

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

Институт ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра теоретической и промышленной теплотехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическое моделирование плавления частиц льда в высокотемпературной газовой среде

УДК 533.6.01:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗБ	Брайченко Михаил Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преп.	Сыродой Семен Владимирович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преп. каф. Менеджмента	Кузьмина Наталия Геннадиевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. Экологии и БЖД	Василевский Михаил Викторович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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

Институт ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ

Направление подготовки 13.03.01 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:

бакалаврской работы

Студенту:

Группы	ФИО
5БЗБ	Брайченко Михаилу Валерьевичу

Тема работы:

Математическое моделирование плавления частиц льда в высокотемпературной газовой среде	
Утверждена приказом ректора (дата, номер)	№ 3419/с от 17.05.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

14 июня 2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(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.).</i>	Объект исследования – частица льда различных компонентных составов. Предмет исследования – экспериментальное и теоретическое исследование процессов тепло- и массопереноса протекающих совместно в условиях интенсивных фазовых превращений (плавление льда, испарение воды) при движении частиц льда в среде высокотемпературных газов.
--	---

<p>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></p>	<p>Обзор и анализ литературы</p> <p>Проведение экспериментальных исследований</p> <p>Проведение теоретических исследований.</p> <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p> <p>Социальная ответственность.</p>
--	--

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>15 слайдов</p>
--	-------------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Кузьмина Н. Г., ст. преподаватель каф. МЕН</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Василевский М.В., доцент каф. ЭБЖ</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>26.01.2017 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Старший преподаватель</p>	<p>Сыродой Семен Владимирович</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>26.01.2017 г.</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5БЗБ</p>	<p>Брайченко Михаил Валерьевич</p>		<p>26.01.2017 г.</p>

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
Р2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
Р3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
Р4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
Р5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Р6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
Р8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
Р9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.

P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа 59 страниц, 25 рисунков, 3 таблицы, 20 источников, приложения отсутствуют.

Ключевые слова: теплоперенос, теплообмен, излучение, газовый гидрат, численное моделирование, экспериментальные исследования, временные характеристики.

Объектом исследования является ледяная частица.

Цель работы – экспериментальное и теоретическое исследование процессов тепло- и массопереноса протекающих совместно в условиях интенсивных фазовых превращений (плавление льда испарение воды) при движении частиц льда в среде высокотемпературных газов.

Проводились экспериментальные исследования по определению зависимостей временных характеристик процессов испарения водяной пленки и зажигания от температуры окружающей среды.

В результате исследования получены времена нагрева, плавления и испарения при различных температурах, при различных размерах частиц. Разработана численная модель, в полной мере учитывающая комплекс процессов испарения, нагрева и плавления частиц льда.

Степень внедрения: результаты внедрены в учебный процесс.

Область применения: газовые горелки.

Оглавление

Введение.....	9
1 Теория и практика изучения процессов тепло - массопереноса при плавлении частицы льда в высокотемпературной газовой среде.....	10
2 Методика эксперимента.....	13
3 Постановка задачи.....	15
3.1 Физическая постановка.....	15
3.2 Математическая постановка.....	16
3.3 Тестовые задачи.....	17
4 Результаты экспериментального и теоретического исследования процессов плавления частиц льда.....	22
4.1 Анализ и обсуждение результатов экспериментального исследования.....	22
4.1.1 Влияние размера частицы.....	24
4.1.2 Влияние температуры внешней среды.....	30
4.2 Анализ и обсуждение результатов теоретического исследования.....	32
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...38	
5.1 Планирование работ и оценивание времени их выполнения.....	38
5.2 Смета затрат на проект.....	41
5.2.1 Материальные затраты.....	41
5.2.2 Амортизация компьютерной техники.....	41
5.2.3 Затраты на заработную плату.....	41
5.2.4 Затраты на социальные нужды.....	42
5.2.5 Прочие затраты.....	43
5.2.6 Накладные расходы.....	43
5.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	44
5.4 Анализ полученных результатов.....	44
6 Социальная ответственность.....	47

6.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	48
6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.....	48
6.1.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	49
6.2 Экологическая безопасность.....	50
6.2.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду.....	50
6.2.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....	50
6.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	51
6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования.....	51
6.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	52
6.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС.....	52
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	53
6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	53
6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	53
Выводы.....	54
Заключение.....	56
Список использованной литературы.....	58

Введение

В настоящее время природный газ, как топливо доступен практически во всех промышленных зонах городов России. К примеру, в 2016 году уровень газификации в России в среднем составил 62%. В городах уровень газификации поднялся за последние годы на 6%, до 67%, а в сельской местности уровень газификации вырос на 8% и сегодня составляет 44% .

Сейчас природный газ является самым доступным и экономически оправданным решением для производителей и потребителей тепловой и электрической энергии [1]. К тому же строительство ТЭЦ, работающих на природном газе, требует относительно малых инвестиций — в сравнении с ТЭЦ, работающих на угле.

Сравнивая, электрический КПД современной газовой и угольной ТЭЦ, видно что КПД газовой составляет 55–60%, а угольной — всего 32–34%. При этом капитальные затраты на 1 МВт/час установленной мощности газовой ТЭЦ составляют 50% от угольной и 20% от атомной. А также, природный газ имеет большую теплоту сгорания, чем уголь.

Газ — это существенно более чистое топливо, чем любой другой углеводородный энергоноситель. При сгорании газа выделяется меньше углекислого газа по сравнению с другими традиционными источниками, (например углем), что оказывает гораздо меньше негативного воздействия на окружающую среду[2-4]. Современная газовая ТЭЦ практически не имеет вредных выбросов в атмосферу, соответственно, переход с угля на газ способствует резкому сокращению объемов выбросов углекислого газа в окружающую среду. В результате замена угольных мощностей на газовые дает снижение выбросов CO_2 на 50–70% [5-7].

В настоящее время для горелочных устройств, работающих на природном газе, возникает проблема «обрыва пламени». Эта проблема является одной из актуальнейших, в связи с широким применением природного газа, используемого в качестве основного топлива на тепловых электрических станциях.

1 Теория и практика изучения процессов тепло - массопереноса при плавлении частицы льда в высокотемпературной газовой среде.

«Обрыв пламени» является причиной нерегламентированных остановов энергоустановок[8]. Такие технические происшествия снижают надежность энергоснабжения объектов и могут привести к возникновению аварийных ситуаций.

Главным фактором, влияющим на работу редуцирующего пункта, является компонентный состав газа [9]. В условиях температуры близких к 0°С возможно формирование гидратообразований [10], т. е. образование неустойчивых соединений углеводородов с водой.

Нарушение условий работы горелочных устройств является, как правило, следствием плавления льда и последующего испарения образующихся капель воды в условиях, которые часто не являются достаточными для подавления процесса горения смеси природного газа с воздухом[11-14]. Таким условием является попадание (при относительно низких массовых концентрациях) частиц льда в исходное газовое топливо. Процесс фазовых превращений частиц льда при их движении через высокотемпературные газы до настоящего времени не исследован. Поэтому математические модели, описывающие весь комплекс физико-химических процессов, которые протекают при интенсивных фазовых превращениях мелкодисперсных частиц льда в условиях высоких (более 1000 °С) температур внешней среды еще не разработаны.

При критической концентрации частиц льда снижение температуры пламени может быть достаточным для условий прекращения горения [15]. В связи с этим, экспериментальные и теоретические исследования основных закономерностей фазовых превращений и тепломассопереноса в условиях движения частиц льда через высокотемпературные газы является актуальной, не решенной до настоящего времени задачей.

Актуальность задачи данной работы обусловлена также и целесообразностью изучения закономерностей фазовых превращений

газовых гидратов при их конверсии. Газовые гидраты представляют собой соединения включения, в которых молекулы газа заключены в кристаллические ячейки, состоящие из молекул воды, удерживаемых водородной связью. Такие гидраты могут образовываться и стабильно существовать в широком интервале давлений и температур (например, для метана при давлении от $2 \cdot 10^{-8}$ до $2 \cdot 10^3$ МПа и температуре от 70 до 350 К) [16].

Существует гипотеза о механизме снижения температуры пламени при переходе воды из кристаллического в парообразное состояние в условиях высоких темпов нагрева. В основе этой гипотезы лежит положение о ведущей роли процесса плавления льда и испарения его расплава в формировании стока теплоты, приводящего к подавлению горения в результате резкого снижения температуры в области химического взаимодействия окислителя и горючего.

В настоящее время экспериментальные данные о закономерностях фазовых превращений и тепломассообмена при взаимодействии частиц льда с высокотемпературными газами отсутствуют. Не опубликовано информации также об интегральных характеристиках процессов плавления частиц льда при высоких темпах нагрева и последующего испарения расплава.

В результате проведения ряда экспериментальных исследований сформулирована физическая модель рассматриваемого процесса и определен ряд его характеристик. Также, сформулирована математическая модель процессов фазовых превращений льда в условиях интенсивного прогрева и решена соответствующая задача тепломассопереноса в частице и ее малой окрестности.

Результаты экспериментальных исследований будут использованы для верификации разработанной математической модели путем сравнения по ряду интегральных характеристик процесса (времена нагрева и плавления, скорости испарения).

В настоящее время отечественной и зарубежной литературе нет публикаций с результатами решения задач, аналогичных постановке и методам решения. Высокий уровень планируемых результатов косвенно подтверждается публикациями статей авторов проекта по предлагаемой тематике журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций («Тепловые процессы в технике», «Пожаровзрывобезопасность», «Безопасность труда в промышленности», «Инженерно физический журнал» НАН Беларуси, «Бутлеровские сообщения») в 2012-2013 г.г. Это является основанием для вывода о том, что планируемые результаты своему уровню превосходят аналогичные Российские разработки. Анализ содержания основного международного научного журнала по проблематике проекта «Heat and mass transfer» за последние годы показывает, что в этом журнале нет статей по тематике проекта. Это является основанием для вывода о том, что планируемые результаты по своему уровню превосходят зарубежные разработки.

Цель работы – экспериментальное и теоретическое исследование процессов тепло- и массопереноса протекающих совместно в условиях интенсивных фазовых превращений (плавление льда испарение воды) при движении частиц льда в среде высокотемпературных газов.

2 Методика эксперимента

Экспериментальные исследования проведены на стенде, приведенном на рисунке 1.

Частица льда, закрепленная на металлическом держателе, попадала в полую керамическую трубу, нагреваемую до высоких температур (до 1000 °С). В результате интенсивного радиационно-конвективного нагрева инициируются процессы фазовых превращений при переходе частицы льда из твердого в жидкое, а затем в газообразное состояние капель воды. Регистрация положения частицы и ее размеров позволит определить изменения во времени основных характеристик исследуемого процесса.

Все стадии термической подготовки и плавления частицы льда фиксировались высокоскоростной видеокамерой Photron FASTCAM SA1.1 (скорость видеосъемки до 67500 кад/с). Температура внутри цилиндра варьировалась в диапазоне (от 600 °С до 1000 °С).

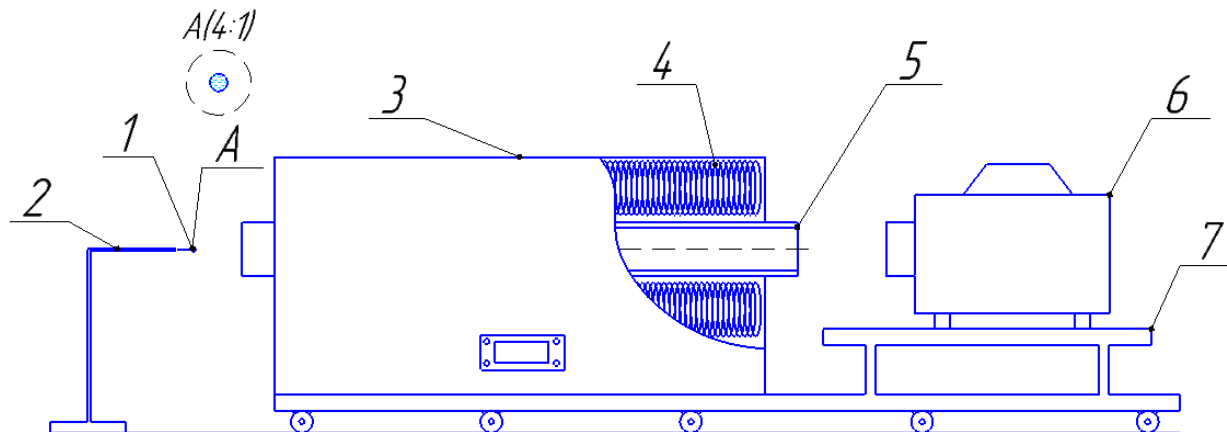


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

1 – частица льда 2–металлический держатель 3 – электропечь 4 – нагревательный элемент 5 – керамическая труба 6 – высокоскоростная видеокамера 7 – движущаяся платформа.

Период времени от начала теплового воздействия (момент попадания в полость цилиндра) до момента начала плавления (появление

приповерхностного водяного слоя) считался временем нагрева частицы (t_n). Период времени от начала плавления до момента падения водяной капли с иглодержателя считался временем плавлением частицы льда (t_m). Размеры частиц варьировались в диапазоне $3,8 < \delta < 5,5 \cdot 10^{-3}$ м. Эксперимент проводился сериями из 70 опытов, обработка производилась методом наименьших квадратов, при доверительной вероятности 0,95 относительная погрешность составила не более 12 процентов.

Исследования проведены для четырех различных типов частиц льда. Первая группа была приготовлена из дистиллированной воды. Вторая из дистиллированной воды с включениями частиц железа с сильной степенью окисления при массовой концентрации 10%. Третья из дистиллированной воды с включениями частиц железа с сильной степенью окисления при массовой концентрации 20%. Четвертая из природной минеральной воды обогащенная двуокисью углерода. Заготовка всех групп материала проводилась по следующей схеме: на первом этапе проводилось заполнения материала в микроемкости сферической формы, вслед опускалась игла держатель, при этом конец иглы держателя совпадал с центром симметрии сферы образуемой частичкой льда. Затем система (материал, игла - держатель) помещалась в морозильную камеру, где происходила кристаллизация материала при температуре -17 °С.

3 Постановка задачи

3.1 Физическая постановка

Принята физическая модель процессов тепло- и массопереноса протекающих совместно в условиях интенсивных фазовых превращений (плавление льда испарение воды) при движении частиц льда в среде высокотемпературных газов.

В начальный момент времени ($t=0$) частица льда попадает в условия, соответствующие внутритопочному пространству. Под воздействием высокоинтенсивного конвективно-лучистого нагрева происходит плавление частицы с дальнейшим образованием приповерхностного водяного слоя. С образованием приповерхностного водяного слоя фронт плавления движется от поверхности частицы в глубь в этот же момент времени происходит испарение приповерхностной пленки воды. Моментом полного расплавления частицы льда считался момент времени когда в камельки воды не оставалось твердых включений (льда). В дальнейшем происходит только испарение воды.

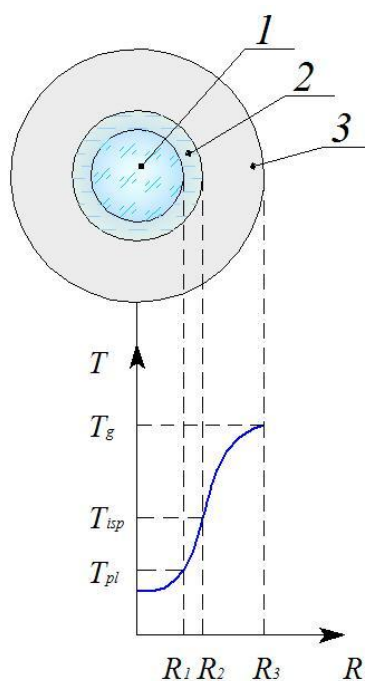


Рисунок 2 – Схема области решения задачи:

- 1 – область льда;
- 2 – приповерхностный водяной слой;
- 3 – газовая область.

3.2 Математическая постановка

Математическая постановка задачи [17-18], соответствующая вышеизложенной физической модели, состоит из следующей системы нестационарных дифференциальных в частных производных:

– Уравнение энергии для системы «лед -водянная пленка -газовая область»:

$$\frac{C(R) \cdot P(R)}{Fo} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial R} \left[\Lambda \cdot R^2 \cdot \frac{\partial \theta}{\partial R} \right] - Pom_{isp} \cdot \delta(R_{isp}) + Pom_{plav} \cdot \delta(R_{plav}) + Pom_{izl} \cdot \delta(R_{isp}); \quad (1)$$

Где:

$$Pom_{isp} = (Q_{isp} \cdot W_{isp} \cdot L^2) / (\lambda_{voda} \cdot T_{nar} \cdot h_{razm}); \quad (2)$$

$$Pom_{plav} = (Q_{plav} \cdot W_{plav} \cdot L^2) / (\lambda_{led} \cdot T_{nar} \cdot h_{razm}); \quad (3)$$

$$Pom_{izl} = (\sigma \cdot \varepsilon \cdot L^2 \cdot T_{nar}^4 \cdot T) / (\lambda_{voda} \cdot T_{nar}). \quad (4)$$

Уравнение решалось при следующих краевых условиях:

$$0 < R < R_{\infty}; \quad (5)$$

$$\tau = 0; \quad (6)$$

$$\theta = \theta_0; \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial^2 \theta}{\partial R^2} \right|_{R=R_3} = 0; \quad (8)$$

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial R} \right|_{R=0} = 0. \quad (9)$$

Принятые обозначения:

C, ρ, Λ – безразмерные теплофизические характеристики;

$T_{\text{нар}}$ – температура окружающей среды, К;

T – температура в узле, К;

σ – константа излучения абсолютно черного тела, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$;

W_{isp} – массовая скорость испарения воды, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$;

R – радиус, м;

L – массив длины, м;

Fo – критерий фурье;

Por – критерий померанцева;

$\lambda_{\text{вода}}$ – коэффициент теплопроводности воды $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

$\lambda_{\text{лед}}$ – коэффициент теплопроводности льда, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

$W_{\text{плав}}$ – массовая скорость плавления льда, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$;

Q_{isp} – тепловой эффект испарения воды, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$;

$Q_{\text{плав}}$ – тепловой эффект плавления, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$;

ε – степень черноты;

$\delta(R)$ – функция дирака.

3.3 Решение тестовых задач

С целью верификации математической модели были решены несколько тестовых задач.

Одномерное уравнение теплопроводности с химической реакцией в материале (термическое разложение)

Определить температурное поле через 600, 1800 и 3600 секунд. Толщина пластины $L=0.2$ м. Начальная температура $T_0=298\text{К}$. Материал

пластины – полимер со следующими теплофизическими характеристиками $\lambda = 0.7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $\rho = 1500 \text{ кг}/\text{м}^3$, $c = 750 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. На границе $x=0$ пластина контактирует с первой средой ($\kappa = 40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $T^e = 303\text{К}$), на границе $x=L$ пластина контактирует со второй средой ($\kappa = 40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $T^e = 343\text{К}$). $q_{хим} = 10^3 \text{ Вт}/\text{кг}$, $k_0 = 3 \cdot 10^4$, $E = 8 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{моль}$.

Математическая постановка сформулированной задачи:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - qk_0(1-\eta) \exp\left(-\frac{E}{RT}\right); \quad (1)$$

$$t=0 : T(x,0) = T_0, \quad 0 < x < L; ;$$

$$x=0 : -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \kappa_1 (T_{e1} - T_N) + \varepsilon\sigma (T_{e1}^4 - T^4); \quad (2)$$

$$x=L : -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \kappa_2 (T_{e2} - T) + \varepsilon\sigma (T_{e2}^4 - T^4);$$

Результатом численных расчетов является массив температур, по которому было построено распределение температуры

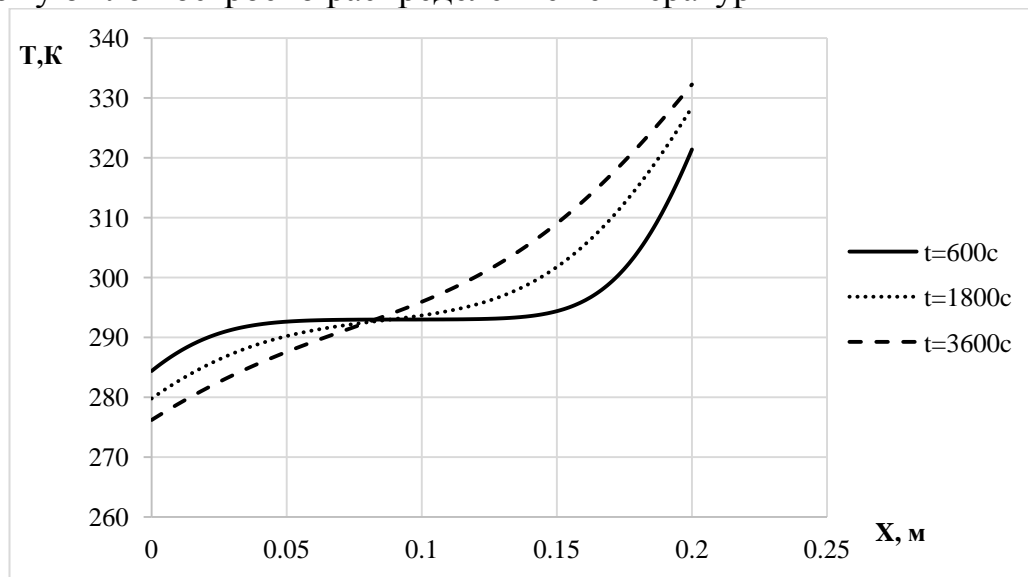


Рисунок 3 – Распределение температуры по координате в зависимости от времени

Двуслойная пластина

Определить температурное поле в составной пластине через 30, 60 и 120 секунд. Толщина пластины $L=0.3$ м. Будем полагать, что толщины составных частей одинаковы. Начальная температура $T_0 = 283K$. Одна часть пластины (1) – сталь ($\lambda = 46 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \rho = 7800 \text{ кг}/\text{м}^3, c = 460 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$), а другая часть (2) – медь ($\lambda = 384 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \rho = 8800 \text{ кг}/\text{м}^3, c = 381 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$). На границе $x=0$ поддерживается постоянная температура $T=373 \text{ К}$, а на границе $x=L$ – $T=323 \text{ К}$.

Математическая постановка сформулированной задачи:

$$\begin{cases} c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}, & 0 < x < x^*; \\ c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, & x^* < x < L; \end{cases} \quad (1)$$

$$t=0 : T(x, 0) = T_0, \quad 0 < x < L; ;$$

$$\begin{cases} x = 0 : T = T_1; \\ x = L : T = T_2; \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \{ T_1(t, x^*) = T_2(t, x^*); \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=x^*} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=x^*} ; \end{cases}$$

Результатом расчета является массив температур, по которому было построено распределение температуры

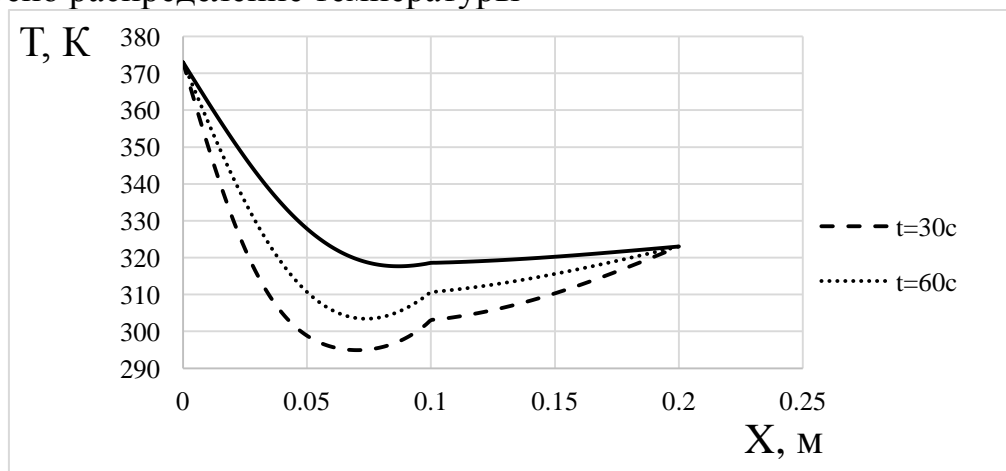


Рисунок 4 – Распределение температуры по координате в зависимости от времени

Решение систем дифференциальных уравнений

Определить температурное поле в составной пластине через 10 секунд. Толщина пластины $L=0,2$ м. Начальная температура $T_0=303K$. Материал пластины имеет следующие теплофизические характеристики: $\lambda=0,9$ Вт/(м·К), $\rho=2000$ кг/м³, $c=920$ Дж/(кг·К). На границе $x=L$ пластина контактирует с осредой ($\kappa=10$ Вт/(м²·К), $T^e=343K$). $q_{хим}=10^3$ Вт/кг, $k_0=3\cdot 10^4$, $E=8\cdot 10^4$ Дж/моль.

Решить систему вида:

$$\begin{cases} c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - qk_0(1-\eta) \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} = (1-\eta) \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \end{cases}$$

Граничные условия:

$$t=0 : T(x,0) = T_0, \eta(x,0) = \eta_0 = 0 ;$$

$$x=0 : \frac{\partial T}{\partial x} = 0 ;$$

$$x=L : -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \kappa(T_e - T_N) + \varepsilon\sigma(T_e^4 - T_N^4)$$

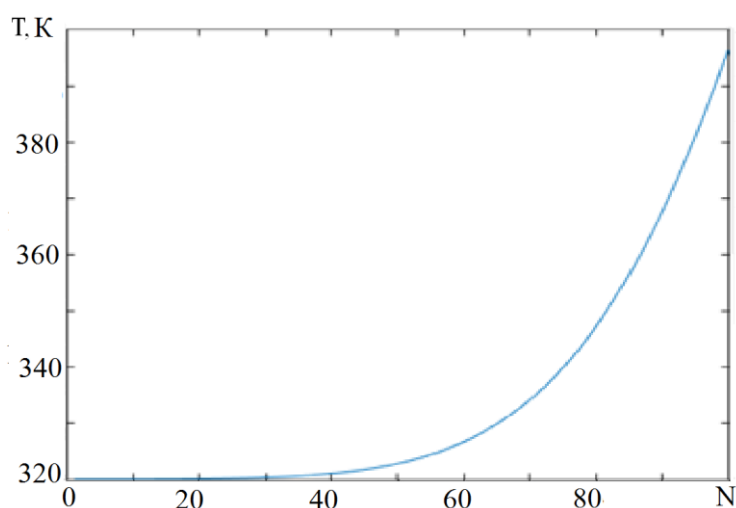


Рисунок 5 – Распределение температуры по пространственной координате

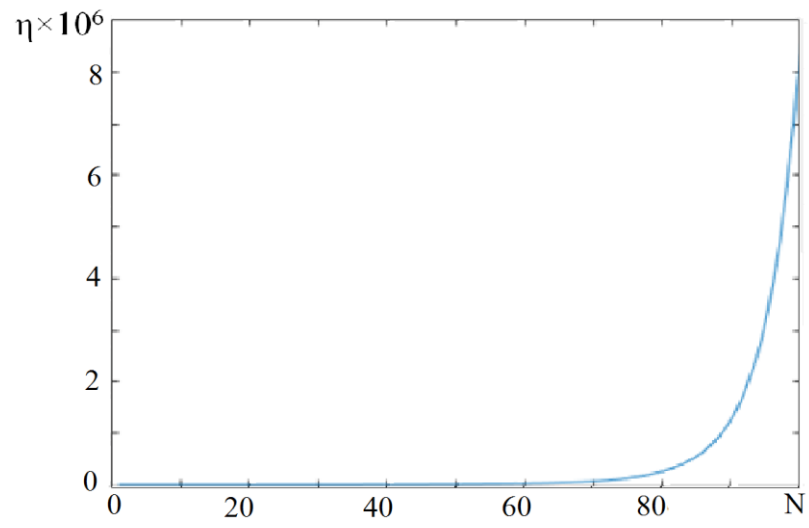


Рисунок 6 – Распределение параметра выгорания по пространственной координате

4 Результаты экспериментального и теоретического исследования процессов плавления частиц льда

4.1 Анализ и обсуждение результатов экспериментального исследования

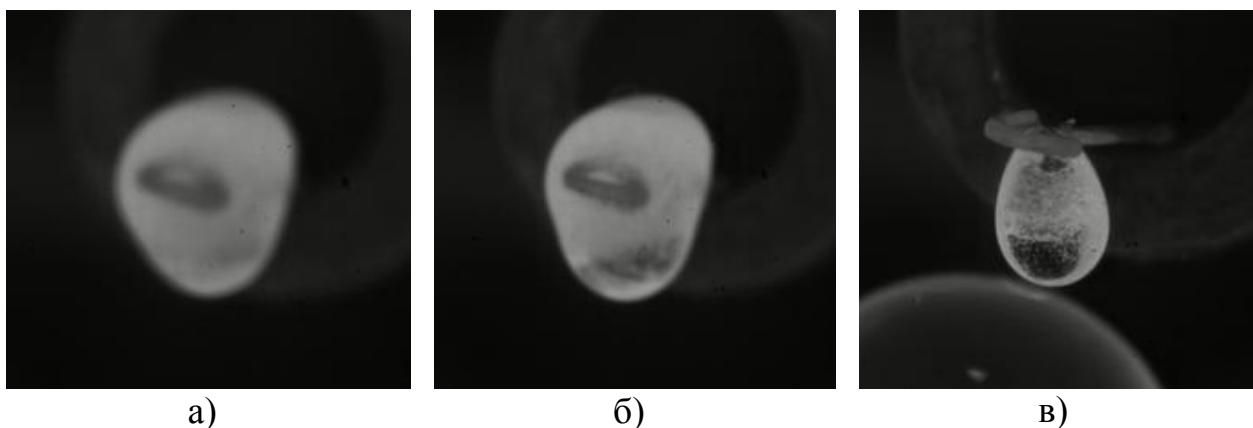


Рисунок 7 – типичные кадры фазовых превращений частицы льда (на основе дистиллированной воды), при $t=800^{\circ}\text{C}$

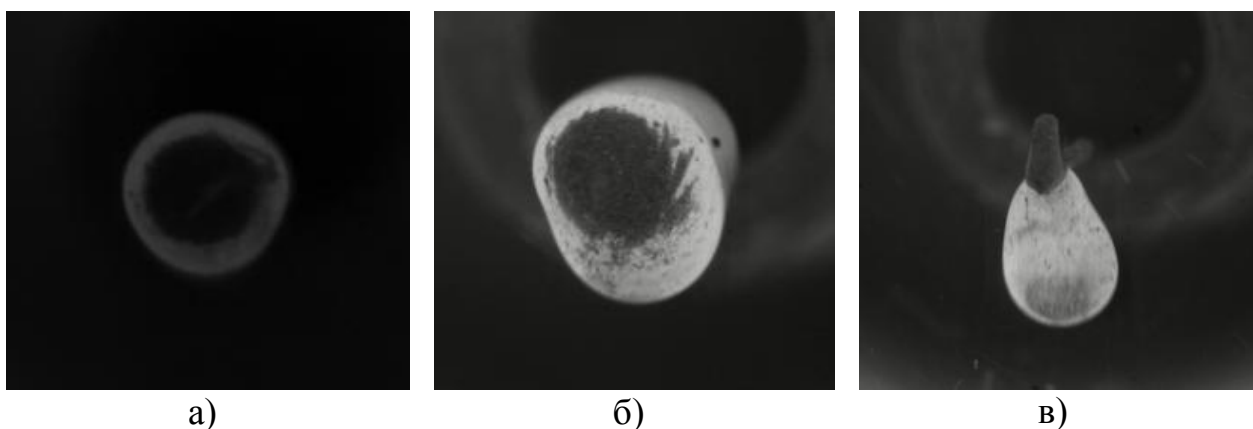


Рисунок 8 – типичные кадры фазовых превращений частицы льда (на основе дистиллированной воды с 10% включениями частиц железа), при $t=800^{\circ}\text{C}$

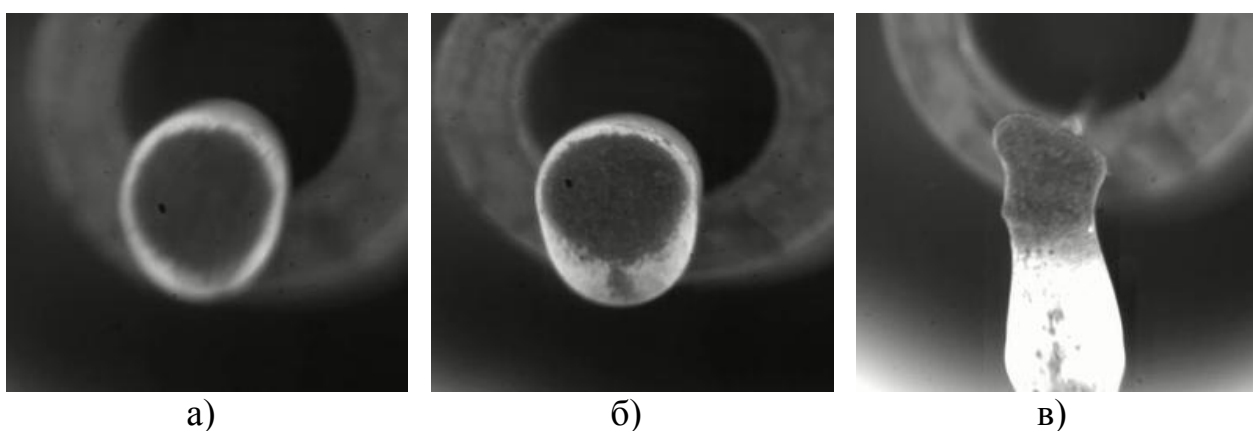


Рисунок 9 – типичные кадры фазовых превращений частицы льда (на основе дистиллированной воды с 20% включениями частиц железа), при $t=800^{\circ}\text{C}$

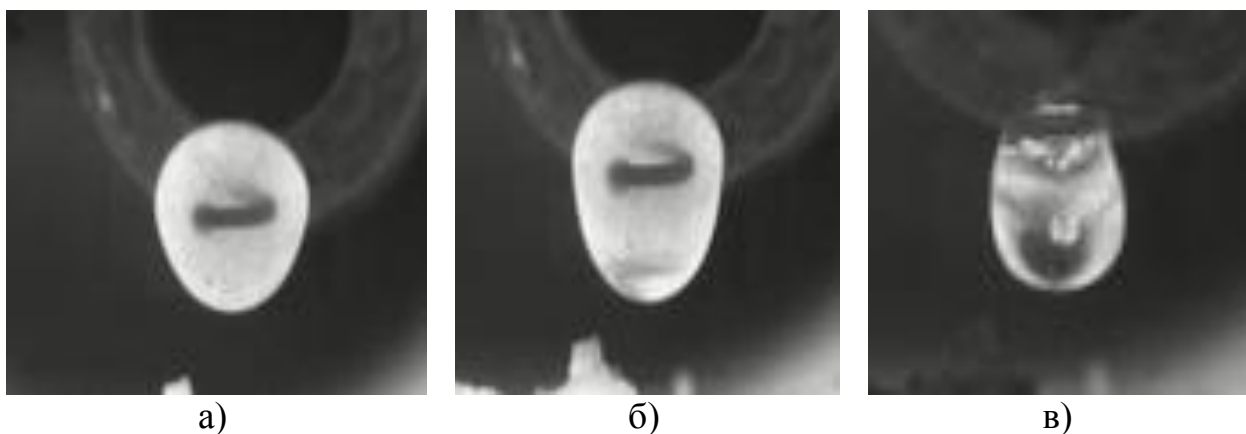


Рисунок 10 – типичные кадры фазовых превращений частицы льда (на основе природной минеральной воды обогащенная CO_2), при $t=800^\circ\text{C}$

На рисунках 7 - 10 приведены кадры типичной видеोगраммы процессов нагрева и плавления частиц (диаметром $\delta \approx 4.5 \cdot 10^{-3}\text{м}$) льда, выполненного из различного состава на основе: дистиллированной воды (рисунок 2), дистиллированной воды с включениями частиц железа при массовой концентрации 10% (рисунок 3), дистиллированной воды с включениями частиц железа при массовой концентрации 20% (рисунок 4) и природной минеральной воды обогащенной двуокисью углерода (рисунок 5), при температуре внешней среды $T_e=800^\circ\text{C}$. Анализ кадров показывает, что весь период термической подготовки можно условно разделить на ряд последовательных стадий (инертный нагрев, плавление частицы льда, испарение капли воды). В начальный момент времени частица льда попадает в высокотемпературную газовую среду и нагревается, при этом форма и размеры частицы не изменяются (рисунок 7а), по истечению периода времени $t_n=0,2\text{с}$ начинает происходить процесс декристаллизации, при этом на поверхности частицы формируется пленка воды (рисунок 7б), а фронт плавления от поверхности движется в глубь частицы. В этот же момент времени инициируется процесс испарения приповерхностной пленки воды, в результате чего формируется гетерогенная структура, состоящая из твердой и жидкой фазы воды. По истечению времени $t_n=4,97\text{с}$ лед полностью

расплавляется (рисунок 7в). На рисунке 8-10 (в) наблюдается кипение капли воды т.к. при больших температурах излучение играет большую роль тем самым проникая в глубь слоя воды и аккумулируется на частичках железа у которых теплоемкость высокая. На рисунке 10 в показана капля с большим содержанием газа, что приводит к благоприятным условиям для кипения, в результате нагрева существенно повышается парциальное давление содержащиеся в CO_2 , что вызывает бурное образование пузырьков – пузырьковое кипение.

4.1.1 Влияние размера частицы

При впрыскивании газа в внутритопочное пространство возможно формирование ледяных частиц различных размеров, следовательно, необходимо исследовать влияние размера частиц на времена нагрева и плавления.

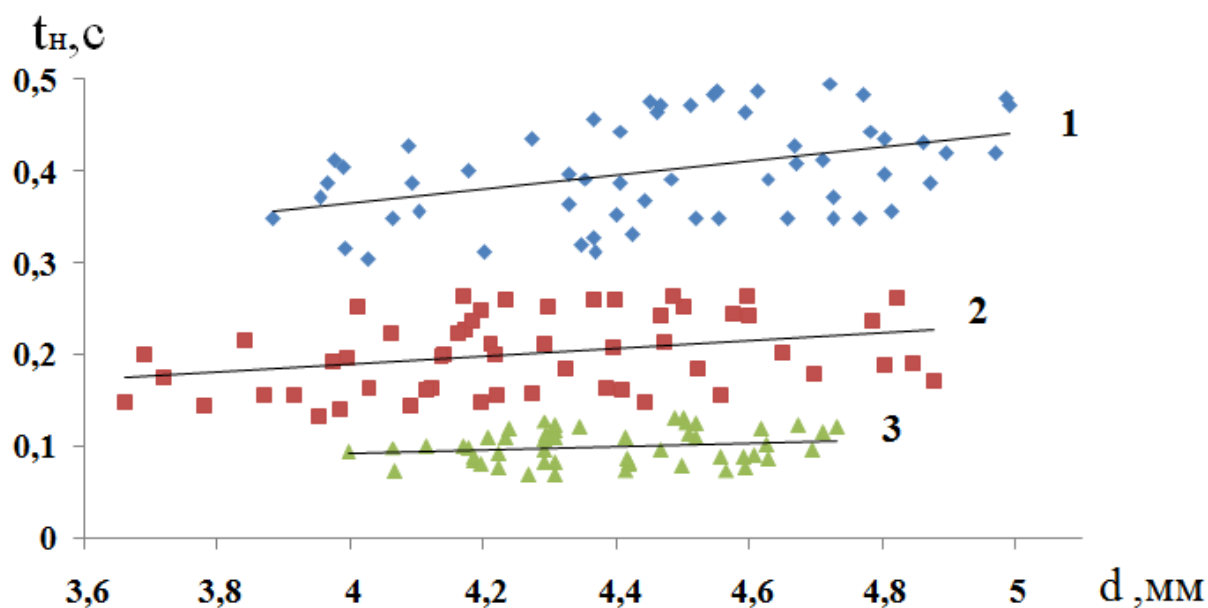


Рисунок 11 – Зависимость времен нагрева частиц льда от диаметров частиц, при температурах внешней среды:

1 – 600°C; 2 – 800°C; 3 – 1000°C.

Уравнения функции тренда для частиц льда на основе дистиллированной воды:

$$1 - t_n = 0,076d + 0,058; \quad 2 - t_n = 0,043d + 0,015; \quad 3 - t_n = 0,020d + 0,011.$$

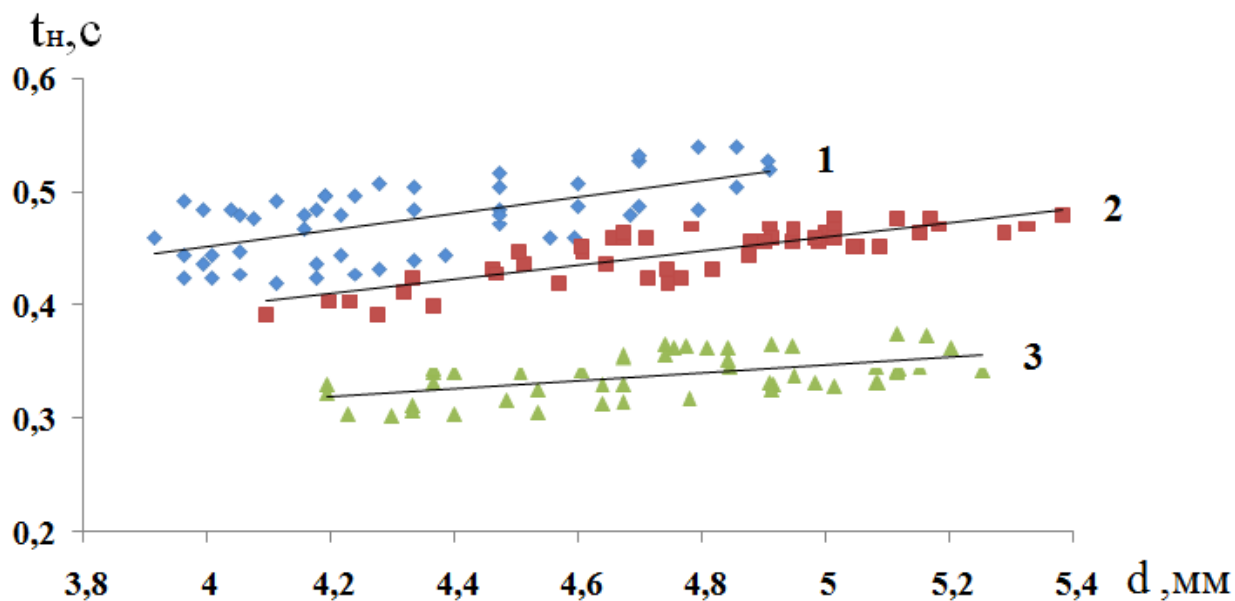


Рисунок 12 – Зависимость времен нагрева частиц льда от диаметров частиц, при температурах внешней среды:

1 – 600°C; 2 – 800°C; 3 – 1000°C.

Уравнения функции тренда для частиц льда на основе дистиллированной воды с 10% включениями частиц железа:

$$1 - t_H = 0,072d + 0,164; 2 - t_H = 0,062d + 0,147; 3 - t_H = 0,034d + 0,172.$$

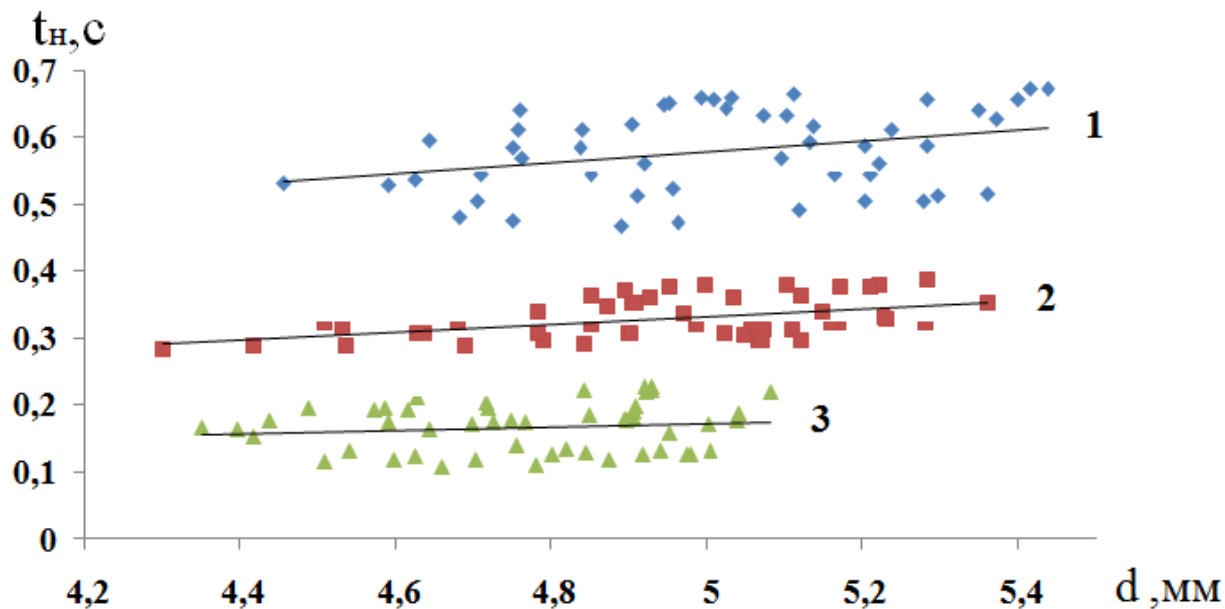


Рисунок 13 – Зависимость времен нагрева частиц льда от диаметров частиц, при температурах внешней среды:

1 – 600°C; 2 – 800°C; 3 – 1000°C.

Уравнения функции тренда для частиц льда на основе дистиллированной воды с 20% включениями частиц железа:

$$1 - t_n = 0,075d + 0,069; 2 - t_n = 0,057d + 0,041; 3 - t_n = 0,023d + 0,037.$$

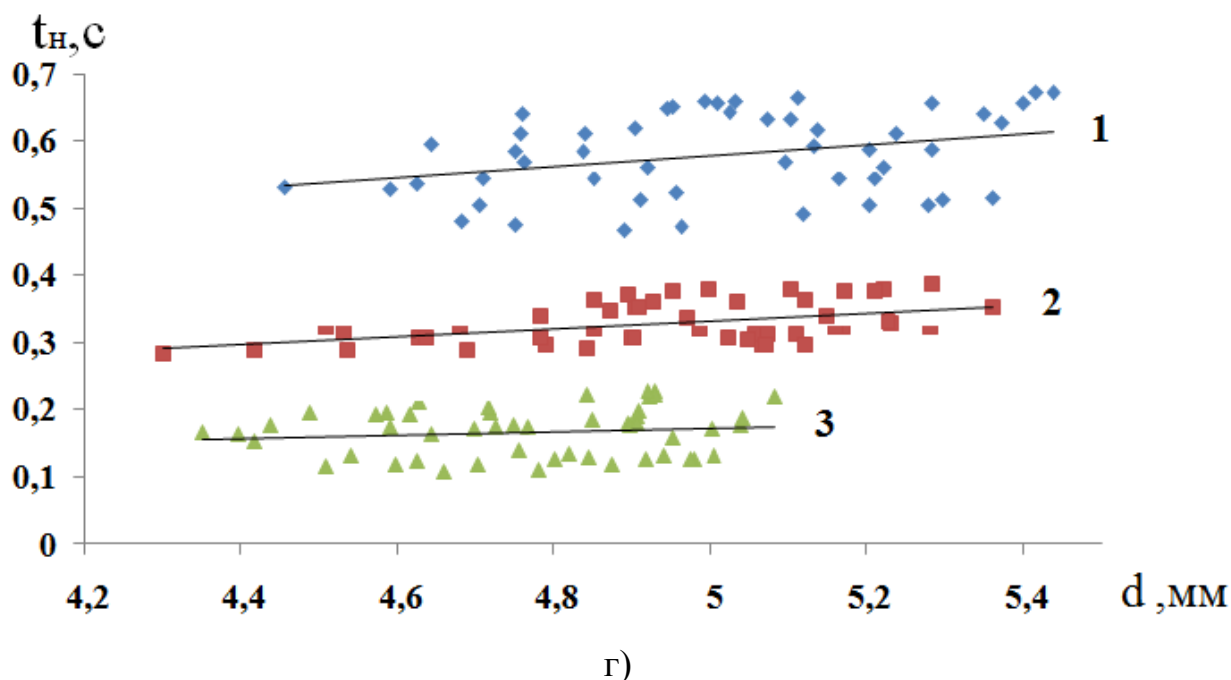


Рисунок 14 – Зависимость времен нагрева частиц льда от диаметров частиц, при температурах внешней среды:

$$1 - 600^{\circ}\text{C}; 2 - 800^{\circ}\text{C}; 3 - 1000^{\circ}\text{C}.$$

Уравнения функции тренда для частиц льда на основе природной минеральной воды обогащенной двуокисью углерода

$$1 - t_n = 0,081d + 0,173; 2 - t_n = 0,057d + 0,045; 3 - t_n = 0,025d + 0,044.$$

На рисунках 11–14 представлены зависимости времени плавления от температуры внешней среды при различных диаметрах частиц ($d=3,7-5\text{мм}$). Из зависимостей видно, что при увеличении размеров частиц увеличивается время нагрева частицы льда. Так для частиц льда на основе дистиллированной воды (рисунок 11) при температуре внешней среды $T=600^{\circ}\text{C}$ разница времен нагрева составляет $\Delta t=0,0842\text{с}$, при $T=800^{\circ}\text{C}$ – $\Delta t=0,0523\text{с}$, при $T=1000^{\circ}\text{C}$ – $\Delta t=0,0147\text{с}$. Аналогично зависимости наблюдаются и при нагреве остальных частиц льда с учетом включения

частиц железа ($C_m=10, 20\%$), а так же для частиц льда на основе газифицированной воды. Размер оказывает влияние, но оно не существенно.

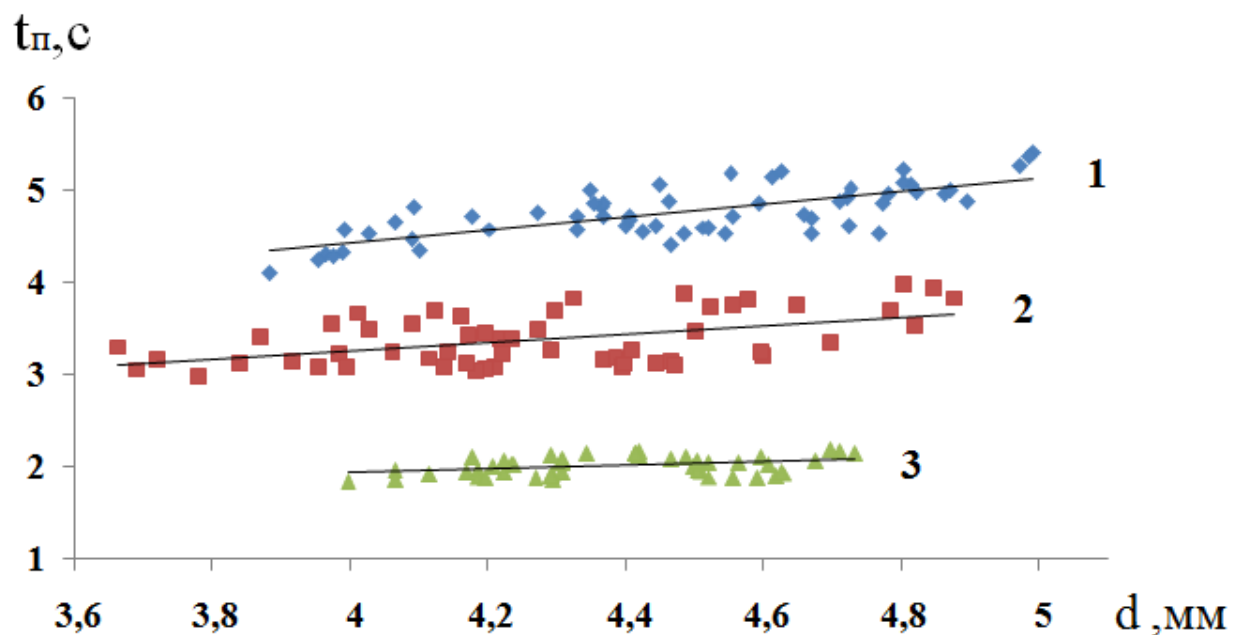


Рисунок 15 – Зависимость времен плавления частиц льда от диаметров частиц, при температурах внешней среды:
1 – 600°C; 2 – 800°C; 3 – 1000°C.

Уравнения функции тренда для частиц льда на основе дистиллированной воды:

$$1 - t_{п} = 0,708d + 1,586; 2 - t_{п} = 0,460d + 1,409; 3 - t_{п} = 0,190d + 1,165.$$

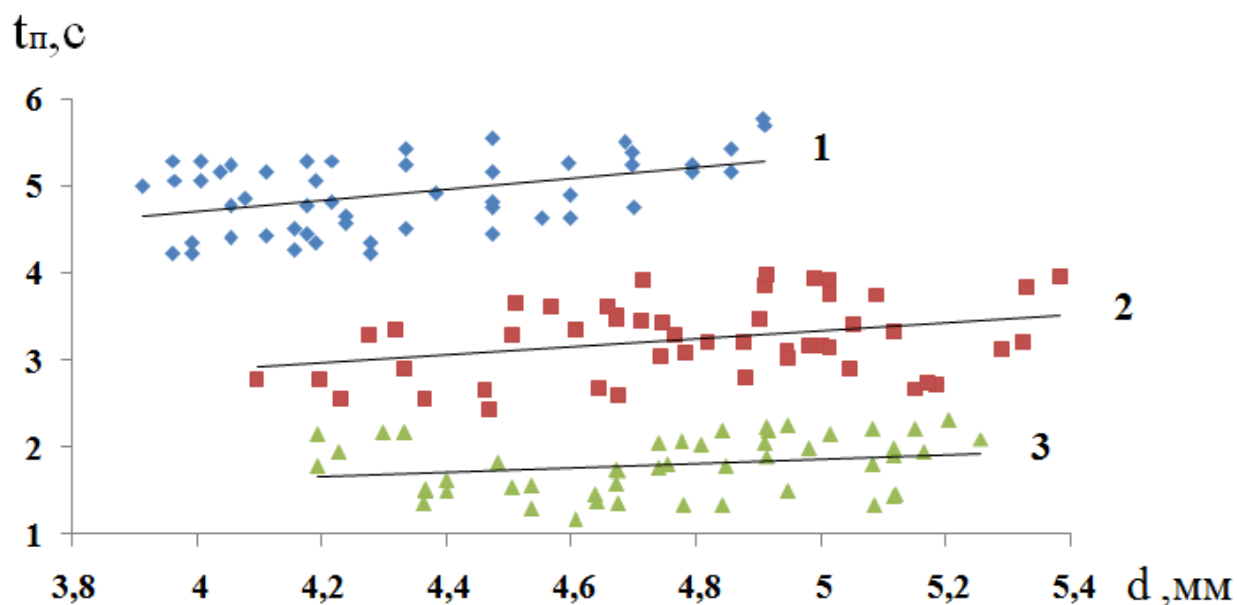


Рисунок 16 – Зависимость времен плавления частиц льда от диаметров частиц, при температурах внешней среды:
 1 – 600°C; 2 – 800°C; 3 – 1000°C.

Уравнения функции тренда для частиц льда на основе дистиллированной воды с 10% включениями частиц железа:

$$1 - t_{\text{п}} = 0,644d + 2,125; \quad 2 - t_{\text{п}} = 0,447d + 1,094; \quad 3 - t_{\text{п}} = 0,238d + 0,665.$$

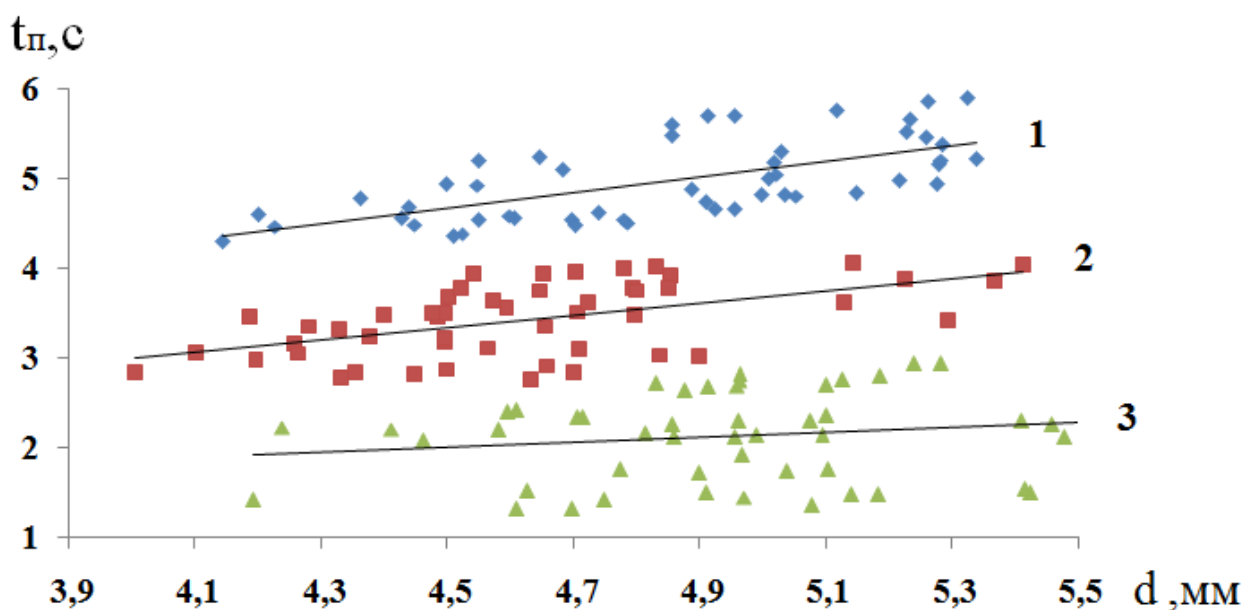


Рисунок 17 – Зависимость времен плавления частиц льда от диаметров частиц, при температурах внешней среды:

1 – 600°C; 2 – 800°C; 3 – 1000°C.

Уравнения функции тренда для частиц льда на основе дистиллированной воды с 20% включениями частиц железа:

$$1 - t_{\text{п}} = 0,878d + 0,707; 2 - t_{\text{п}} = 0,683d + 0,253; 3 - t_{\text{п}} = 0,271d + 0,774.$$

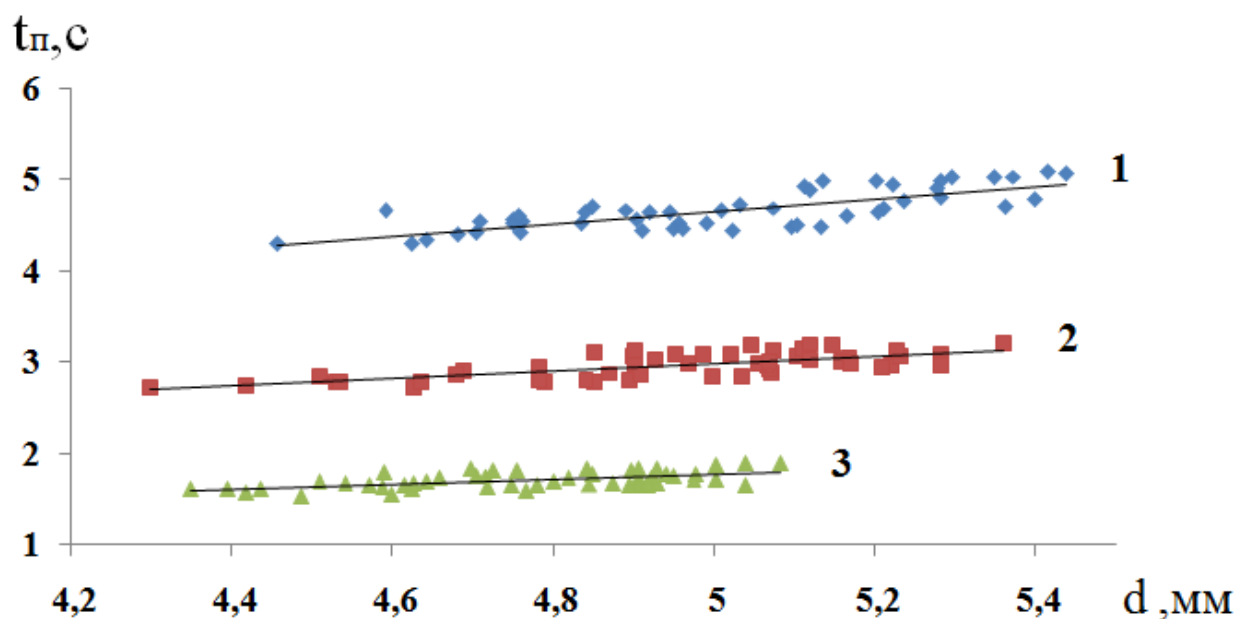


Рисунок 18 – Зависимость времен плавления частиц льда от диаметров частиц, при температурах внешней среды:

1 – 600°C; 2 – 800°C; 3 – 1000°C.

Уравнения функции тренда для частиц льда на основе природной минеральной воды обогащенной двуокисью углерода:

$$1 - t_{\text{п}} = 0,677d + 1,264; 2 - t_{\text{п}} = 0,405d + 0,947; 3 - t_{\text{п}} = 0,274d + 0,394.$$

На рисунках 15–18 представлены зависимости времени плавления от температуры внешней среды при различных диаметрах частиц ($d=3,7-5$ мм). Из зависимостей видно, что при увеличении размеров частиц увеличивается время плавления частицы льда. Так для частиц льда на основе дистиллированной воды (рисунке 15) при температуре внешней среды $T=600^{\circ}\text{C}$ разница времен плавления составляет $\Delta t=0,785\text{c}$, при $T=800^{\circ}\text{C}$ – $\Delta t=0,560\text{c}$, при $T=1000^{\circ}\text{C}$ – $\Delta t=0,140\text{c}$. Аналогично зависимости наблюдаются

и при плавлении остальных частиц льда с учетом включения частиц железа ($C_m=10, 20\%$), а так же для частиц льда на основе газифицированной воды. Размер оказывает влияние, но оно не существенно.

4.1.2 Влияние температуры внешней среды

Температура внутри топочной среде может вирироваться в достаточно широком диапазоне. Соответственно необходимо выяснить влияние температуры топочной среды на времена нагрева и плавления льда.

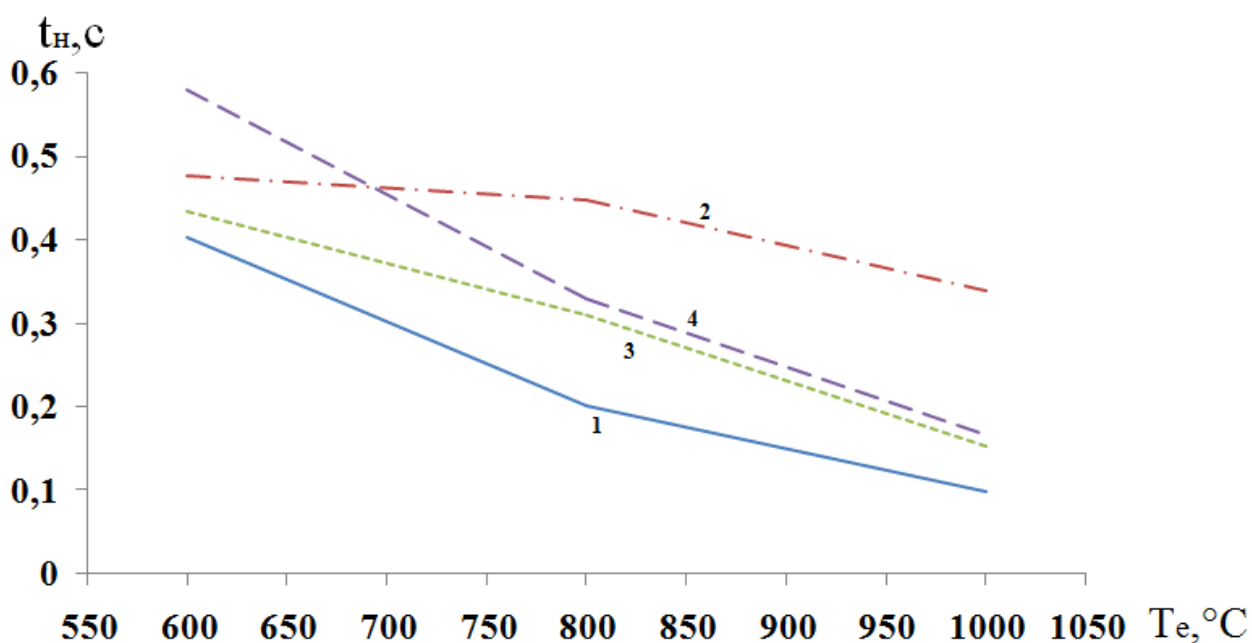


Рисунок 19 – Зависимость времен нагрева частицы от температуры внешней среды, при частицах льда на основе:

- 1 – дистиллированной воды
- 2 – дистиллированной воды с 10% включениями частиц железа
- 3 – дистиллированной воды с 20% включениями частиц железа
- 4 – природной минеральной воды, обогащенная двуокисью углерода

На рисунке 19 приведен сравнительный анализ зависимости времен нагрева частиц льда различных компонентных составов от температуры внешней среды. Анализ зависимостей показывает, что для частиц

образованных на основе дистиллированной воды с 10% включениями частиц железа и частиц на основе газифицированной воды существует два режима нагрева: низкотемпературный до 700°C и высокотемпературный более 700°C , это обусловлено тем что при прогреве более высоких температур теплообмен в частице льда на основе гидрата осуществляется за счет конвекции поэтому процесс прогрева происходит медленно в сравнение с частицей описанной выше .

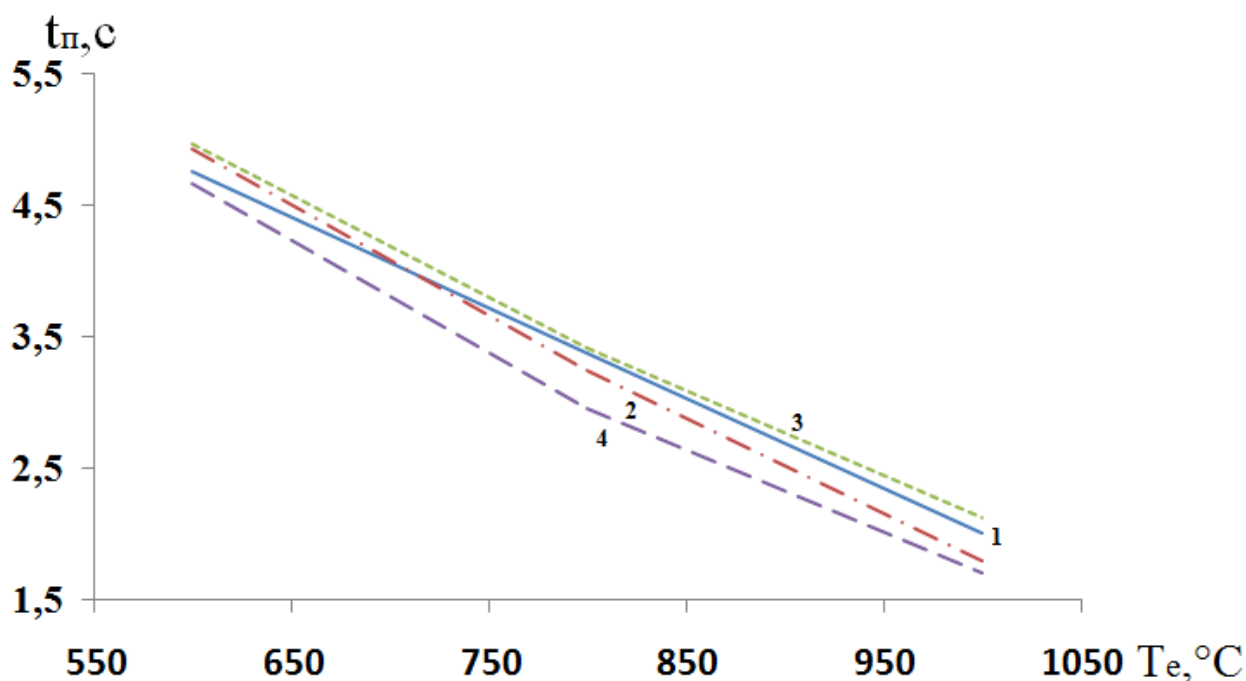


Рисунок 20 – Зависимость времен плавления частицы от температуры внешней среды, при частицах льда на основе:

- 1 –дистиллированной воды
- 2 – дистиллированной воды с 10% включениями частиц железа
- 3 – дистиллированной воды с 20% включениями частиц железа
- 4 –природной минеральной воды, обогащенная двуокисью углерода

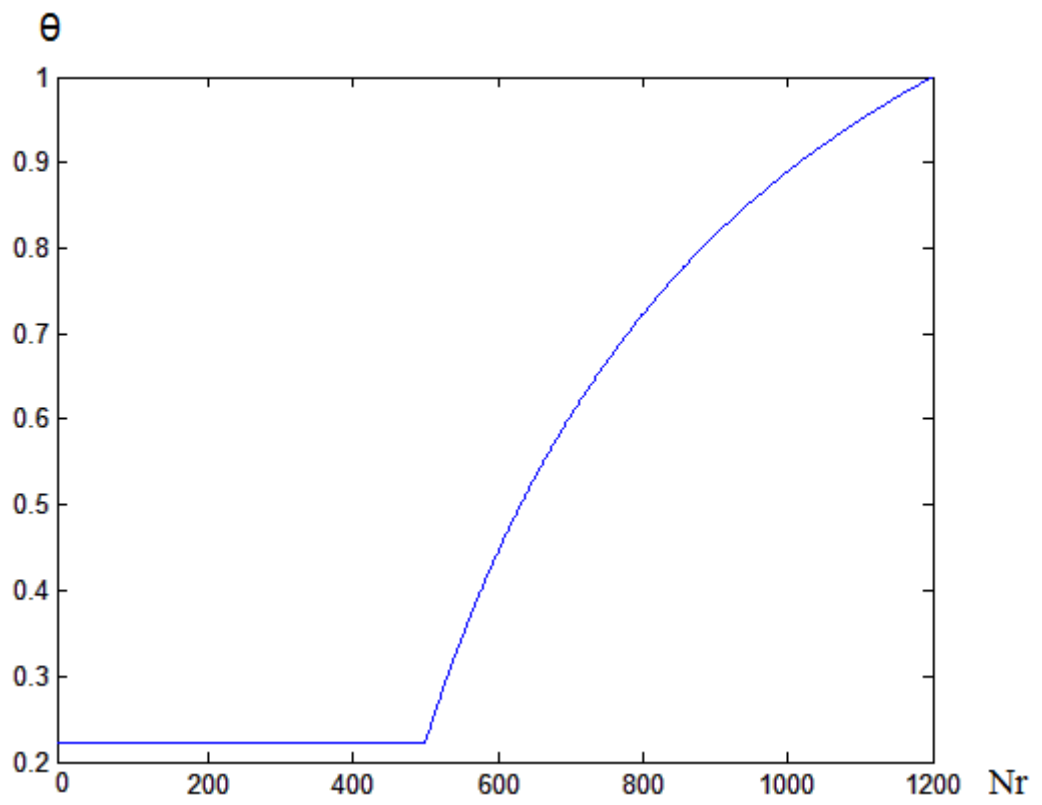
На рисунке 20 приведен сравнительный анализ зависимости времен плавления частиц льда различных компонентных составов от температуры внешней среды. Анализ зависимостей показывает, что температура внешней

среды влияет существенно на характеристик плавления, так увеличение температуры с 600°C до 1000°C приводит к ускорению времени плавления с $t_{\text{п}}=4,75\text{с}$ до $t_{\text{п}}=2,00\text{с}$. Также стоит отметить, что быстрее всего плавится частица льда насыщенная газами двуокиси углерода, а медленнее всего плавится частицы с включениями железа 20%, это обусловлено тем что у газифицированной воды теплоемкость существенно меньше, чем у частиц с 20% включением железа.

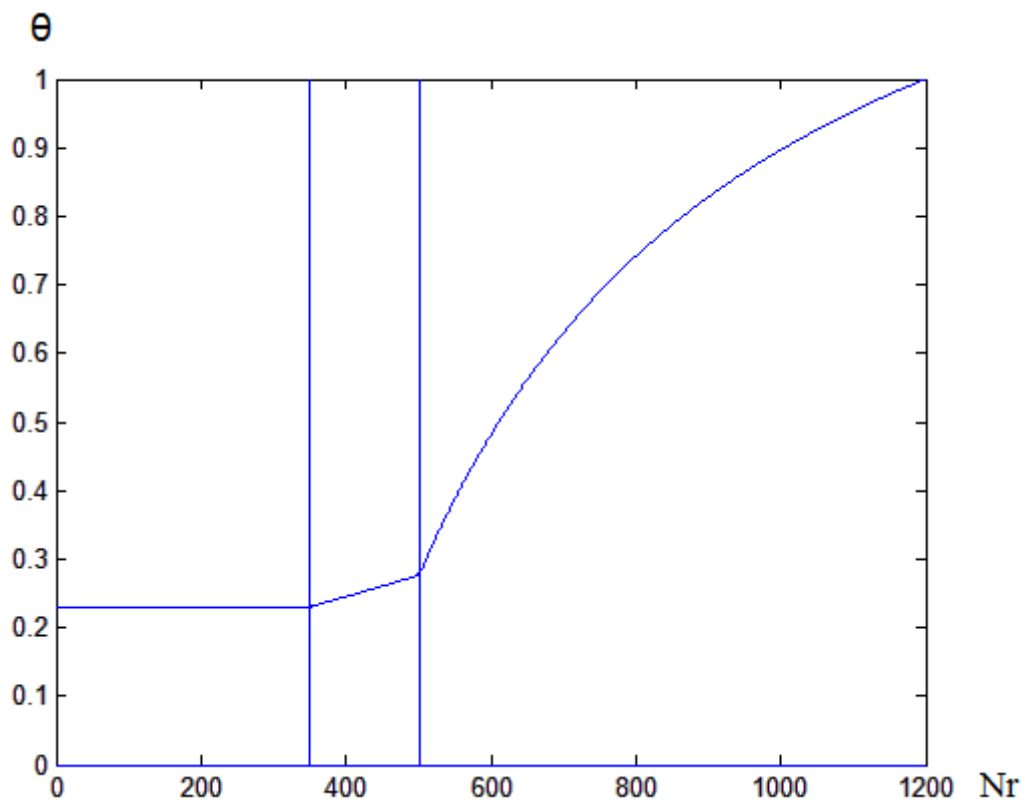
4.2 Анализ и обсуждение результатов теоретического исследования

Согласно выше представленным математической и физической постановкой задачи была разработана математическая модель с помощью программного комплекса Matlab. Ниже представлены результаты работы данной программы.

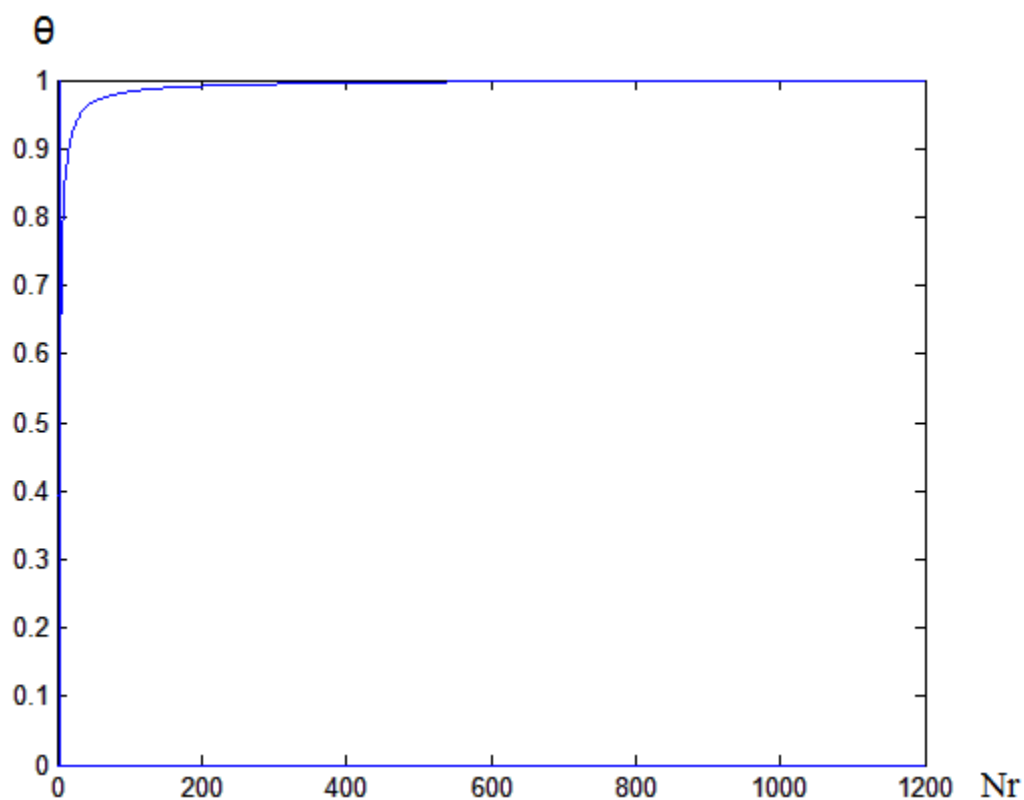
В начальный момент времени частица льда попадает в высокотемпературную газовую среду и нагреваться за счет конвекции и излучения, при этом форма и размеры частицы не изменяются (рисунок 21а), далее происходит процесс декристаллизации, на поверхности частицы формируется приповерхностная пленка воды при этом фронт плавления от поверхности льда движется в глубь частицы. В этот же момент времени инициируется процесс испарения приповерхностной пленки воды, в результате чего формируется гетерогенная структура, состоящая из твердой и жидкой фазы воды (рисунок 21б). При достижении полного расплавления льда фронт испарения воды движется до полного исчезновения капли воды (рисунок 21в).



a)



b)



в)

Рисунок 21 – Распределение температуры в системе «лед -водянная пленка - газовая область»:

а) начало теплового воздействия;

б) плавления льда испарение приповерхностной водяной пленки;

в) конец испарение капли воды.

На рисунке 22–24 представлены зависимости временных характеристик процессов нагрева, плавления частицы льда и испарение капли воды. Зависимости были построены по экспериментальным данным и данным, полученным в результате работы разработанной математической модели. Анализ зависимостей выявил, что результаты полученные при помощи математического моделирования отличаются от экспериментальных не более чем на 20%. Время нагрева частицы у математической модели больше, чем время нагрева «поверочной» кривой. Это можно объяснить тем, до попадания капли в видеокادر на частицу льда производится тепловое воздействие. Время плавления частицы льда, полученное при работе модели,

отличается в меньшую сторону от «поверочного». Это объясняется тем, что «реальные» частицы представляют собой продолговатые цилиндры частицы льда с округленным сферическим окончанием. А в разработанной математической модели частица льда принималась сферой. Время испарения представлено только для математической модели, потому что при полном расплавлении льда, капля воды чаще всего скатывалась с иглодержателя. На основании вышесказанного можно утверждать, что данная математическая модель может использоваться при прогнозировании процессов плавления частиц льда в высокотемпературной газовой среде.

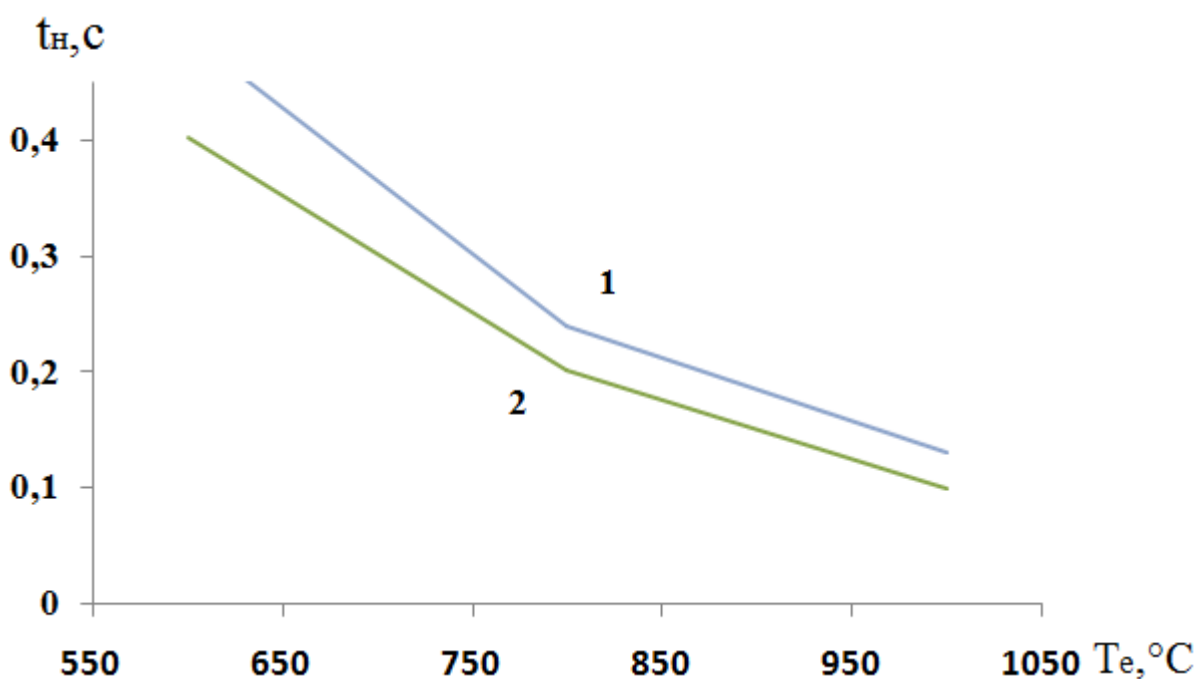


Рисунок 22 – Зависимость времен нагрева для частицы льда от температуры, для теоретического и экспериментального исследования:

- 1 – теоретические исследования;
- 2 – экспериментальное исследование.

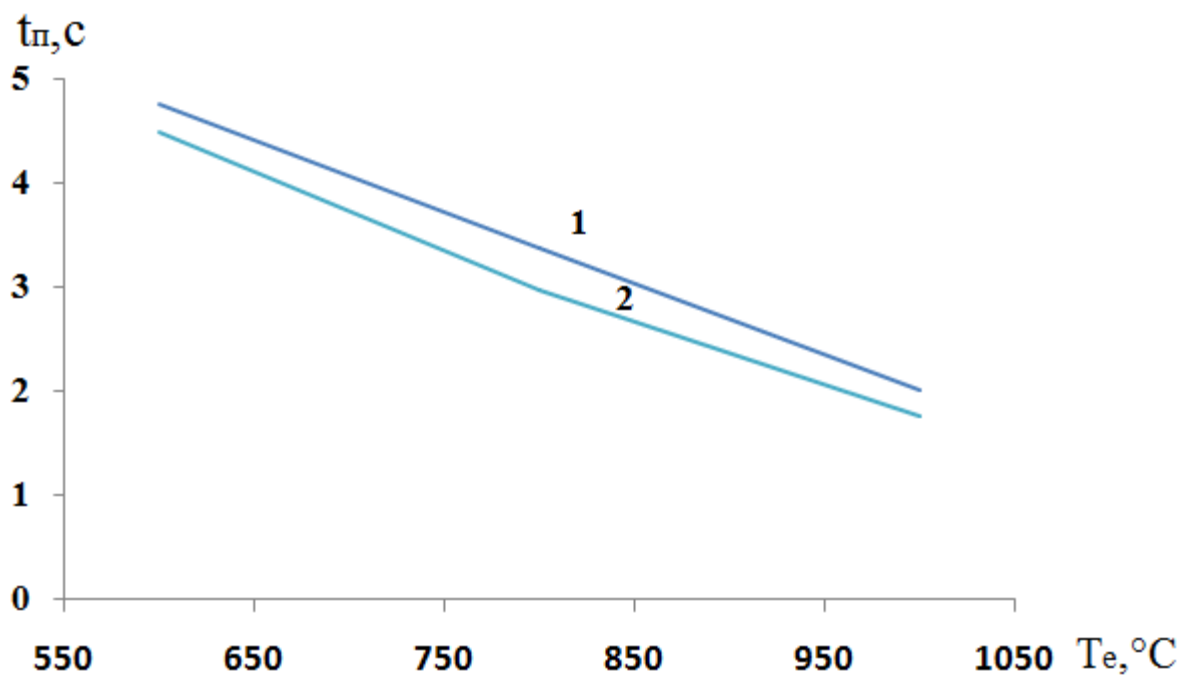


Рисунок 23 – Зависимость времен полного расплавления от температуры, для теоретического и экспериментального исследования:

- 1 – экспериментальное исследование;
- 2 – теоретические исследования.

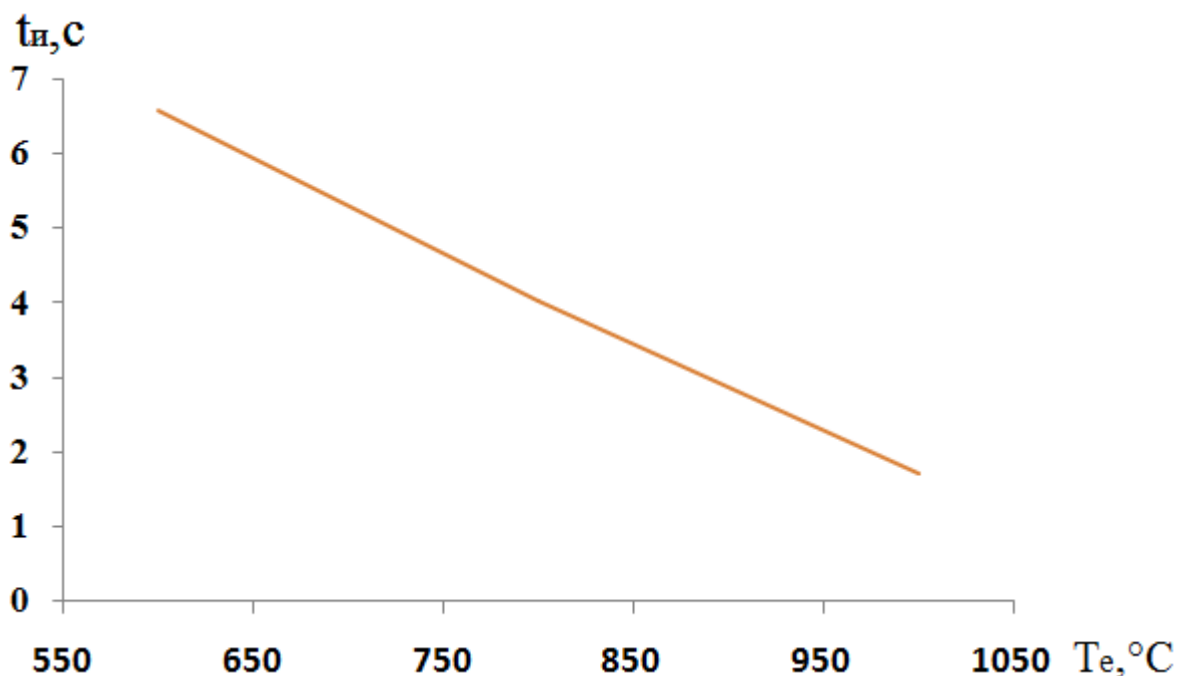


Рисунок 24 – Зависимость времен полного испарения капли воды от температуры, для теоретического и экспериментального исследования:

- 1 – экспериментальное исследование;
- 2 – теоретические исследования.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БЗБ	Брайченко Михаил Валерьевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ТПТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Тариф на электроэнергию 2,36 руб.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисление в социальные фонды 30 %
3. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Планирование работ и оценка их выполнения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	2. Смета затрат на проект
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	3. Смета затрат на оборудование
	4. Анализ исследований

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры менеджмента	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗБ	Брайченко Михаил Валерьевич		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью написания данного раздела является социальное и финансовое обоснование экспериментального и теоретического исследования фазовых превращений частиц льда в высокотемпературной газовой среде. Востребованность данного исследования объясняется отсутствием достаточной базы теоретических и экспериментальных данных комплекса теплофизических и химических процессов, протекающих при движении частиц льда через высокотемпературную газовую среду.

5.1 Планирование работ и оценивание времени их выполнения

Планирование — оптимальное распределение ресурсов для достижения поставленных целей, деятельность, связанная с постановкой целей (задач) и действий в будущем. Любое исследование начинается с планирования работ и ограничение по времени их выполнения [20]. В таблице 1 представлены все виды выполняемых работ и время их выполнения.

Таблица 1 – Разработка перечня работ и оценка их выполнения

№ п/п	Наименование работ	Исполнители	Продолжительность, дней
1	Выбор темы и направления проведения исследования.	Инженер (10р)	3
		Руководитель (13р)	1
2	Поиск и анализ статей и литературы по данной тематике, проведение обзора.	Инженер (10р)	4
3	Составление плана проведение исследования и выбор метода обработки данных. Постановка задач и целей исследования.	Инженер (10р)	5
		Руководитель (13р)	2
4	Покупка установки и вспомогательного оборудования.	Инженер (10р)	5
		Руководитель (13р)	4
5	Монтаж установки.	Инженер (10р)	10

	Подключение эл.об.	Руководитель (13р)	1
6	Разработка методики заготовки экспериментального материала.	Инженер (10р)	5
7	Заготовка экспериментального материала.	Инженер (10р)	35
8	Проведение эксперимента.	Инженер (10р)	35
9	Обработка полученных результатов.	Инженер (10р)	4
10	Сравнение результатов с результатами, полученными ранее в аналогичных теоретических исследованиях; написание выводов	Инженер (10р)	3
		Руководитель (13р)	1
11	Оформление проделанной работы, составление пояснительной записки	Инженер (10р)	12
12	Проверка проекта	Инженер (10р)	3
		Руководитель (13р)	3
Итого:		Инженер (10р)	124
		Руководитель (13р)	12

По данным таблицы 1 был построен график проведения работ, представленный на рисунке 25.

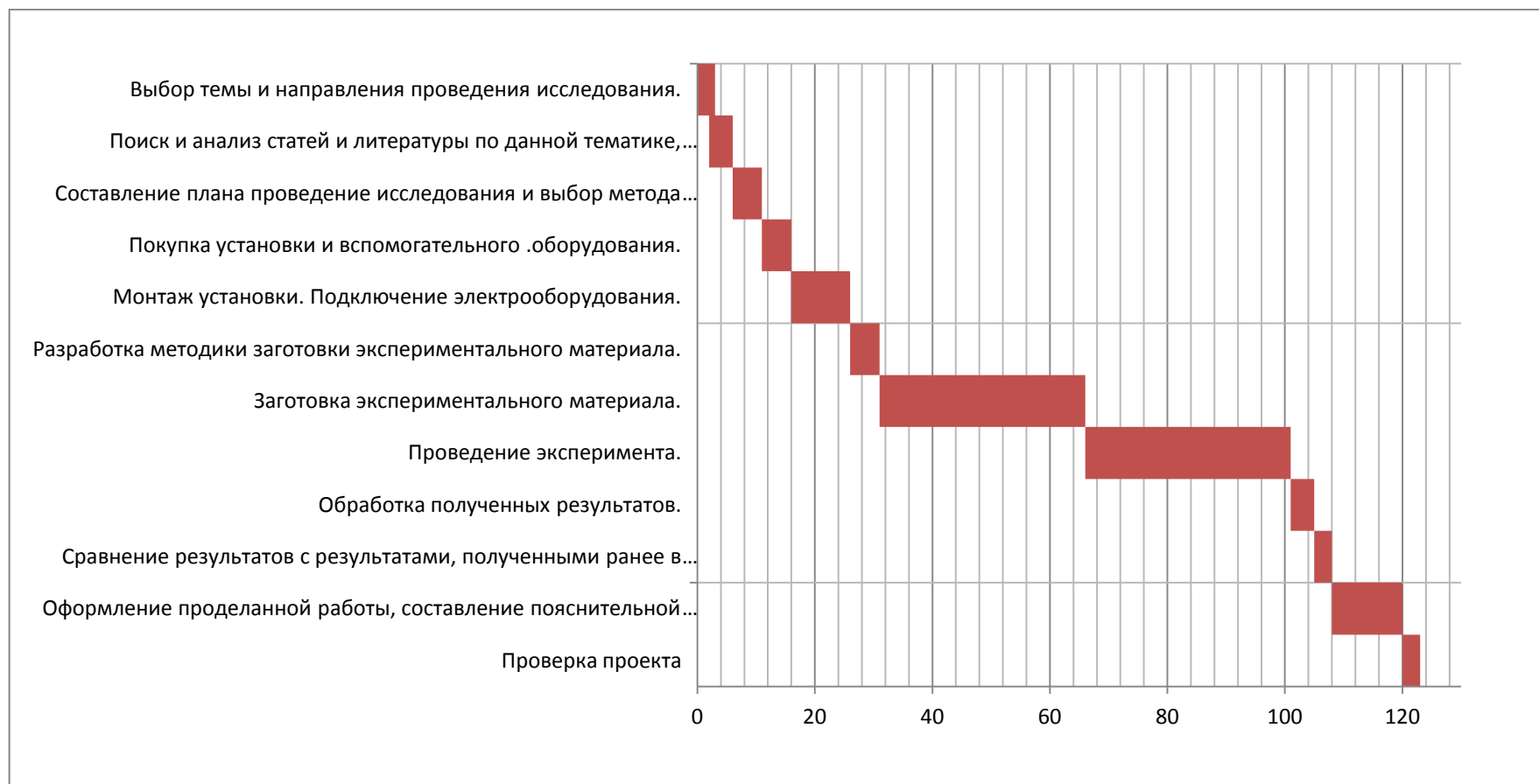


Рисунок 25 – График проведения НИ

5.2 Смета затрат на проект

Совокупность затрат на проект определяются по следующей формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \text{ руб.} \quad (1)$$

где $K_{\text{мат}}$ - материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$ -амортизация компьютерной техники;

$K_{\text{з/пл}}$ - затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о}}$ - затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ - прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ - накладные расходы.

5.2.1 Материальные затраты

В данной работе под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на канцелярские товары. Величину этих затрат принимаем $K_{\text{мат}}=1000$ руб.

5.2.2 Амортизация компьютерной техники

Амортизация показывает уменьшение стоимости компьютерной техники, на которой выполнялась работа, вследствие ее износа. Амортизация компьютерной техники рассчитывается как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{ руб./год.} \quad (2)$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ - время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$ - календарное время;

$C_{\text{кт}}$ - цена компьютерной техники;

$T_{\text{сл}}$ - срок службы компьютерной техники.

$$K_{\text{ам}} = \frac{104}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1424,7 \text{ руб./год.} \quad (3)$$

5.2.3 Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату включают в себя выплаты инженеру, разрабатывающему проект, а также научному руководителю и рассчитываются как:

$$K_{\text{з/пл}} = 3П_{\text{инж}}^{\phi} + 3П_{\text{нр}}^{\phi} \text{ руб.} \quad (4)$$

где $ЗП_{инж}^{\phi}$ - фактическая заработная плата инженера,

$ЗП_{нр}^{\phi}$ - заработная плата научного руководителя.

Месячный оклад:

$$ЗП_{инж}^M = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб}; \quad (5)$$

$$ЗП_{нр}^M = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 19500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 27885 \text{ руб}, \quad (6)$$

где $ЗП_{инж}^M$ - месячная заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}^M$ - месячная заработная плата научного руководителя;

$ЗП_0$ - месячный оклад (инженер 17000 руб., научный руководитель 30000 руб.);

K_1 – коэффициент учитывающий отпуск, равен 1,1 (10%);

K_2 - районный коэффициент, равен 1,3 (30%).

Фактическая заработная плата:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n^{\phi} \text{ руб}, \quad (7)$$

где $ЗП_{мес}$ - месячная заработная плата;

21 - среднее число рабочих дней в месяце;

n^{ϕ} - фактическое число дней в проекте.

$$\text{Инженер: } ЗП_{инж}^{\phi} = \frac{24310}{21} \cdot 124 = 143544,8 \text{ руб}. \quad (8)$$

$$\text{Научный руководитель } ЗП_{нр}^{\phi} = \frac{27885}{21} \cdot 12 = 15934,3 \text{ руб}. \quad (9)$$

$$K_{з/пл} = 15934,3 + 143544,8 = 159479,1 \text{ руб}. \quad (10)$$

5.2.4 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату, они включают в себя отчисления в Фонд социального страхования Российской Федерации, Пенсионный фонд Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования.

$$K_{соц/н} = K_{з/пл} \cdot 0,3 \text{ руб}. \quad (11)$$

$$K_{соц/н} = 159479,1 \cdot 0,3 = 47843,7 \text{ руб}. \quad (12)$$

5.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{\text{пр}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц/н}}) \cdot 0,1 \text{ руб.} \quad (13)$$

$$K_{\text{пр}} = (1000 + 1424,7 + 159479,1 + 47843,7) \cdot 0,1 = 20974,8 \text{ руб.} \quad (14)$$

5.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы – дополнительные к основным затратам расходы, необходимые для обеспечения процессов производства, связанные с управлением, обслуживанием, содержанием и эксплуатацией оборудования. Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2 \text{ руб.} \quad (15)$$

$$K_{\text{накл}} = 159479,1 \cdot 2 = 318958,2 \text{ руб.} \quad (16)$$

В таблице 2 представлена смета затрат на проект.

Таблица 2– Смета затрат на проект

№ п/п	Элементы затрат	Стоимость, руб
1	Материальные затраты	1000
2	Амортизация компьютерной техники	1424,7
3	Затраты на заработную плату	159479,1
4	Затраты на социальные нужды	47843,7
5	Прочие затраты	20974,8
6	Накладные расходы	318958,2
Итого:		549680,4

5.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 3 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 3 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
1	Высокотемпературная печь НОВАТЕРН	80000	1
2	Дополнительные детали	10000	-
3	Координатное устройство	19000	1
4	Объектив Nikon Nikkor AF 80- 200mm F/4.5-5.6 D ED VR	75000	1
5	Вытяжная вентиляция	36000	1
6	Компьютер	25000	1
7	Сумка-холлодильник	2000	1
Итого		247000	

Затраты на монтажные работы, транспортировку и демонтаж оборудования составляют 10 % от суммы затрат на технические средства:

$$I_{\text{монт}} = 0,1 \cdot I_{\text{обор}} \text{ руб.} \quad (17)$$

где $I_{\text{обор}}$ - затраты на оборудование.

$$I_{\text{монт}} = 0,1 \cdot 247000 = 24700 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты на оборудование, монтажные работы и транспортировку:

$$I_{\text{итог}} = I_{\text{обор}} + I_{\text{монт}} = 247000 + 24700 = 271700 \text{ руб.}$$

5.4 Анализ результатов

Несмотря на достаточно высокие затраты для реализации данного проекта, создание экспериментальной базы является целесообразной задачей. Процессы фазовых превращений частиц льда при движении через высокотемпературную газовую малоизученны и, следовательно, будут

являться довольно востребованными т.к. проблема «обрыва пламени» горелочных устройств до сих пор не решена. Также будет изучен тепло-массоперенос протекающий при воспламенении газовых гидратов, тем самым будет произведена оценка надежности работ энергетических газовых турбин.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б3Б	Брайченко Михаил Валерьевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ТПТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	Экспериментальное и теоретическое исследование зажигания частиц водоугольного топлива, покрытых водяной пленкой.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность	<p>1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с темой; – действие фактора на организм человека. <p>1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность. <p>1.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов</p>
2. Экологическая безопасность.	<p>2.1 Анализ возможного воздействия объекта на окружающую среду;</p> <p>2.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.</p>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	<p>3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований;</p> <p>3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований;</p> <p>3.3 Мероприятия по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.</p>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	<p>4.1 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский Михаил Викторович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б3Б	Брайченко Михаил Валерьевич		

6 Социальная ответственность

Социальная ответственность – принцип, который должен лежать в основе бизнеса для обеспечения благополучия общества, а не только для максимизации прибылей. В большей части годовых отчетов корпораций обычно указывается, что сделано компанией для продолжения образования, помощи национальным меньшинствам, сколько средств передано сфере искусства и ведомствам социальной помощи, а также направлено на улучшение социальных условий в целом. Концепция социальной ответственности используется инвесторами при выборе компаний, наиболее подходящих их сотрудникам, не загрязняющих окружающую среду и не производящих оружия, а изготавливающих нужную людям продукцию. Социальная ответственность подразделяется на индивидуальную и корпоративную. Корпоративная социальная ответственность — это концепция, в соответствии с которой организации учитывают интересы общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны общественной сферы, а индивидуальная возлагает на себя ответственность за деяние одного человека.

К вопросам социальной ответственности на производстве относятся работы по охране труда, окружающей среды и в чрезвычайных ситуациях.

Охрана труда – это система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия (ч. 1 ст. 209 ТК).

В данной работе было проведено исследование фазовых превращений льда в высокотемпературной газовой среде. Данная работа проводилась на лабораторном стенде. Для выполнения исследования нужно два человека: один инициирует начало эксперимента, отвечает за своевременное включение высокоскоростной видеокамеры и обрабатывает результаты

экспериментов, а второй следит за температурой внутри печи, и насаживает частицы льда на металлический держатель. При выполнении этих работ на исполнителей могут воздействовать следующие вредные и опасные факторы:

- 1) недостаточная освещенность рабочего места;
- 2) поражение электрическим током;
- 3) повышенная температура воздуха рабочей зоны;
- 4) высокие температуры экспериментальной печи;
- 5) повышенная или пониженная влажность воздуха;
- 6) физические перегрузки.

6.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Сжигание льда представляет собой представляет собой опасность в нескольких аспектах, например, если сжигать лёд с примесями железа или древесины в больших количествах, то выбросы будут значительными, однако на данной установке это решается двумя способами: установлением вытяжной вентиляции и сжиганием не большого объема топлива.

Сжигание льда проходит при высоких температурах (от 600°С до 1200°С) и открытом пламени, следовательно, необходимо соблюдать правила пожарной безопасности.

6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.

При работе с установкой необходимо уделить внимание правилам безопасности при работе с техникой при высоких температурах, так как неосторожное и неправильное обращение с экспериментальной печью может привести к пожару в лаборатории.

Также большое внимание стоит уделить подключению приборов в соответствии с инструкциями по подключению, только такой подход позволит обезопасить исследователя от поражения электрическим током, а также не приведет к образованию искр возле проводок.

6.1.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Для предотвращения поражения электрическим током исследователя, работающего непосредственно с экспериментальной печью, а также операторов проводится ряд мероприятий, предупреждающих поражение электрическим током:

- выбор и установка электрооборудования в соответствии с условиями окружающей среды;
- ограждение токоведущих частей электрооборудования;
- устройство заземления или зануления всех металлических конструкций, которые могут оказаться под напряжением, а также применение защитного отключения;
- применение защитных средств при обслуживании электроустановок;
- организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность производства работ.

Для уменьшения высоких температур на организм человека необходимо также проводить ряд мероприятий.

Риск возникновения пожара рекомендуется уменьшать несколькими путями:

- облицовки этих поверхностей или заполнения специально предусмотренных в них воздушных полостей специальными изоляционными материалами;
- окружающая среда должна быть пожаровзрывобезопасной, не содержать токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, превышающих ГОСТ 12.1.002–88;
- между сериями экспериментов закрывать открытые отверстия печи специально предусмотренными для этого деталями конструкции печи;
- применение вытяжной вентиляции;

Во избежание ожогов при загрузке и выгрузки садки в изделие необходимо пользоваться технологическими приспособлениями.

Для поддержания в помещении комфортной обстановки предусмотрена система вытяжки над экспериментальной печью, что уменьшает тепловой эффект от печи и дает различным газам рассредоточиться по лаборатории. Также исследователям рекомендуется делать небольшие перерывы каждые 30-40 минут, так как для работы с экспериментальной установкой требуется высокая точность и сосредоточенность.

6.2 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды – изменение естественного состава элементов окружающей среды (воздуха, воды, земель и лесов) в результате деятельности человека. Оно приводит к ухудшению условий жизни населения, существования животного и растительного мира.

6.2.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду

Выбросы загрязняющих веществ предприятий теплоэнергетики, обусловленные процессами сгорания топлива, является одним из основных источников загрязнения атмосферы. Объемы вредных выбросов связаны с качеством и количеством сжигаемого топлива, полнотой его использования, а также эффективностью в целом работы устройства, использующего теплоту сгорания топлива.

6.2.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Чистый лёд не представляет никакой опасности для окружающей среды. Если лёд содержит примеси, то основным вредным фактором на окружающую среду является его загрязнение золой, оксидами азота и серы при сжигании. Однако данное исследование не оказывает никакого существенного вредного влияния на окружающую среду, так как лёд с примесями сжигается в очень малых объемах.

Для снижения выбросов токсических веществ в атмосферу и повышения энерго-экологической эффективности теплоэнергетики

реализуются несколько направлений, среди которых можно выделить выполнение природоохранных мероприятий; использование мероприятий по энергосбережению; внедрение экологического мониторинга; стимулирование развития научных исследований и практического применения новейших научных достижений и научно-технических разработок.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на объекте, либо на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного бедствия, диверсий, эпидемий, эпизоотий, эпифитотий или других событий, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

В настоящее время основными способами защиты населения, в том числе и производственного персонала, являются:

1. укрытия в защитных сооружениях, в простейших укрытиях на местности;
2. рассредоточение и эвакуация населения из крупных городов в загородную зону;
3. своевременное и умелое применение средств индивидуальной защиты.

6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Объект исследования – лёд не может привести к каким-либо ЧС. Однако, при работе со льдом и экспериментальным стендом необходимо следить за температурой в печи, а также на ее поверхности, чтобы избежать возгорания. Самой распространенной причиной возникновения пожара в лабораториях является нарушение противопожарных правил. Поэтому исследователь должен эти правила хорошо знать и выполнять.

6.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

Особое внимание требуется уделить пожарной безопасности и безопасности при работе с высокими температурами. Возникновение пожара является основной и наиболее опасной ЧС при работе с данной экспериментальной установкой. Поэтому работа должна проводиться только после соответствующего инструктажа со стороны руководителя исследования.

6.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Для проведения противопожарных мероприятий необходимо:

- обеспечить безопасность людей и разработать инструкцию по безопасности для каждого отдельного рабочего помещения;
- допускать к работе лиц, изучивших паспорт экспериментальной печи и прошедших инструктаж по технике безопасности при работе с электрическими приборами, при изменении специфики работы вносить изменения в инструктаж;
- при желании и необходимости создавать пожарно-технические комиссии;
- оставлять включенным экспериментальный стенд только под контролем ответственных лиц;
- перегревать экспериментальную печь выше 1200 °С;
- в лаборатории на видном месте размещать таблички с номером вызова пожарной охраны;
- установить инструкцией места для курения, хранения сырья, полуфабрикатов или готовой продукции и их предельно допустимое количество, порядок уборки горючих отходов и пыли, обесточивания электрооборудования, хранения промасленной спецодежды;

– регламентировать порядок проведения пожароопасных работ, осмотра и закрытия помещений, действий коллектива при возникновении пожара. Назначить ответственного за инструктирование и проведение занятий по противопожарной безопасности, определить время проведения занятий;

– при нахождении более чем 10 человек на этаже утвердить и повесить на видном месте план/схему эвакуации, установить систему оповещения.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основой правового законодательства является Конституция РФ, т.е. законы и правовые акты, принимаемые в РФ, не должны противоречить ей.

Существуют принятые нормы в области охраны труда:

1) на первом месте жизнь и здоровье работника, а потом уже результат

производственной деятельности предприятия;

2) единые нормативные требования по охране труда;

3) защита интересов работников, пострадавших в результате несчастных случаев на производстве.

6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Оператор системы топливоприготовления обязан проходить инструктаж по технике безопасности 1 раз в 3 месяца, а также соблюдать правила пожарной безопасности, не оставлять систему без присмотра. Предприятие, у которого в собственности находится данная система должно обеспечить оператора спецодеждой и другими средствами индивидуальной защиты. В конце рабочей смены оператор сдает дежурство, делает отметку в вахтенном журнале.

6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Каждый работник имеет право на:

– рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;

- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- дополнительное профессиональное образование за счет средств работодателя в случае ликвидации рабочего места вследствие нарушения требований охраны труда;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания.

Заключение

К настоящему времени опубликовано большое число работ по исследованию процессов тепломассообмена в системе (капли воды воздух), но не изучено в полной мере влияние на характеристики (фазовых превращений (испарение и конденсация) таких факторов, как начальные размеры доставляемых в рабочую область градирен ТЭС капель, их

начальная температура, компонентный состав, скорости капель и потока охлаждающего воздуха. Также известно, что имеет место деформация капель жидкостей при движении в газовых средах, но не установлены механизмы деформации капель и влияние выделенных выше факторов на данный процесс. При деформации капли в процессе ее движения сквозь высокотемпературную газовую среду происходит непрерывное изменение ее формы и, как следствие, площади поверхности. Это, несомненно, приводит к изменению в определенных пределах интегральных характеристик тепломассообмена между поверхностью капли и окружающим воздухом. Данная особенность также должна учитываться как при проектно-конструкторских работах и соответствующих расчетах градирен ТЭС, так и при разработке необходимых для этих расчетов физических и математических моделей.

Анализ влияния выделенных выше факторов может позволить наряду с мерами по интенсификации тепломассообмена разработать рекомендации по уменьшению интенсивности капельного уноса (прежде всего оптимальных значений скоростей капельного потока и охлаждающего воздуха, начальных размеров капель распыляемой воды и, возможно, расстоянии между каплями). Это, свою очередь, создаст условия для уменьшения обмерзания внешней поверхности градирни, окружающих зданий и сооружений в зимнее время года.

Закключение

В рамках данного дипломного проекта было проведено теоретическое и экспериментальное исследования плавления частицы льда.

Во время выполнения данного проекта был разработан экспериментальный стенд, на котором проводились экспериментальные изыскания. Было исследовано влияние основных факторов (влияние температуры топочной среды, влияние размера частиц, влияние состава топлива) на временные характеристики процессов плавления и испарения частицы льда. Было выявлено, что размер частиц не оказывают существенного влияния на временные характеристики, в отличие от температур внешней среды, где разница времени плавления составляла $t_{п} = 2.8с$, между температурами внешней среды $600^{\circ}C$ и $1000^{\circ}C$. Также стоит отметить, что для газифицированных частиц льда и частиц с включениями железа при высоких температурах внешней среды ($800-1000^{\circ}C$) наблюдается бурное кипение воды в виду тогда что при этих температурах излучение играет большую проникая в глубь слоя воды.

На основании экспериментальных результатов была разработана математическая модель, практически в полной мере учитывающая комплекс процессов испарения водяной пленки, термической подготовки и плавления частицы льда.

Пояснительная записка к проекту содержит подробное описание методики эксперимента, а также физической и математической постановки математической модели.

Так же выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». В разделе «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» составлен перечень работ и произведена оценка времени их выполнения, составлена смета затрат на проект, составлена смета затрат на оборудование и монтажные работы для реализации проекта. В разделе «Социальная ответственность» рассмотрена социальная ответственность предприятия

(корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду.

Список литературы

1. Высокоморная О.В., Высокоморный В.С., Стрижак П.А. Оценка параметров надежности работы автономных устройств энергоснабжения удаленных линейных объектов магистральных газопроводов Восточной Сибири и Дальнего Востока // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. № 4
2. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2020 goda. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitelstva RF 28.08.2003 № 1234 [Russian Energy Strategy to 2020. Approved by order of the government RF]. 2003, no. 1234.
3. Livinskiy A.P., Redko I.Ya., Filin V.M. Energetik, 2010. 4, pp. 22–26.
4. Salamov A.A. Energetik, 2009. 7, pp. 26–27.
5. Zalmanov L.R., Moryakov P.V. Energetik, 2001. 11, pp. 38–40.
6. Kononenko P.I., Mikhayluts V.G. Energetik, 2007. 3, pp. 43–44.
7. Kovalev L.I. Energetik, 2009. 3, pp. 26–29.
8. Высокоморный В.С. Анализ интегральных характеристик надежности и ресурсоэффективности мини-ТЭС удаленных линейных объектов газотранспортной системы России // автореферат, Томск, 2013
9. Корценштейн В.Н. Растворенные газы подземной гидросферы земли. М.: Недра, 1984.
10. Макогон Ю.Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы
11. Макогон Ю.Ф. Образование гидратов в газоносном пласте в условиях многолетней мерзлоты. Газовая промышленность, 1965, №5.
12. Макогон Ю.Ф. Особенности эксплуатации месторождений природных газов в зоне вечной мерзлоты. ЦНТИ Мингазпрома, 1966.
13. Макогон Ю.Ф. Метод определения запасов газа в газогидратных залежах. Газовое дело, 1966, №1.
14. Макогон Ю.Ф. Растворимость газов в воде при наличии гидратов. Экспресс-информация, 1971, № 22.

15. Hammerschmidt E.G. Formation of gas hydrates in natural gas transmission lines. *Industrial and Engineering Chemistry*, 1934. 26, 8, pp. 851–855.
16. Eps operation & maintenance manual (powered by CCVT) // This document contains information that is proprietary to ORMAT SYSTEMS LTD. 2006, 600 p.
17. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. // Г.В.Кузнецов, М.А.Шеремет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с.
18. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. Наука, М., 1971
19. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2014. – 73 с.
20. ГОСТ 12.1.002–84 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах»