью обоих методов полей скоростей потока продуктов сгорания представлены на Рис. 2.1.2 и 2.1.3.

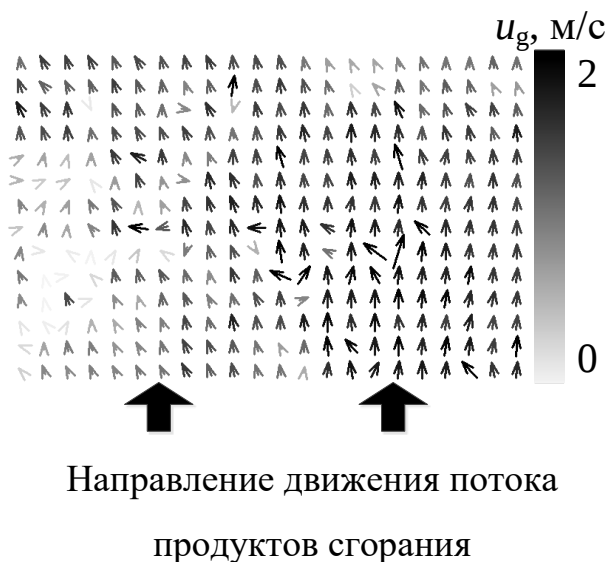


Рис. 2.1.2 – Поле скоростей потока продуктов сгорания (получено методом PIV)

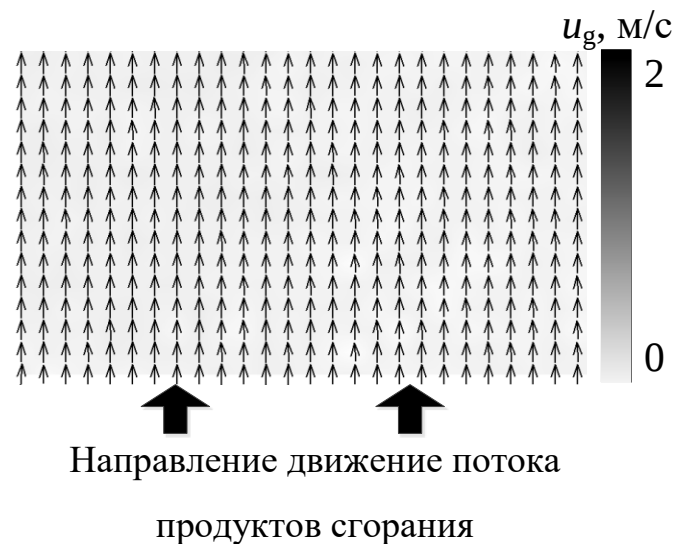


Рис. 2.1.3 – Поле скоростей потока продуктов сгорания (получено методом Stereo PIV)

За счет совместной работы нагнетательной системы и вытяжной вентиляции, образующими систему воздушного потока 11, скорость движения потока продуктов сгорания поддерживалась на уровне 1,5–2 м/с. Рис. 2.1.2 и 2.1.3 демонстрируют это. При такой скорости движения потока газов u_g сохранялась целостность неоднородной капли жидкости. Иными словами, каплю не уносило вместе с потоком газов, и она не разрушалась на более мелкие капли. Кроме того, при такой скорости газов обеспечивалась необходимая высота пламени, соответствующая длине кварцевого цилиндра 13. В качестве горючей жидкости использовался технический спирт, который заливался в горелку 12, представляющую собой низкий металлический цилиндр диаметром 0,12 м с дном. Этот цилиндр в верхней части оснащен четырьмя отверстиями диаметром 0,01 м, предназначенными для обеспечения требуемого подсоса воздуха в зону горения, который в свою очередь усиливался за счет работы системы воздушного потока

11. Для каждой серии экспериментов заливало 60 мл технического спирта. За время горения такого объема горючего проводилось 5–7 экспериментов в зависимости от параметров неоднородной капли жидкости (масса капель воды, размер включения, марка металла). Компонентный состав продуктов сгорания технического спирта, использованного в данной работе, следующий: CO_2 – 4,433 %, CO – 0,058 %, O_2 – 14,907 %, NO – 0,002 %, NO_x – 0,002 %, другие углеводородные компоненты и N_2 – 80,598 %. Для измерения содержания компонентов высокотемпературной газовой среды применялся газоанализатор Testo 300XXL (погрешность измерения CO : ± 5 %, O_2 : $\pm 0,2$ %, NO : ± 5 %, NO_x : ± 5 %; содержание других углеводородных компонентов, CO_2 и N_2 являются для указанной модели газоанализатора расчетными значениями).

Как и в исследованиях [79], эксперименты проводились при закреплении на керамическом стержне 20 капли воды 22, содержащей металлическое включение 21 (Рис. 2.1.1). Выбран единственный вариант формирования неоднородных капель, при котором включение находится под углом по направлению движения потока продуктов сгорания (Рис. 2.1.1). При таком положении включения слой воды большей толщины обволакивает существенную часть его поверхности. При этом увеличивается площадь внутренней границы раздела сред «металл - вода», позволяющая эффективнее взаимодействовать с основной частью объема слоя воды. Условия полного обволакивания металлического включения 21 каплей воды 22 и стабилизации начальной температуры включения 21 являлись обязательными и выполнялись перед каждым экспериментом. Эти условия достигались за счет погружения включения на 1–2 секунды в емкость с водой (температура 298 К). Масса жидкости, оставшаяся после погружения на металлических включениях, составляла в среднем 0,002 г и учитывалась при обработке результатов опытов.

На рис. 2.1.4 показаны исследуемые металлические включения размером 1 и 2 мм. Эти включения имеют технологический выступ следующих размеров:

высота 0,5 мм, диаметр 0,3 мм. С помощью него металлическое включение 21 механически закреплялось на керамическом стержне 20.



Рис. 2.1.4 – Металлические включения цилиндрической формы: *а* – включения размером 1 мм; *б* – включения размером 2 мм

Металлические включения взвешивались с применением аналитических весов «Vibra AF 225DRCE» (максимальная и минимальная масса – 220 г и 0,001 г, соответственно; погрешность не более 0,5 % от измеряемой массы; рис. 2.1.1). При проведении серии экспериментов с неоднородными каплями, содержащими включения одной формы и размера, отклонение по их массе могло достигать $\pm 0,002$ г. В зависимости от физических свойств металлов существенно различались массы включений при одинаковых размерах. В таблицах 2.1.1 и 2.1.2 приведены массы рассматриваемых образцов металлических включений.

Таблица 2.1.1 – Массы металлических включений размером 1 мм

Высота включения h_{in} , мм	№	Сталь марки	Масса включения m_{in} , г
1	1	Углеродистая сталь AISI type 1080	0,026
	2	Нержавеющая сталь AISI 316L	0,028
	3	Никель (без примесей)	0,034

Таблица 2.1.2 – Массы металлических включений размером 2 мм

Высота включения h_{in} , мм	№	Сталь марки	Масса включения m_{in} , г
2	1	Углеродистая сталь AISI type 1080	0,049
	2	Нержавеющая сталь AISI 316L	0,053
	3	Никель (без примесей)	0,068

При анализе результатов экспериментальных исследований учитывались теплофизические свойства металлов и воды [83–88].

Эксперименты проводились в несколько этапов:

1. Зажигалось топливо в горелке 12.
2. Исследуемая неоднородная капля жидкости подавалась в область взаимодействия с продуктами сгорания с помощью передвижного механизма 8. Керамический стержень 20 с неоднородной каплей жидкости крепился в зажимном патроне 23 (Рис. 2.2.1). Зажимной патрон 23, в свою очередь, закреплялся на направляющей 18, приводимой в движение механизмом 8.
3. Проводилась видеозапись появившейся в кадре неоднородной капли жидкости, и фиксировалось начальное время ее испарения τ_{h0} . Металлическое включение после испарения воды выводилось из газовой среды.

4. Металлическая частица охлаждалась, и затем на нее опускалась новая капля воды. Далее, шаги (2) и (3) повторялись. После 5–7 опытов горючее прогорало. При этом, температура газовой среды T_g увеличивалась с 300 К до 900 К. Между сериями экспериментов проводился анализ по записанному видео материалу времен существования неоднородных капель воды τ_h в высокотемпературной газовой среде, а также определялись соответствующие диапазоны изменения температуры газовой среды T_g .

Максимальная погрешность вычисления времен существования (полного испарения) неоднородных капель жидкости с учетом частоты видеорегистрации составила 10^{-3} с. Систематические погрешности средств измерения размеров неоднородных капель жидкости не превышали 0,05 мм. Случайная погрешность определения T_g , h_v и τ_h составляла 9 %.

2.2. Экспериментальный стенд и методика исследований эффективности применения различных хладагентов на основе воды для быстрого охлаждения металлических поверхностей

Возникновение пленочного кипения на поверхности теплообмена следует отнести к негативным аспектам использования воды для отвода тепла от металлических поверхностей (и других поверхностей с низкой шероховатостью) в условиях, соответствующих фазовому переходу. Пограничный паровой слой формирующийся при этом, значительно снижает коэффициент теплообмена между разогретой металлической поверхностью и хладагентом.

Цель данного исследования – сравнительный анализ эффективности применения различных хладагентов на основе воды для быстрого охлаждения металлических поверхностей.

На сегодняшний день одной из основных задач является поиск теплоносителя на водной основе, использование которого минимизировало бы возникновение пленочного кипения на поверхностях теплообмена. Эксперименты

по охлаждению металлических шаров и цилиндрических стержней деионизированной и морской водой представлены в работах [89, 90]. Анализ результатов [89, 90] позволяет сделать вывод о том, что при использовании морской воды режим пленочного кипения в зоне контакта «хладагент – поверхность теплообмена» не реализуется, в то время как при использовании деионизированной воды достаточно продолжительное время (до 15 с) реализовывался этот режим. Благодаря пленочному кипению увеличивались времена охлаждения (снижалась эффективность теплоотвода). Возможность использования морской воды в качестве хладагента ограничено, поэтому особый интерес представляет оценка целесообразности использования в качестве теплоотводящего хладагента искусственных водных солевых растворов и суспензий с различными концентрациями и размерами твердых примесей.

Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.2.1.

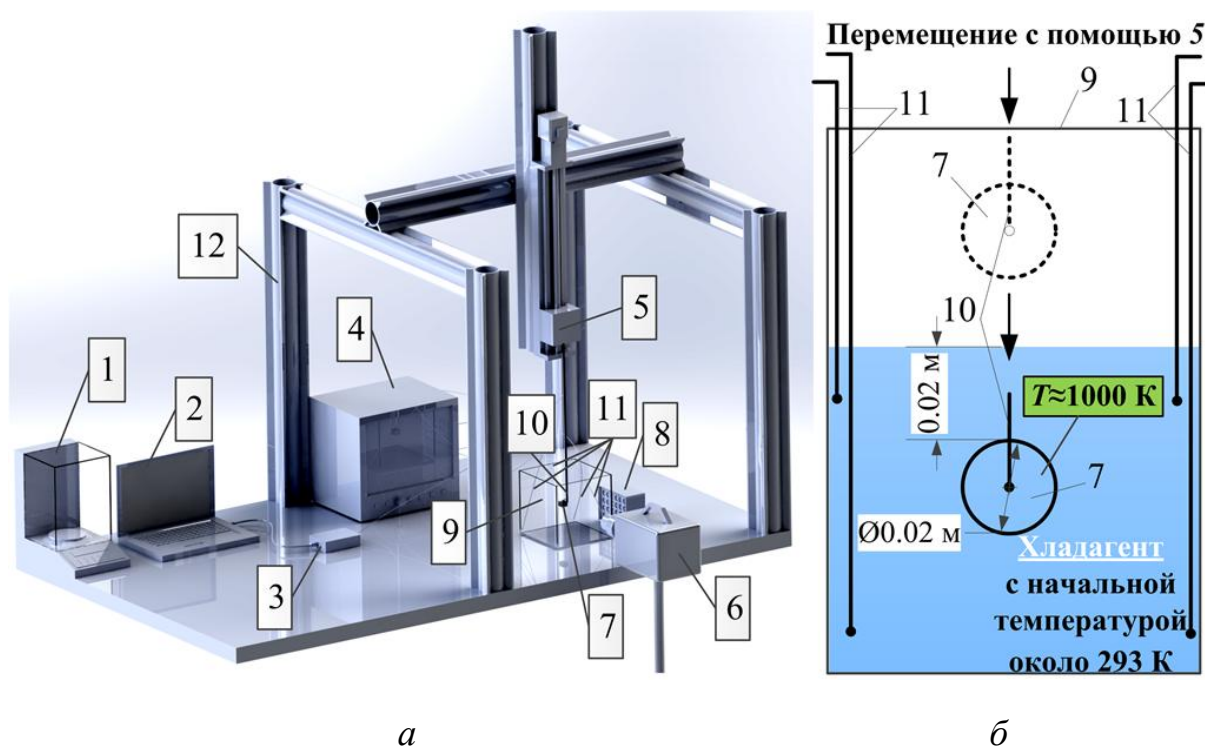


Рис. 2.2.1 – Схемы экспериментального стенда (а) и области исследований (б): 1 – аналитические весы; 2 – ПК; 3 – устройство сбора данных; 4 – регистратор температуры; 5 – механизированное координатное

устройство; 6 – высокоскоростная видеокамера; 7 – металлический шар; 8 – светодиодный прожектор; 9 – резервуар для хладагента; 10 – термоэлектрический преобразователь (измерение температуры внутри металлического образца); 11 – термоэлектрические преобразователи, регистрирующие изменение температуры хладагента в резервуаре; 12 – алюминиевый каркас

Эксперименты выполнялись согласно следующей последовательности действий. Шар 7, изготовленный из стали марки 45, диаметр которого составляет 20 мм, разогревался с помощью портативной бутановой горелки до температуры 1000 К, на расстоянии 0,1–0,15 м от сопла горелки. Прогрев шара осуществлялся с разных сторон, при данных условиях неоднородность прогрева шара сводилась к минимуму. В качестве крепежного элемента для металлического шара использовался хромель-алюмелевый термоэлектрический преобразователь (тип К, диапазон измеряемых температур 233÷1273 К, предел допускаемых отклонений (ГОСТ 6616) в диапазоне температур от 607 до 1273 К – $\pm 0,0075 \cdot |T - 273|$, показатель тепловой инерции не более 1 с при диаметре защитной оболочки термоэлектрического преобразователя 1,5 мм), который помещался в заранее просверленное отверстие диаметром 1,5 мм и глубиной 10 мм. Термоэлектрический преобразователь 10 достаточно надежно закреплялся в просверленном отверстии шара 7. Зазор между защитной оболочкой термопары 10 и внешней поверхностью металлического шара 7 заполнялся термостойким клеем «PENOSIL Premium +1500» для исключения попадания хладагента в процессе охлаждения на чувствительный элемент термоэлектрического преобразователя 10. С помощью термопары 10, учитывая особенности ее закрепления, проводились измерения температуры в центре металлического шара 7. При достижении необходимой температуры, с помощью координатного устройства 5, шар 7 перемещался в емкость с охлаждающей жидкостью 9 (водопроводной водой, морской водой,

солевым раствором, суспензией глины и графита). Время передвижения металлического шара в емкость заполненную хладагентом составляло приблизительно одну секунду, это компенсировало показатель тепловой инерции хромель-алюмелевой термопары. Процесс охлаждения шара 7, регистрировался с помощью высокоскоростной видеокамеры 6, максимальная скорость записи которой составляет $6 \cdot 10^5$ кадров/с. Полученные видеозаписи анализировались с помощью специализированного программного обеспечения «Phantom Camera Control», что позволяло определять длительность процесса тепломассопереноса, локализацию зон стока тепла, особенности интенсивного испарения и др. Охлаждение шара считалось завершенным, когда в резервуаре 9 устанавливалось тепловое равновесие $293 \div 295$ К. Температура внутри резервуара 9 контролировалась хромель-копелевыми термопарами 11 (тип L, диапазон измеряемых температур $223 \div 873$ К, класс точности 2, систематическая погрешность измерения температуры 2,5 К). Начальная температура хладагента составляла около 293 К.

Для изучения динамики охлаждения нагретого до 1000 К стального шара в каждом хладагенте проводилось не менее семи опытов, с последующим усреднением результатов эксперимента. Максимальное среднеквадратичное отклонение серии измерений температуры внутри стального шара при неизменных параметрах системы не превышало 4 К. Систематические погрешности измерения температур стального шара и хладагента в емкости обусловлены указанными выше пределами допускаемых отклонений термоэлектрических преобразователей.

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время проблема, связанная с необходимостью обеспечения быстрого охлаждения поверхностей технологического оборудования, в частности, ограждающих конструкций реакторов атомных электростанций (АЭС), является достаточно актуальной. Особенно, после аварии, произошедшей на АЭС Фукусима-1. Результаты расследования случившегося инцидента, показали, что причиной неэффективного (недостаточного) охлаждения и, как следствие, физического повреждения активной зоны АЭС стало снижение скорости теплопередачи из-за пленочного кипения. Такой процесс впоследствии повышает термическое сопротивление всей системы. В этом случае, паровой слой является своего рода теплоизолирующим. Применение морской воды, как показывают исследования, исключает процесс пленочного кипения и повышает эффективность охлаждения металлических образцов.

Исследования показали, что применение растворов NaCl и суспензий глины и графита на основе воды способствует более эффективному в сравнении с водопроводной водой охлаждению элементов поверхностей технологического оборудования АЭС и ТЭС. За счет полного или частичного исключения пленочного режима кипения на начальной стадии процесса охлаждения.

5.1 Swot-анализ

SWOT-анализ предназначен для выявления сильных, слабых сторон проекта, а также возможностей создаваемого проекта и его угроз. Анализ проводится в два этапа: на первом этапе описываются сильные и слабые стороны разрабатываемой технологии, выявляются возможности и угрозы при реализации проекта; на втором этапе анализа строятся интерактивные матрицы для оценки вариантов стратегического выбора.

Сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы реализации представлены в таблице 5.1.1.

После составления матрицы необходимо составить интерактивные матрицы, для выявления сильных и слабых сторон разработанной системы.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие.

Таблица 5.1.1 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта (С): С1. Экологичность технологии С2. Эффективность охлаждения С3. Безотходность технологии. С4. Быстрая реализуемость технологии. С5. Надежная работа технологии. С6. Доступность хладагента	Слабые стороны научно-исследовательского проекта (Сл): Сл1. Стоимость хладагента Сл2. Отсутствие у компании квалифицированных кадров для работы с технической разработкой. Сл3. Отсутствие у компании персонала, способного оборудовать предприятие данной технологией. Сл4. Большая стоимость оборудования.
Возможности (В): В1. Возможность долговременной эксплуатации технологии. В2. Обслуживание новых групп потребителей и товарных сегментов В3. Появление спроса на разработанную технологию у других предприятий. В4. Обновление оборудования работающего в данной технологии. В5. Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы (У): У1. Отсутствие спроса на разработанную технологию. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Непригодность предприятия для реализации технологии. У4. Неблагоприятные изменения курсов валют или торговой политики в других странах У5. Несвоевременное финансовое обеспечение данного проекта.		

Таблица 5.1.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности проекта	Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	B1	+	-	-	-	+	-
	B2	+	+	+	+	+	+
	B3	+	-	+	+	-	-
	B4	-	+	-	-	+	-
	B5	-	-	-	+	-	-
Возможности проекта	Слабые стороны проекта						
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4		
	B1	-	-	-	-		
	B2	+	-	-	-		
	B3	+	-	-	-		+
	B4	+	-	-	-		+
	B5	+	-	-	-		+

Таблица 5.1.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	У1	+	+	-	-	+	+
	У2	-	+	+	-	+	-
	У3	+	-	-	-	+	-
	У4	+	+	-	-	+	+
	У5	-	-	-	+	-	-
	Слабые стороны проекта						
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4		
	У1	+	-	-	-		+
	У2	+	-	-	-		+
	У3	-	+	+	+		-
	У4	+	-	-	-		+
	У5	+	-	-	-		+

По интерактивным матрицам, представленных в таблицах 5.1.2 и 5.1.3, видно, что наиболее всего сильные стороны коррелируют с возможностью оборудования всего завода данной технологией и возможным появлением спроса на разработанную технологию у других предприятий. Наиболее часто коррелирующие слабые стороны и возможности не были выявлены.

Полученные результаты анализа заносятся в таблицу 5.1.4, для наглядной демонстрации возможных корреляционных вариантов.

Таблица 5.1.4 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экологичность технологии С2. Энергоэффективность технологии С3. Безотходность технологии. С4. Быстрая реализуемость технологии. С5. Надежная работа технологии. С6. Необходимость минимального количества персонала для эксплуатации технологии.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Доля рынка продаж Сл2. Отсутствие у компании квалифицированных кадров для работы с технической разработкой. Сл3. Отсутствие у компании персонала, способного оборудовать предприятие данной технологией. Сл4. Большая стоимость оборудования.
Возможности: В1. Возможность долговременной эксплуатации технологии. В2. Обслуживание новых групп потребителей и товарных сегментов В3. Появление спроса на разработанную технологию у других предприятий. В4. Обновление оборудования работающего в данной технологии. В5. Повышение стоимости конкурентных разработок	В1С1С5 В2С1С2С3С4С5С6 В3С1С3С4 В4С2С5 В5С4	- В2Сл1 В3Сл1Сл4 В4Сл1Сл4 В5Сл1Сл4
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на разработанную технологию. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Непригодность предприятия для реализации технологии. У4. Неблагоприятные изменения курсов валют или торговой политики в других странах У5. Несвоевременное финансовое обеспечение данного проекта.	У1С1С2С5С6 У2С2С3С5 У3С1С5 У4С1С2С5С6 У5С4	У1Сл1Сл4 У2Сл1Сл4 У3Сл2Сл3 У4Сл1Сл4 У5Сл1Сл4

SWOT-анализ показал, что самыми перспективными возможностями при реализации данного проекта являются: возможность оборудования всего завода данной технологией и появление спроса на разработанную технологию у других предприятий. А главными угрозами при реализации являются: неблагоприятные изменения курсов валют или торговой политики в других странах и отсутствие спроса на разработанную технологию.

По полученным результатам можно сделать вывод, что разрабатываемая технология является перспективным проектом, что свидетельствует большое количество сильных сторон и маловероятные угрозы.

5.2 Календарный план-график выполнения работ

Обязательной частью данного проекта является составление графика проведения работ, который предназначен для распределения обязанностей по выполнению работ и определения временных рамок производимой работы.

В ходе построения графика учитывается ряд факторов, один из основных – трудоемкость работы.

Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения ВКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Результаты расчетов ожидаемой трудоемкости представлены в таблице 5.2.1.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Рассчитанные показатели продолжительности работ в таблице 1.

Разработка графика выполнения технического проекта

С целью наиболее четкого представления провидения научной работы над данным проектом используется диаграмма Ганта. Для ее заполнения используются следующие формулы:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные показатели заносятся в таблицу 5.2.1, также как и показатели вычисленные в пункте.

Таблица 5.2.1 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ожг}$, чел-дни			
1. Составление и утверждение технического задания	4	6	4,8	Руководитель	4,8	7,1
2. Знакомство с литературой по теме	6	9	7,2	Студент	7,2	10,6
3. Разработка первого многофункционального стенда	4	6	4,8	Студент	4,8	7,1
4. Разработка методики первого эксперимента	4	6	4,8	Студент	4,8	7,1
5. Поиск необходимого оборудования	4	6	4,8	Студент	4,8	7,1
6. Проведение экспериментальных исследований	8	12	9,6	Студент	9,6	14,2
7. Выступление на конференциях	4	6	4,8	Студент	4,8	7,1
8. Оформление пояснительной записки	6	9	7,2	Студент	7,2	10,6
9. Проверка пояснительной записки	4	6	4,8	Руководитель	4,8	7,1
10. Разработка второго многофункционального стенда	4	6	4,8	Студент	4,8	7,1
11. Разработка методики второго эксперимента	4	6	4,8	Студент	4,8	7,1
12. Поиск необходимого оборудования	4	6	4,8	Студент	4,8	7,1
13. Проведение экспериментальных	8	12	9,6	Студент	9,6	14,2

исследований						
14. Выступление на конференциях	8	13	10	Студент	10	14,8
15. Оформление пояснительной записки	4	6	4,8	Студент	4,8	7,1
16. Проверка пояснительной записки	4	6	4,8	Руководитель	4,8	7,1
17. Изучение методов расчета, программного обеспечения	4	6	4,8	Студент	4,8	7,1
18. Численное моделирование	18	27	21,6	Студент	21,6	31,9
19. Проведение численных исследований	6	9	7,2	Студент	7,2	10,6
20. Оформление пояснительной записки	6	9	7,2	Студент	7,2	10,6
21. Проверка пояснительной записки	8	12	9,6	Руководитель	9,6	14,2
22. Подготовка демонстрационных материалов и доклада для защиты	8	12	9,6	Студент	9,6	14,2
23. Защита проекта	1	2	1,4	Студент	1,4	2,1
Итого:	131	198	157,8	—	157,8	233,2

По данным таблицы 5.2.1 строится план-график реализации технической разработки представленный в таблице 5.2.2, 5.2.3 и 5.2.4.

График Ганта строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках ВКР проекта на основе табл. 5.2.1 за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделены различным цветом в зависимости от исполнителя работы.

Таблица 5.2.2 - Календарный план-график проведения ВКР по теме за 2-й семестр 2015/2016 учебного года

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				январь		февраль			март			апрель			май			июнь			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	6																		
2	Знакомство с литературой по теме	Студент	18																		
3	Разработка первого многофункционального стенда	Студент	21																		
4	Разработка методики первого эксперимента	Студент	8																		
5	Поиск необходимого оборудования	Студент	15																		
6	Проведение экспериментальных исследований	Студент	8																		
7	Выступление на конференциях	Студент	33																		
8	Оформление пояснительной записки	Студент	3																		
9	Проверка пояснительной записки	Руководитель																			

Обозначения:



- Руководитель



- Студент

Таблица 5.2.3 - Календарный план-график проведения ВКР по теме за 3-й семестр 2016/2017 учебного года

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				июль		Август			сентябрь			октябрь			ноябрь			декабрь			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
10	Разработка второго многофункционального стенда	Студент	6																		
11	Разработка методики второго эксперимента	Студент	18																		
12	Поиск необходимого оборудования	Студент	21																		
13	Проведение экспериментальных исследований	Студент	8																		
14	Выступление на конференциях	Студент	15																		
15	Оформление пояснительной записки	Студент	8																		
16	Проверка пояснительной записки	Руководитель	33																		
17	Изучение методов расчета, программного обеспечения	Студент	3																		
18	Численное моделирование	Студент																			

Обозначения:



- Руководитель



- Студент

Таблица 5.2.4 - Календарный план-график проведения ВКР по теме за 4-й семестр 2016/2017 учебного года

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				январь		февраль			март			апрель			май			июнь			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
18	Численное моделирование	Студент	6																		
19	Проведение численных исследований	Студент	18																		
20	Оформление пояснительной записки	Студент	21																		
21	Проверка пояснительной записки	Руководитель	8																		
22	Подготовка демонстрационных материалов и доклада для защиты	Студент	15																		
23	Защита проекта	Студент	8																		

Обозначения:



- Руководитель



- Студент

5.3 Смета бюджет-проекта

При планировании сметы научно-технической разработки должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

Таблица 5.3.1 - Материальные затраты

Наименование расхода	Единицы измерения	Объём	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Phantom V411, высокоскоростная видеокамера	шт	1	220000	220000
Металлическое включение	шт	3	1000	3000
Резервуар для хладагента, 5л	шт	1	320	320
Механизированное координатное устройство	шт	1	25000	25000
Термоэлектрический преобразователь ХА	шт	1	2450	2450
Термоэлектрический преобразователь ХК	шт	1	2100	2100
Алюминиевый каркас	шт	1	4000	4000
Устройство сбора данных	шт	1	23500	23500
Регистратор температуры	шт	1	32800	32800
Светодиодный прожектор	шт	1	1500	1500
Аналитические весы	шт	1	3100	3100
Дозатор	шт	1	1200	1200
Кросскорреляционная цифровая видеокамера	шт	2	35000	70000
Блок питания	шт	1	5000	5000
Система обеспечения воздушного потока	шт	1	3500	3500
Горелка	шт	1	300	300
Цилиндр из кварцевого стекла	шт	1	1000	1000
Твердотельный лазер с ультракороткими импульсами	шт	1	55000	55000

Генератор лазерного излучения	шт	1	40000	40000
Направляющая	шт	1	100	100
Керамический стержень	шт	1	50	50
Устройство для фиксации керамического стержня	шт	1	400	400
Канцелярские товары	-	-	-	500
Заправка картриджа	шт.	1	500	500
Бумага	шт. пачек	1	250	250
Электроэнергия	кВт/ч	460	4,25	2000
Компьютер	шт	1	15000	15000
Итого:				512570

Таблица 5.3.2 - Потребление электроэнергии.

Источник потребления	Мощность, кВт/ч	Кол-во часов работы	Общий расход, кВт
Компьютер	0,4	400	160
Освещение	1,5	200	300
Итого:			460

Зарплата руководителя ВКР бакалавра определяется по условию часовой оплаты. Норма времени на руководство ВКР магистра составляет 25 часов, в соответствии с положением о порядке нормирования труда научно-педагогических работников. Тариф на почасовую оплату составляет 350 р./час для доцента. Поэтому расходы на оплату труда составят:

$$C_{з.п.} = 25 \cdot 350 = 8750 \text{ руб.}$$

Отчисление на социальные нужды:

$$S_{с.н.} = 8750 \cdot 0,3 = 2625 \text{ руб}$$

Суммарные затраты на вознаграждение работников составляют:

$$C_{сум.} = 8750 + 2625 = 11375 \text{ руб}$$

По полученным данным можно сделать вывод, что общая стоимость данного технического проекта составляет 523945 рублей, большая часть которой затрачивается на приобретение технических средств.

Заключение

В курсовом проекте для ВКР произведены: SWOT-анализ, раскрывающий сильные и слабые стороны работы; календарный план, отражающий технологическую зависимость и последовательность выполнения комплекса работ; расчет бюджета проекта; оценка ресурсоэффективности.

Можно сказать, что разрабатываемая технология является перспективным проектом, что свидетельствует большое количество сильных сторон и маловероятные угрозы.

Общая продолжительность работы над проектом составляет 233 календарных дня. Основной объем работы выполняется студентом, а самой продолжительной работой над проектом является создание пояснительной записки, занимающая 90 дней.

Использование суспензий и растворов на основе воды для охлаждения поверхностей теплонагруженного оборудования АЭС и ТЭС в теплоэнергетике экономически обосновано. Высокие баллы надежности, материалоемкости и удобства эксплуатации, позволяют судить о правильной разработке системы.

Список публикаций

1. Гумеров В.М., Опарин А.О., Пискунов М.В., Ушмаев Д.В. Экспериментальные исследования эффективных условий отвода энергии от теплонагруженных металлических конструкций // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 2016 г.: в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 2. — [С. 328-330].
2. Пискунов М. В., Опарин А.О. Распад существенно неоднородных капель воды в высокотемпературной газовой среде // Интеллектуальные энергосистемы : труды IV Международного молодёжного форума, 2016 г., г. Томск: в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [С. 76-80].
3. Опарин А.О., Пискунов М.В., Стрижак П.А. Перспективный метод эффективного охлаждения ограждающих конструкций активных зон АЭС в случае аварийного перегрева // III Международная научная конференция «Молодёжь, наука, технологии: новые идеи и перспективы», 2016 г., г. Томск: в 2 т. — Томск : Изд-во ТГАСУ, 2016. — Т. 1. — [С. 356-369].
4. Высокоморная О.В., Пискунов М.В., Опарин А.О., Вергун А.П. Интенсивное охлаждение модели стенки реактора при использовании водных растворов солей // Международная молодежная научная конференция «Тепломассоперенос в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического и технологического оборудования», 2017 г., г. Томск: в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — Т. 1. — [С. 256-266].