



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ООП Инженерия теплоэнергетики и теплотехники

Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Влияния скорости взаимодействия капель охлаждающей жидкости с текстурированными поверхностями на условия растекания

УДК: 532.5.011.1-046.47:539.211

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б92	Михеев Глеб Анатольевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Борисов Б.В.	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук И.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Бульба Е.Е.	к.т.н., доцент		

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

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном (-ых) языке (-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов

ОПК(У)-4	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий получения, преобразования, транспорта и использования энергии в теплоэнергетических установках и нетрадиционных источниках энергии
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на теплообменном оборудовании
ПК(У)-4	Способен осуществлять анализ режимов работы с формулированием предложений по повышению эффективности деятельности и модернизации предприятий с учетом современных инновационных подходов
ПК(У)-5	Способен управлять технологическим оборудованием, контролировать параметры процессов и показатели получаемой продукции, показатели энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла
ПК(У)-6	Способен осуществлять проектирование и эксплуатацию теплотехнического, тепломеханического, теплообменного основного и вспомогательного оборудования, а также технологических установок, работающих под избыточным давлением



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки (ООП/ОПОП) Инженерия теплоэнергетики и теплотехники
(Промышленная теплоэнергетика)

Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП/ОПОП

(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломной работы

Обучающийся:

Группы	ФИО
5Б92	Михеев Глеб Анатольевич

Тема работы:

**Влияния скорости взаимодействия капель охлаждающей жидкости с
текстурированными поверхностями на условия растекания**

Утверждена приказом ректора (дата, номер)

№ 41-36/с от 10.02.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:

06.06.2023

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.).

Объектом исследования является определение растекания капель охлаждающей жидкости на текстурированные поверхности нержавеющей стали и латуни.
Особые требования – варьирование твердой поверхности и высоты сброса капли.

<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>Проведение аналитического обзора научной литературы. Подготовка и сборка установки. Планирование проведения экспериментов. Проведение экспериментальных исследований по определению растекания капель на твердой поверхности. Обработка результатов экспериментов. Формулирование выводов.</p>
<p>Перечень графического материала</p>	<p>Презентация</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Кащук Ирина Владимировна, доцент, к.т.н.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна, старший преподаватель</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>20.12.2022</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Борисов Б.В.	Д.ф.-м.н.		20.12.2022

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б92	Михеев Глеб Анатольевич		20.12.2022



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки (ООП/ОПОП) Инженерия теплоэнергетики и теплотехники
(Промышленная теплоэнергетика)
Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова
Период выполнения _____ (весенний семестр 2022/2023 учебного года)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
5Б92	Михеев Глеб Анатольевич

Тема работы:

<i>Влияния скорости взаимодействия капель охлаждающей жидкости с текстурированными поверхностями на условия растекания</i>
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06.03.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.12.22-10.01.23	<i>Аналитический обзор литературы</i>	
10.01.23-15.01.23	<i>Подготовка экспериментальной работы</i>	
15.01.23-30.01.23	<i>Планирование экспериментов</i>	
30.01.23-1.03.23	<i>Проведение экспериментов</i>	
1.03.23-1.04.23	<i>Обработка результатов экспериментов</i>	
1.04.23-06.06.23	<i>Написание основной части диплома</i>	
1.04.23-06.06.23	<i>Выполнение работ по разделам финансового менеджмента и социальной ответственности</i>	
1.04.23-06.06.23	<i>Заключение</i>	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Борисов Б.В.	д.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Бульба Е.Е.	к.т.н., доцент		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б92	Михеев Глеб Анатольевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 77 листов, 18 рисунков, 20 таблиц.

Ключевые слова: растекание, контактный диаметр, контактные углы, текстурированные поверхности, дистиллированная вода, высота падения.

Целью работы являлось определение влияния скорости взаимодействия капель охлаждающей жидкости с текстурированными поверхностями на условия растекания.

Для достижения поставленной цели было проведено экспериментальное исследование. В ходе исследования изучалось поведение капель дистиллированной воды при различных высотах сброса на поверхностях из различных материалов, таких как латунь и нержавеющая сталь.

Для проведения эксперимента использовались стандартные методы наблюдения и измерения. Помимо визуального наблюдения, применялись фото- и видеосъемка, а также методы анализа изображений и видеоматериалов.

В результате исследования были определены контактные углы, контактные диаметры капли от высоты падения на текстурированные поверхности. Также были исследованы факторы, влияющие на растекание капли жидкости на поверхность.

Данное исследование имеет широкий спектр применения в различных отраслях промышленности, связанных с использованием тепловой энергии. Оно может быть полезным при проектировании и улучшении систем охлаждения промышленного оборудования, а также в других областях применения.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Аббревиатура

КУ	Контактные углы, °;
КД	Контактный диаметр, мм;
ЛКУ	Левый контактный угол, °;
ПКУ	Правый контактный угол, °;

Номенклатура

We	Число Вебера,
Re	Число Рейнольдса.
Ra	Шероховатость
Pr	Число Прандтля

Смачиваемость — это способность жидкости прилипать к поверхности твердого тела и образовывать пленку на его поверхности. Чем лучше смачиваемость, тем проще растекание жидкости по поверхности.

Растекание — это процесс распространения жидкости на поверхности твердого тела или другой жидкой среды через полное смачивание.

Адгезия — это сила, которая удерживает жидкость на поверхности твердого тела, и чем сильнее адгезия, тем легче жидкость растекается.

Вязкость — это свойство жидкости, которое определяет ее способность течь и изменять свою форму под действием внешних сил. Чем выше вязкость, тем сложнее растекание жидкости.

Содержание

Введение.....	11
1 Анализ научных литературных источников.....	12
Заключение обзора литературы.....	22
2 Описание процессов динамики капли на текстурированную поверхность.....	24
3 Сборка и подготовка экспериментальной установки.....	28
4 Планирование эксперимента.....	29
4.1 Определение доверительных интервалов.....	29
4.2 Обработка поверхности материалов.....	29
4.3 Погрешности измерений.....	30
5 Экспериментальные исследования, направленные на определение процесса растекания капель жидкости на текстурированные поверхности.....	32
5.1 Методика проведения экспериментов.....	32
5.2 Алгоритм обработки экспериментов.....	33
6 Результаты.....	37
6.1 Определение динамических углов капли на текстурированных поверхностях.....	37
6.2 Определение максимального контактного диаметра капли дистиллированной воды.....	38
6.3 Определение растекания диаметра капли дистиллированной воды.....	39
6.4 Вывод по разделу.....	42
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	44
7.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	44
7.1.2 SWOT-анализ.....	45
7.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	48
7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	48
7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования.....	49
7.3 Бюджет научно-технического исследования.....	52
7.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования.....	52
7.3.2 Расчет амортизации специального оборудования.....	53
7.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	54
7.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	56
7.3.5 Накладные расходы.....	56
7.3.6 Бюджет НИР.....	57
7.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	57
7.5 Выводы по разделу.....	60

8 Социальная ответственность	63
Введение	63
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	63
8.2 Производственная безопасность	64
8.2.1 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник	65
8.2.2 Струи жидкости, воздействующие на организм работающего при соприкосновении с ним.....	66
8.2.3 Повышенный уровень электромагнитных и электростатических полей	67
8.2.4 Повышенный уровень шума.....	68
8.2.5 Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.....	68
8.2.6 Монотонность труда.....	70
8.3 Экологическая безопасность	70
8.3.1 Атмосфера	70
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71
Выводы по разделу	72
Заключение	74
Список использованной литературы.....	75

Введение

Капля жидкости, растекаясь по поверхности твердой подложки, представляет собой особый физический объект, форма и структура которого определяются составом жидкости, внешними условиями и свойствами самой подложки. Поверхностное натяжение определяет форму капли, смачивание влияет на скорость растекания, а вязкость и теплопроводность влияют на скорость диффузии и теплопередачи. Ионные связи могут влиять на способность капли к адгезии и смачиванию поверхности подложки. Действие силы тяжести и расплющивание капли приводят к тому, что она становится более плоской и круглой. Действие собственного поверхностного натяжения приводит к сжатию капли, а действие поверхностного натяжения на границе капля-твердая поверхность способствует деформации капли.

Для создания условий растекания капли жидкости на поверхности подложки необходимо совершить работу по разрушению молекулярной пленки воздуха и молекулярных связей, которые удерживают каплю на подложке. Этот процесс происходит из-за флуктуации энергии молекул и занимает некоторое время, поэтому капля растекается с определенной скоростью на поверхности. Поверхность жидкости обладает повышенной энергией из-за большого количества разорванных молекулярных связей на границе раздела фаз. Эти связи являются энергетически невыгодными и стремятся к замыканию друг на друга. Однако наличие адсорбированных пленок воздуха и поверхности подложки также снижает поверхностную энергию, что затрудняет растекание капли. Для создания условий растекания необходимо разрушить эти связи или молекулярную пленку воздуха. Работа, необходимая для этого, может быть совершена путем воздействия внешних факторов, таких как тепло, свет, электрические поля или механические воздействия.

Таким образом, растекание жидкости зависит от многих факторов, и чтобы добиться оптимального результата, необходимо учитывать все эти факторы при выборе жидкости и поверхности для ее нанесения.

1 Анализ научных литературных источников

[1] исследование было сосредоточено на ударе и распространении первоначально переохлажденных капель воды на твердой сухой стенке в основе которого лежат [2], [3]. Разработан воспроизводимый метод экспериментального исследования удара капель. Свойства материала таких капель сложны и неизвестны, что приводит к предположению моделирования о пластическом течении ударной смеси. Разработка модели «Roisman» сопровождалась и подтверждалась систематическими экспериментами, дающими подробную информацию о размерах капель во время и после удара. Возможности усовершенствованной модели фиксируют влияние степени переохлаждения и конечное значение остаточной высоты капли. Полученные пределы текучести суспензий ледяной воды различного состава могут помочь улучшить описание реологических свойств смесей ледяной воды, которые могут применяться к моделированию обледенения самолетов. В конечном счете, настоящие экспериментальные наблюдения в сочетании с прогностической моделью и количественными свойствами можно рассматривать как важный дополнительный элемент к существующим нормам обледенения, позволяющий проанализировать их на воздействие и обледенение переохлажденных капель.

Во [4] исследовано воздействие капель углеводородного топлива на гладкую поверхность нержавеющей стали, выдержанную при комнатной температуре, для описания динамики растекания капель после завершения первичного инерционного растекания. [5] лежит в основе этого исследования. Проведены эксперименты по удару капель топлива о поверхность нержавеющей стали в диапазоне числа Вебера (We) 27–914 с использованием четырех различных видов топлива: гептана, декана, Джет А-1 и дизельного топлива. Количественные измерения временного изменения диаметра расширяющихся ламелей рассматриваются из полученных изображений высокоскоростных видео с динамикой удара капли. Для капель топлива, падающих на поверхность из нержавеющей стали, находящиеся при

комнатной температуре, конечный коэффициент растекания всегда выше, чем максимальный коэффициент растекания. Из количественных экспериментальных данных видно, что капли топлива с низким содержанием числа Вебера демонстрируют значительное последующее растекание. Анализ закона мощности временного изменения после растекания ударяющихся капель топлива ($\beta \propto \tau^n$). Показатель закона мощности n зависит от We и значительно меньше наблюдаемого при растекании расположенных капель (с незначительной скоростью удара). Степень последующего растекания ударной капли, представленная в виде коэффициента последующего растекания, уменьшается с увеличением We .

В работе [6] была рассмотрена динамика удара асимметричной капли яйцевидной формы, основанная на моделировании объема жидкости, представленной в работе [7]. Форму разложили на асимметричную и эллиптическую, введя простую геометрическую модель. Высота отскока капель на гидрофобные поверхности и сверхгидрофобные поверхности уменьшилась на 55% и 59%. Форма капли влияет на величину отскока это можно проанализировать с помощью импульса, который показал, что нарушение симметрии горизонтального импульса при низкой асимметрии и высокой эллиптичности может привести к значительному снижению величины отскока. Переход отскока/осаждения может быть тесно связан с количественным анализом асимметрии импульса. Отличительные гидродинамические особенности асимметричной динамики могут дать представление о динамике удара, зависящей от формы, включая угол выравнивания и подавление отскока на сухих поверхностях. Асимметричный удар капель предполагает новый режим контроля осаждения капель в таких областях применения, как распыление в сельском хозяйстве, покраска и охлаждение стружки.

В [8] с помощью численного моделирования в рамках метода объема жидкости описано одновременное падение двух равных капель на твердую сухую стенку, температура которой выше начальной температуры капель и

выше температуры насыщения жидкости, эта статья базировалась на [8] и [9]. В исследовании учитывалось испарение, а испарение вблизи линии трехфазного контакта рассматривалось с использованием специальной подсеточной модели. Моделирование было выполнено для высоких чисел Рейнольдса и Вебера во время падения. Теоретическая модель, основанная на решениях подобия для гидродинамического пограничного слоя в текущей жидкости и для тепловых пограничных слоев в жидкости и в твердой стенке, была использована для прогнозирования скорости теплообмена между твердым телом и жидкостью после удара одиночного удара. падение или одновременное воздействие двух равных капель. Отличное взаимодействие между качественным экспериментом, предполагаемой теорией и численным моделированием. Количественное согласие хорошо показывает себе для $Pr \geq 5$. Обе модели предсказывают уменьшение теплового потока за счет взаимодействия и слиянии капель на твердой подложке. Результаты и методы, представленные в этой статье, могут быть использованы в будущем для оптимизации эффективности охлаждения распылением.

В [11] разработана теоретическая модель, следуя гидродинамическому подходу, согласующемуся с приближением Сивера-Берга, для прогноза динамики растекания вязкоупругой капли. В статье рассматривается упрощенная модель Фана-Тьена-Танне (sPTT) для представления реологии вязкоупругой капли. Мы оцениваем нашу теоретическую модель, сравнивая результаты, полученные с помощью аналитической методологии, с нашими экспериментальными результатами как для ньютоновских (кремниевая нефть), так и для вязкоупругих капель, имеющих разную степень вязкости. Эластичная природа вязкоупругих жидкостей приводит к неблагоприятному эффекту капиллярной динамики растекания и снижает скорость растекания капли. Для вязкоупругих капель меньшее сопротивление вязкости, обеспечиваемое более высоким временем релаксации, увеличивает рассеивание вязкости в объеме капли, что приводит к снижению способности капель к растеканию.

В [12] исследовании изучалось воздействие капель воды при комнатной

температуре на полированные, анодированные, подвергнутые лазерной абляции и покрытые поверхности, в основе исследования лежит [13] статья. Было изготовлено пять различных поверхностей, одна из которых была произведена с применением комбинации методов лазерной абляции и анодирования. Максимальный диаметр растекания и динамика растекания регистрировались с помощью высокоскоростной камеры при числах We в диапазоне 67–565. Эксперименты проводились при температурах поверхности 25 °С и 2 °С. Использование комбинации лазерной абляции и анодирования привело к получению статического контактного угла. Измерения при температуре поверхности 25 °С показали, что капли, ударяющиеся о комбинированную поверхность, имели более высокие максимальные значения коэффициента растекания по сравнению со значениями, полученными только с помощью лазерной абляции и анодированных поверхностей, и ниже, чем те, которые были определены на поверхности с покрытием. Сравнение измеренного максимального коэффициента расплывания с другими экспериментальными и математическими моделями из литературы показывает, что комбинированный (применяющий методы лазерной абляции и анодирования) может достигать меньшего максимального коэффициента растекания при снижении температуры поверхности подложки. Математические модели, найденные в литературе, показывают хорошее совпадение значений максимальных коэффициентов рассеяния, определенных на полированных, анодированных и подвергнутых лазерной абляции поверхностях. Тем не менее, максимальный коэффициент растекания на покрытой распылением и комбинированной поверхности больше, чем предсказано моделями. Сравнение с математической моделью показывает, что модели, найденные в литературе, в основном зависят от физических свойств жидкостей, таких как числа Вебера и Рейнольдса, а не от изменений температуры и шероховатости поверхности.

В [14] попадание брызг на холодные поверхности является критическим феноменом в процессе холодного пуска двигателей внутреннего сгорания в

сверххолодных условиях, также в [15] статье изучены процессы удара и замерзания капли воды на различных холодных поверхностях. В данной работе с использовалась высокоскоростная теневая съемка, также исследовалась характеристика разбрызгивания и растекания капель этанола на холодных поверхностях. Процесс разбрызгивания на холодных поверхностях оставался всплеском коронного разряда, но становился более жестким из-за большего количества вторичных капель и более быстрых. Сверхмалые вторичные капли наблюдались из-за раннего разрушения структуры короны. Кроме того, на процесс соударения с холодными поверхностями может влиять начальная форма капель; сплюснутая сферическая форма исходной капли подавляла образование и разрушение коронных структур. Пары этанола наблюдались в процессе падения капель с помощью параллельного источника света, что было обусловлено усиленным испарением из-за быстро растекающихся пленок. Испаряющийся пар будет формировать вихревую структуру над поверхностью, и эти вихревые структуры будут нарушены быстрыми вторичными каплями, когда произойдет всплеск. Характеристики растекания пленки исследовали количественно. Когда процесс растекания вошел в фазы релаксации и равновесия, пленка этанола на ультрахолодной поверхности продолжала медленно растягиваться, а не стягиваться. Учитывая продолжительность впрыска реальных брызг двигателя, максимальный коэффициент растекания на холодных поверхностях измерялся в момент, когда пленка на поверхности при комнатной температуре достигала своего максимального диаметра. Результаты показали, что β_{max} монотонно уменьшается с температурой поверхности, а β_{max} из ПММА (полиметилметакрилат) поверхностях была несколько выше, чем на алюминиевых поверхностях из-за более низкой теплопроводности ПММА. Также была создана полуэмпирическая модель для предсказания β_{max} .

В [16] с помощью системы трехмерного анализа движения исследованы межфазные явления удара капли магнитной жидкости о шероховатую поверхность в условиях перпендикулярных к поверхности магнитных

полей. Максимальный диаметр следа от удара уменьшается с приложенным магнитным полем, перпендикулярным поверхности, при более высоких значениях числа шероховатости. При более высоких значениях числа шероховатости нечеткое образование шипов на месте удара, оставленной каплями магнитной жидкости в перпендикулярном магнитном поле. Однако на картинах с меньшей шероховатостью имеется много шипов. Шероховатая поверхность приводит к сложным неустойчивостям радиального разбрызгивающегося потока. При более высоких плотностях магнитного потока некоторые жидкие пленки, такие как лепестки, формировались за счет связи между шероховатостью поверхности и приложенным магнитным полем.

В [17] воздействие капель раствора SDS на гладкий субстрат (габонское черное дерево) $R_q = 0,60$ мкм исследовали с помощью высокоскоростной камеры. Результаты показали отчетливое отсутствие отдачи среди падающих капель раствора SDS ($\gamma = 72,0-40$ мН/м) при достижении максимального диаметра смачивания. Однако снижение поверхностное натяжение соответствовало образованию более заметных пальцевидных выступов, более неравномерной морфологии пятен и увеличению степени их распространения по поверхности древесины. Это образование более заметных выступов и большой неравномерностью морфологии пятна могут быть связаны с более выраженным ростом неустойчивости Рэлея-Тейлора и Кельвина-Гельмгольца в процессе удара капли. Интересно, что аналогичное поведение наблюдалось среди сталкивающихся капель раствора воды и SDS при увеличении скорости удара (0,44–2,85 м/с); таким образом, указывая на то, что в целом поведение капель раствора SDS при ударе о древесину в значительной степени зависело от числа Вебера. Уменьшение поверхностного натяжения также приводило к увеличению критического числа Вебера (или уменьшению критической высоты удара). Данные также показали, что увеличение высоты удара сопровождалось увеличением количества вылетающих капель, а их характеристики (объем и скорость распространения) зависели времени после удара, тем самым указывая на то, что характеристики выпускаемых капель

зависели от энергетического баланса во время процесса удара капли. Кроме того, увеличение шероховатости поверхности полированной деревянной подложки вызывало отскок падающей капли воды, и характер этой фазы собирания зависел как от самой шероховатости поверхности, так и от высоты удара.

В [18] экспериментально наблюдали динамическое поведение капель, сталкивающихся с перегретыми гладкими поверхностями, в процессе написания этой статьи авторы основывались на [19], [20], [21] и [22]. Капли показали поведение в различных режимах кипения (контактное кипение, переходное кипение и пленочное кипение) с учетом температуры поверхности и физического состояния капель, включая тип жидкости (теплофизические свойства), скорость удара и размер (диаметр). Однако режимы кипения нельзя однозначно классифицировать с помощью температуры стенки и простого безразмерного параметра, такого как число Вебера. Для более четкого отображения режимов следует учитывать механистическую связь между динамикой капли и потоком испаряемого пара. Данные о времени пребывания капель в режиме пленочного кипения хорошо согласуются с классической теорией удара капли Рейли, в которой время пребывания не зависит от скорости капли, а зависит только от массы капли и поверхностного натяжения. Максимальная степень растекания ударяющихся капель может быть смоделирована на основе сохранения полной энергии капель, состоящей из кинетической, поверхностной и вязкой энергий диссипации. В качестве площади поверхности следует учитывать площадь боковой поверхности капли (особенно для капель с низким числом Вебера). Было представлено соотношение для температуры Лейденфроста, основанное на балансе между давлениями падающей капли и потоком испаряющегося пара. Для соответствующих масштабов времени и длины, и анализа экспериментальных данных толщина паровой пленки в состоянии Лейденфроста может быть масштабирована с помощью диаметра капли и степенной функции числа Вебера.

В [23] исследовании основное внимание уделялось динамике удара каплей о поверхности с разной смачиваемостью и разным наклоном. Обнаружено, что максимальный коэффициент растекания и время для супергидрофобных поверхностей уменьшаются с углом наклона, тогда как для гидрофильных поверхностей наблюдается обратная тенденция. Соответствующие тенденции могут быть объяснены их соответствующими энергетическими компонентами. В случае гидрофобных поверхностей все компоненты энергии уменьшаются с увеличением угла наклона. В случае гидрофильных поверхностей, по которым капли скользят после удара, необходимо учитывать тангенциальную кинетическую энергию. При моделировании механизмов показано, что безразмерная тангенциальная кинетическая энергия преобладает над энергией сцепления и гравитационным потенциалом и возрастает с увеличением угла наклона. Это объясняет тенденцию к уменьшению времени растекания с углом наклона, несмотря на возрастающий характер коэффициента растекания с увеличением угла. Исследована также зависимость вязкости и поверхностного натяжения от коэффициента растекания.

В [24] проведен ряд экспериментов при помощи математической модели соударений капли с твердой поверхностью, в первом из них были найдены характерные времена определяющие неравенства для чисел подобия, которые позволяли проводить априорную оценку вклада каждого физического фактора в процесс растекания. Оно позволяло предсказывать состояние капли после ее затвердевания при столкновении с частицей. На втором этапе исследования получено решение задач нестационарного сопряженного теплообмена в квазистационарном приближении идеального и вязкого растекания капли в окрестности критической точки в приближении малости чисел Pe . Полученное аналитическое решение позволяет прогнозировать температуру в критической точке с учетом вклада конвекции, что представляет принципиальный интерес при оптимизации режимов напыления и теплообмена. Так же была предложена физико-математическая модель удара

капли с частицей, заключающаяся в явном выделении двух стадий соударения: ударного взаимодействия и напорного растекания. Причем решение первой задачи служит начальным условием при решении второй.

В [25] моделирование и эксперименты проводятся для изучения динамики удара-замерзания переохлажденной капли воды на холодной поверхности, при этом в сравнение включается динамика удара капли комнатной температуры о поверхность комнатной температуры. Исследовано влияние числа Вебера, краевого угла и степени переохлаждения на коэффициент растекания и морфологию отскока и адгезии капель. Сделаны следующие выводы. Численная модель, учитывающая эффект переохлаждения в начальных условиях, может быть использована для моделирования поведения переохлажденной капли воды при ударе и замерзании на холодной поверхности. Как временной профиль капли, так и коэффициент растекания, полученные в результате моделирования, хорошо согласуются с экспериментальными наблюдениями. Максимальное отклонение максимального и стабильного коэффициента разброса между экспериментами и моделированием составляет 11,3%. Переохлажденная капля распространяется и втягивается медленнее, чем капля при комнатной температуре в процессе удара, и, таким образом, дает меньший максимальный коэффициент растекания и больший стабильный коэффициент растекания. Эти различия становятся более заметными с увеличением числа Вебера и степени переохлаждения, а также с уменьшением краевого угла.

Переохлажденная капля, ударяющаяся о гидрофобную поверхность комка, проявляет три различные морфологии: полный отскок, частичный отскок и полное прилипание, что указывает на конкуренцию между потоком жидкости и теплопередачей (фазовым переходом) в процессе удара-замораживания. Получена унифицированная морфологическая карта отскока и прилипания, коррелирующая с числом Вебера, степенью переохлаждения и краевым углом контакта для поведения при ударе-замерзании, которая обеспечивает универсальные пределы для полного отскока и прилипания.

В [26] работа посвящена экспериментальному исследованию перехода от растекания к разбрызгиванию капель нано жидкости, которые сталкиваются с гладкой поверхностью, это исследование базировалось на [27], [28] и [29]. Результаты представлены на нескольких графиках $We-Re$ для трех концентраций наночастиц $\phi=0.01\%$, $0,1\%$, и 1% масс. Был охвачен большой спектр чисел We и Re , основанные на диаметре капель, скорости удара и измеренных свойствах материала, таких как плотность, вязкость и поверхностное натяжение. Кроме того, обеспечивалась стабильность нано жидкости во время эксперимента посредством измерения мутности. Для образцов чистого водного глицерина увеличение вязкости способствует разбрызгиванию до критического значения Re , после чего дальнейшее увеличение снижает разбрызгивание. Аналогичная тенденция наблюдается и для нано жидкостей. На самом деле, нано жидкости резко снижают порог разбрызгивания для меньших размеров числа Re . Поскольку стабильность наночастиц потенциально может иметь большое влияние на разбрызгивание, для оценки концентрации частиц и мониторинга агломераций можно использовать другие методы, помимо определения мутности, такие как спектроскопия экстинкции света. Поскольку агломерации во многих системах наночастиц неизбежны из-за ван-дер-ваальсовых и других коллоидных взаимодействий между мелкими частицами, влияние агломерации следует проверить перед промышленным использованием в приложениях теплопередачи.

В [30] статье численно анализируется удар полой капли о плоскую сухую поверхность при высоком и атмосферном давлении кавитационного пузыря. Полая капля имеет очевидное растекание и центральную встречную струю после удара. Чем больше скорость удара, тем очевиднее явление центральной встречной струи. Выявлен также механизм центральной встречной струи в полой капле. Разность давлений внутри полой капли является основной причиной, приводящей к растеканию капли и формированию центральной встречной струи. Полая капля высокого

кавитационного давления расширяется перед ударом о поверхность, и диаметр полой капли постепенно увеличивается. Высокая скорость удара приводит к большему расширению. Кроме того, полая капля высокого кавитационного давления имеет меньший коэффициент растекания и средний пристеночный тепловой поток, а безразмерная высота встречной струи у нее больше, чем полой капли атмосферного кавитационного давления. При ударе сплошной плотной капли встречная струя не наблюдается. По сравнению со сплошной плотной каплей полая капля имеет меньший коэффициент растекания и средний тепловой поток стенки.

Заключение обзора литературы

В результате аналитического обзора было выявлено, что исследование влияния скорости взаимодействия капель охлаждающей жидкости на текстурированные поверхности на условия растекания является актуальным в связи с развитием технологий охлаждения и постоянно растущими требованиями к эффективности охлаждения различных механизмов и устройств. Одним из основных способов охлаждения является использование охлаждающих жидкостей, которые наносятся на поверхность охлаждаемого объекта. Однако, при этом возникает проблема растекания жидкости, что может привести к недостаточному охлаждению и повреждению устройства.

Текстурирование поверхностей является одним из наиболее эффективных методов улучшения теплообмена между поверхностью и каплями охлаждающей жидкости, что позволяет уменьшить температуру поверхности и снизить уровень тепловыделения. Однако, скорость взаимодействия капель с поверхностью может существенно влиять на условия растекания и эффективность теплообмена.

В связи с этим, исследование влияния скорости взаимодействия капель на растекание и теплообмен на текстурированных поверхностях является важной задачей для разработки новых технологий и улучшения существующих систем охлаждения. Это позволит повысить эффективность охлаждения и продлить срок службы оборудования, что имеет большое

значение для различных отраслей промышленности.

Цель работы

Цель данной работы – установить в результате экспериментальных исследований влияния скорости взаимодействия капель охлаждающей жидкости с текстурированными поверхностями на условия растекания при различных высотах падения капли.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Анализ современных мировых литературных источников;
2. Изучение влияния высоты падения капли на условия растекания;
3. Сборка и подготовка экспериментальной установки;
4. Планирование эксперимента;
5. Проведение экспериментальных исследований, направленных на определение растекания капли жидкости на твердой поверхности;
6. Проведение статистической обработки и анализа результатов, чтобы определить влияние скорости взаимодействия охлаждающей капли на условие растекания;
7. Формулирование выводов.

2 Описание процессов динамики капли на текстурированную поверхность

Капли на поверхности подложки могут иметь различные формы, размеры и конфигурации в зависимости от условий окружающей среды, таких как температура и влажность. Текстурированные поверхности, такие как шероховатые или структурированные, могут влиять на динамику капли и ее поведение на поверхности.

Одним из основных факторов, влияющих на динамику капли, является поверхностное натяжение. Оно определяет форму капли и ее устойчивость. На шероховатых поверхностях поверхностное натяжение может быть увеличено из-за наличия микронеровностей, что может привести к увеличению устойчивости капли. С другой стороны, структурированные поверхности могут создавать дополнительные препятствия для движения капли, что может снизить ее устойчивость и привести к ее деформации или даже к утечке. Кроме того, движение капли также зависит от ее размера и формы. Большие капли могут иметь большую инерцию и двигаться медленнее, чем маленькие капли. Также форма капли может влиять на ее устойчивость и способность удерживать жидкость на поверхности. Например, капли круглой формы имеют меньшую вероятность утечки, чем капли неправильной формы. Текстурированные подложки также могут влиять на скорость испарения жидкости с поверхности. Шероховатые поверхности могут увеличить площадь поверхности, на которой происходит испарение, что может ускорить процесс испарения. Структурированные поверхности, напротив, могут замедлить процесс испарения, так как они могут создавать препятствия для испарения жидкости.

Процессы динамики капли зависят от многих факторов, включая текстуру поверхности, размер и форму капли, поверхностное натяжение и скорость испарения жидкости. Правильное понимание этих факторов может помочь в разработке эффективных методов управления каплями на текстурированных поверхностях и оптимизации процессов, связанных с

каплями, например, при печати на текстиле или в производстве электронных устройств.

Текстура поверхности может также влиять на процессы массотеплопереноса, такие как конвекция и излучение. Например, если текстура поверхности является шероховатой, то это может увеличить площадь поверхности, доступной для теплообмена с окружающей средой. Если текстура поверхности гладкая, то это может уменьшить площадь поверхности и, следовательно, уменьшить эффективность теплообмена.

В гидродинамике, скорость взаимодействия капель охлаждающей жидкости с текстурой поверхности может влиять на динамику потока жидкости. Текстура поверхности может изменять форму и размеры капель, а также их траекторию движения внутри потока. Это может привести к изменению характеристик потока, таких как скорость и давление, что может повлиять на эффективность охлаждения системы.

Таким образом, скорость взаимодействия капель охлаждающей жидкости с текстурированными поверхностями имеет важное значение для понимания условий растекания, процессов массотеплопереноса и гидродинамики в системах охлаждения.

Информация о скорости взаимодействия капель воды с текстурированными поверхностями может быть полезна для разработки различных систем, таких как:

1. Системы очистки и фильтрации воды. Текстурированные поверхности могут использоваться для создания фильтров, которые способны задерживать различные загрязнители в воде, такие как микробы, вирусы и другие частицы. Скорость взаимодействия капель воды и текстурированных поверхностей может определять эффективность фильтрации и время, необходимое для очистки воды.

2. Системы пожаротушения. Текстурированные поверхности также могут использоваться в системах пожаротушения для создания барьера между огнем и людьми или другими материалами. Скорость взаимодействия капель

воды на текстурированных поверхностях может влиять на эффективность тушения пожара и время реакции системы.

3. Системы охлаждения. Текстурированные поверхности используются в системах охлаждения для создания эффективного теплообменника между жидкостью и воздухом. Скорость взаимодействия капель воды может влиять на теплопередачу и эффективность системы.

4. Системы управления жидкостями. Текстурированные поверхности можно использовать в системах управления жидкостями, например, в капельных устройствах для полива растений. Скорость взаимодействия капель воды определяет расход жидкости и эффективность полива.

5. Системы защиты от коррозии. Текстурированные поверхности часто используются в системах защиты от коррозии для создания защитного слоя на металлических поверхностях. Скорость взаимодействия капель воды влияет на толщину и качество защитного слоя.

Текстурированные поверхности могут быть разделены на несколько групп в зависимости от характеристик растекания:

1. Текстурированная поверхность с низкой адгезией. Это поверхность, которая имеет низкую адгезию к жидкости, что позволяет ей легко растекаться по поверхности. Примеры таких поверхностей включают в себя гладкие поверхности, такие как стекло или пластик, а также пористые поверхности, такие как бумага или ткань.

2. Текстурированная поверхность со средней адгезией. Эта поверхность имеет среднюю адгезию к жидкости и может быть более сложной для управления растеканием. Примеры таких поверхностей могут включать в себя поверхности с микро- или макро-текстурами, такие как шероховатые поверхности или поверхности с различными формами.

3. Текстурированная поверхность с высокой адгезией. Эти поверхности имеют высокую адгезию к жидкости и могут быть очень сложными для управления растеканием, особенно если жидкость находится под высоким давлением. Примеры таких поверхностей включают поверхности с сильным

текстурированием, такие как гравированные или фрезерованные поверхности.

Каждая из этих групп текстурированных поверхностей имеет свои особенности, которые следует учитывать при проектировании и использовании.

3 Сборка и подготовка экспериментальной установки

Для эксперимента нам потребуется камера модели Evercam 1000-4-M с частотой записи 1000 кадров в секунду и объектив Canon EF 200 mm f/2.8L II USM, которые будут использоваться для записи видео в режиме реального времени, чтобы отслеживать процесс растекания капель охлаждающей жидкости на текстурированных поверхностях. Персональный компьютер используется для управления камерой и записи видео.

Также в установку должны входить опоры для установки различных текстурированных поверхностей. Специальный дозатор (Lipipet Stepper, ThermoScientific) капли должен быть расположен над поверхностью с определенной высотой.

Светодиодный монохроматический прожектор используется для освещения поверхности, что позволяет лучше наблюдать за процессом растекания капель. Он также может использоваться для создания различных эффектов, таких как изменение цвета или яркости света, что может помочь в проведении более точных экспериментов.

Таким образом, установка для проведения экспериментов по данной теме позволяет проводить точные и воспроизводимые эксперименты, а также получать результаты, которые могут быть использованы для улучшения работы охлаждающих систем и других устройств.

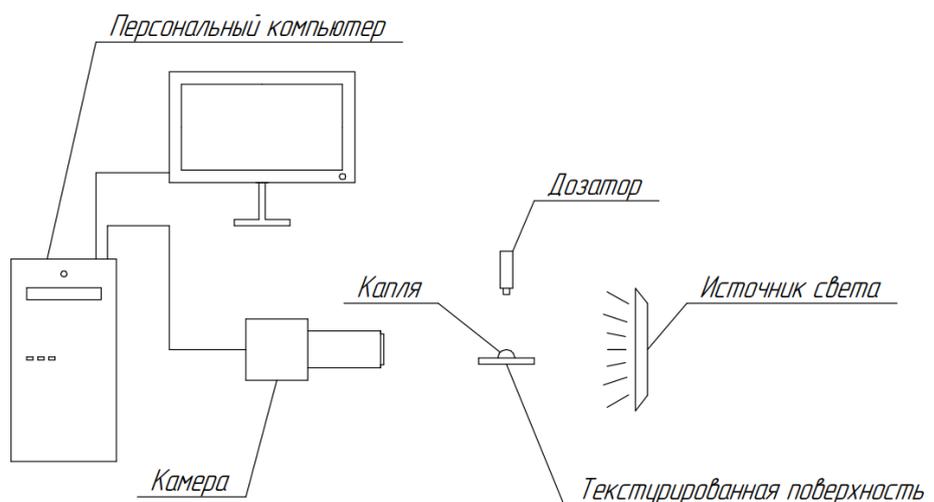


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки.

4 Планирование эксперимента

4.1 Определение доверительных интервалов

Доверительный интервал — это диапазон значений, в котором с определенной вероятностью находится истинное значение измеряемой величины. Другими словами, доверительный интервал представляет собой интервал, в пределах которого находится значение измеряемого параметра с заданной вероятностью. Доверительный интервал используется в статистических исследованиях для оценки точности измерений и прогнозирования результатов. Он позволяет определить, насколько точно мы можем оценить значения измеряемых параметров на основе выборки данных.

Для расчета доверительного интервала необходимо знать:

1. Среднее арифметическое значение результатов измерений:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i;$$

2. Среднеквадратичные отклонения серии измерений:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}};$$

3. Доверительный интервал:

$$\Delta x = t_{(n,\alpha)} \cdot S;$$

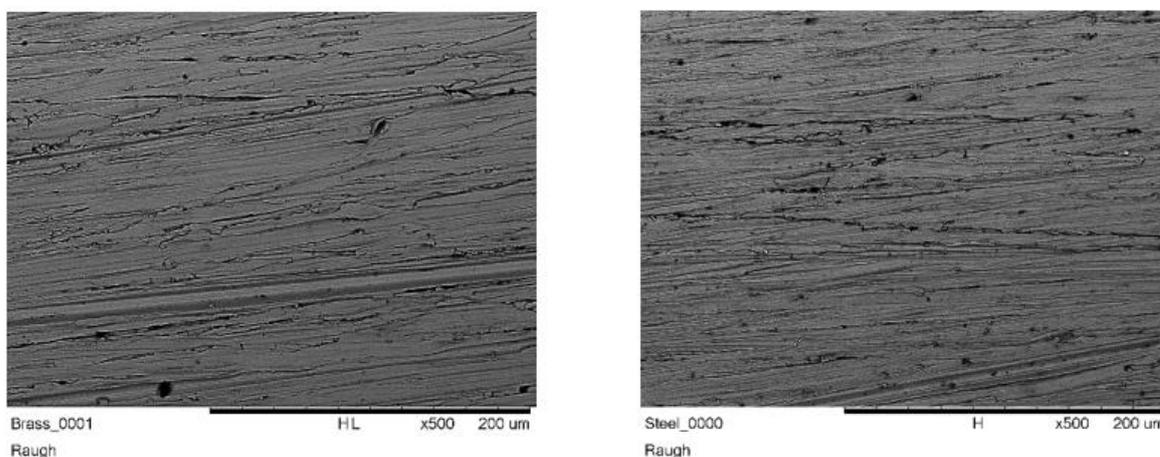
где $t_{(n,\alpha)}$ — коэффициент Стьюдента, примем доверительную вероятность α равную 0,95.

4.2 Обработка поверхности материалов

Для проведения эксперимента нам потребуются материалы с различными текстурами поверхности. В качестве материалов были выбраны нержавеющая сталь 12X18H10T (C 0,12, Si 0,8, Mn 2, Ni 9-11, S 0,02, P 0,035, Cr 17-19, Cu 0,3, Ti 0,4-1, Fe 67 мас. %) и латунь ЛС 59-1 (Pb 57-60, Zn 37,35-42,2, Fe 0,5, P 0,8-1,9, P 0,01, Sb 0,005, Bi 0,003 мас. %).

Перед тем, как начать эксперименты, подложки были отполированы с

помощью специальных дисков. Размер образцов подложки составлял 30мм x 50мм. Для того чтобы нанести текстуру на поверхность латуни и нержавеющей стали, образцы подложек обрабатывались шлифовальным станком для нанесения перпендикулярных и параллельных царапин, используя диски из нетканого материала, пропитанные глиноземом. Глинозем является абразивным материалом, который использовался для удаления частиц с поверхности подложек. Чтобы удалить с поверхности подложек частицы абразивов и органических веществ, необходимо провести процедуру очистки в ультразвуковой ванне ОДА Сервис 0,7 л ODA-M07.



а)

б)

Рисунок 2 – Фотоизображения микроструктуры поверхностей подложек:

а – текстурированная нержавеющая сталь; б – текстурированная латунь.

4.3 Погрешности измерений

Чтобы получить точные данные, нужно учитывать погрешности измерительных приборов и их влияние на результаты измерения. Необходимо проводить повторные замеры и учитывать статистическую ошибку, которая зависит от различных факторов, таких как выборка, метод измерения и другие. Для получения точных данных нужно использовать надежные приборы, методы измерения и проводить контрольные замеры, чтобы учесть все возможные факторы.

Таблица 1 – Погрешности приборов

Прибор	Погрешность
Дозатор	0,1 мкл
Камера	$\leq 4 \%$

5 Экспериментальные исследования, направленные на определение процесса растекания капель жидкости на текстурированные поверхности

5.1 Методика проведения экспериментов

Для проведения опытов использовался теневой метод (рис.3.), который позволяет получить точные измерения диаметра капли, контактных углов и контактного диаметра капли. При помощи дозатора на текстурированную поверхность сбрасывались капли дистиллированной воды объемом 6 ± 1 мкл. Расстояние между иглой дозатора и подложкой изменялось от 130 до 290 миллиметров с шагом 80 миллиметров при помощи специального штатива. Таким образом, на полученных изображениях видна «тень» капли (рис.4.).

Теневой метод является важным инструментом для исследования различных объектов и явлений в науке и других областях. Он позволяет ученым получать точные и достоверные данные о свойствах объектов и явлений, что является необходимым для прогресса в науке и технологии.

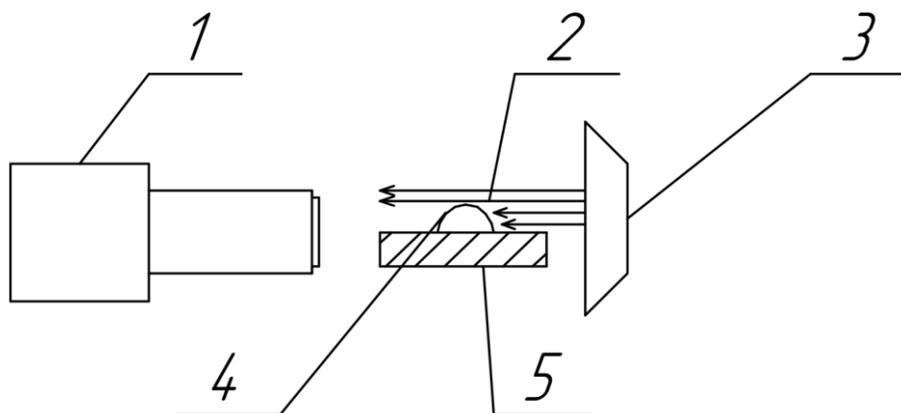


Рисунок 3 – Схема теневой методики;

1-высокоскоростная камера; 2- свет, параллельный текстурированной поверхности; 3-источник света; 4-капля; 5- текстурированная поверхность.



Рисунок 4 – Схема теневого изображения капли.



Рисунок 5 – Пример тневых изображений капли на поверхности:

а – 0 с., б – 0,04 с., в – 0,09 с.

5.2 Алгоритм обработки экспериментов

Для обработки экспериментов потребуется специальная программа XnView, разработанная компанией XnSoft (Франция). Эта программа имеет широкий спектр возможностей, позволяет проводить различные операции с изображениями, такие как изменение цветовой палитры, изменение размера, обрезка, и т.д.

С помощью программы XnView обрабатываем изображение капли, для это загружаем в программу выбранный файл. Далее замеряем контактный диаметр (рис. 6), обрезаем изображение (рис. 7) и преобразуем в 256 оттенков серого (рис. 8).

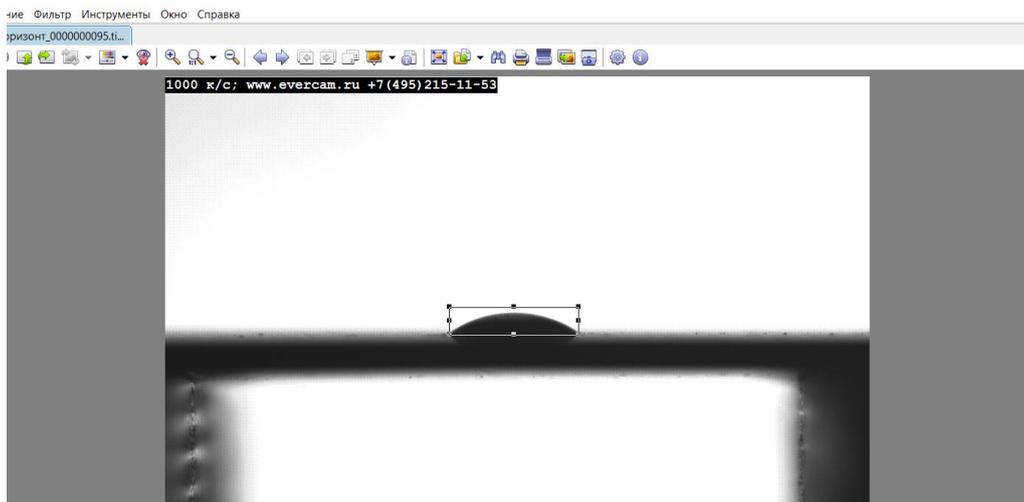


Рисунок 6 – Пример определение контактного диаметра.

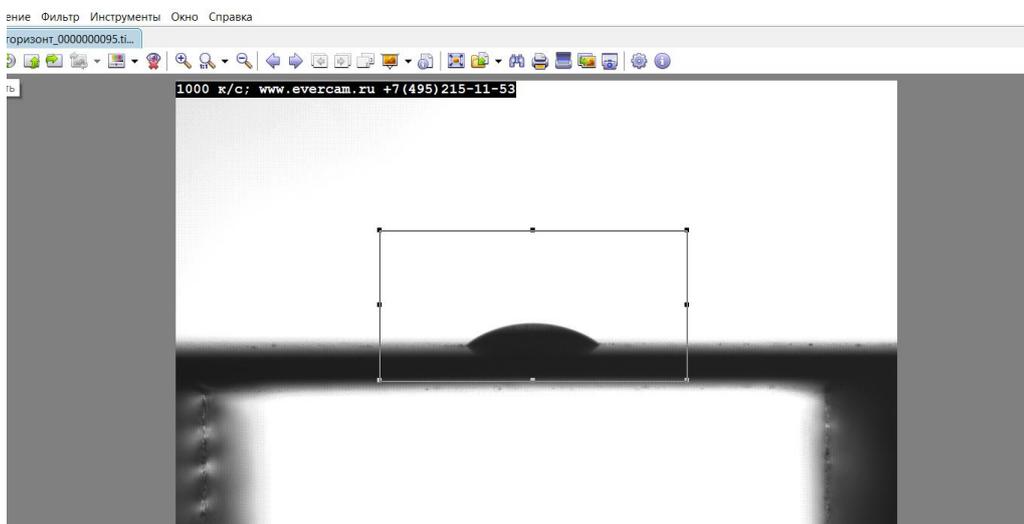


Рисунок 7 – Обрезка изображения.

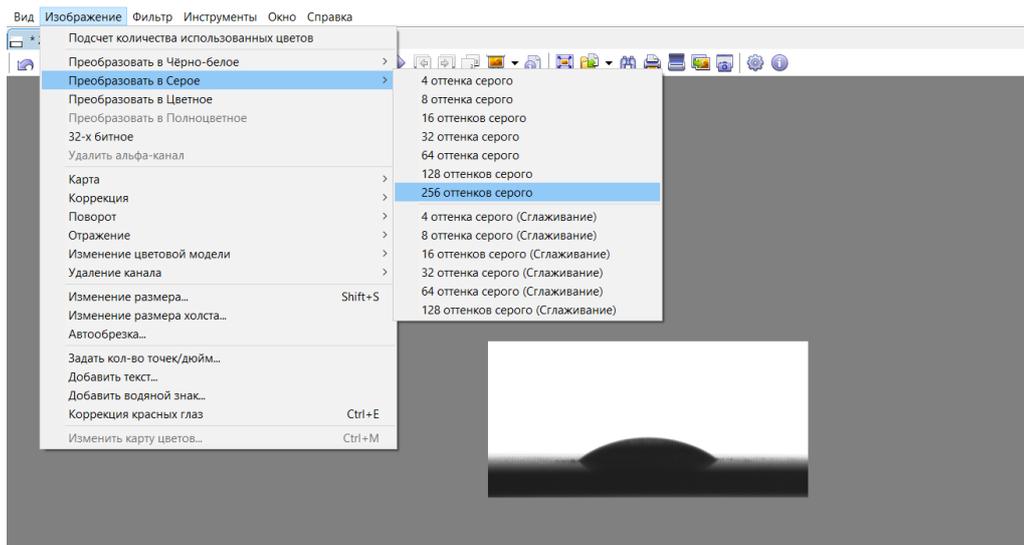


Рисунок 8 – Преобразование в 256 оттенков серого.

После преобразование изображения, загружаем обработанный файл в

формате bmp (Bitmap windows) в программу Drop Shape Analysis (рис. 9), разработанная компанией Kruss (Германия). Далее нажав на область изображения правой кнопкой мыши, выбираем «Baseline Type, Manual with Line fitting» настраиваем линии выборки. Обработываем с помощью «Tangent method-1» (рис.11,12) и в результате получаем поле «Result Window», где получаем контактные углы капли.

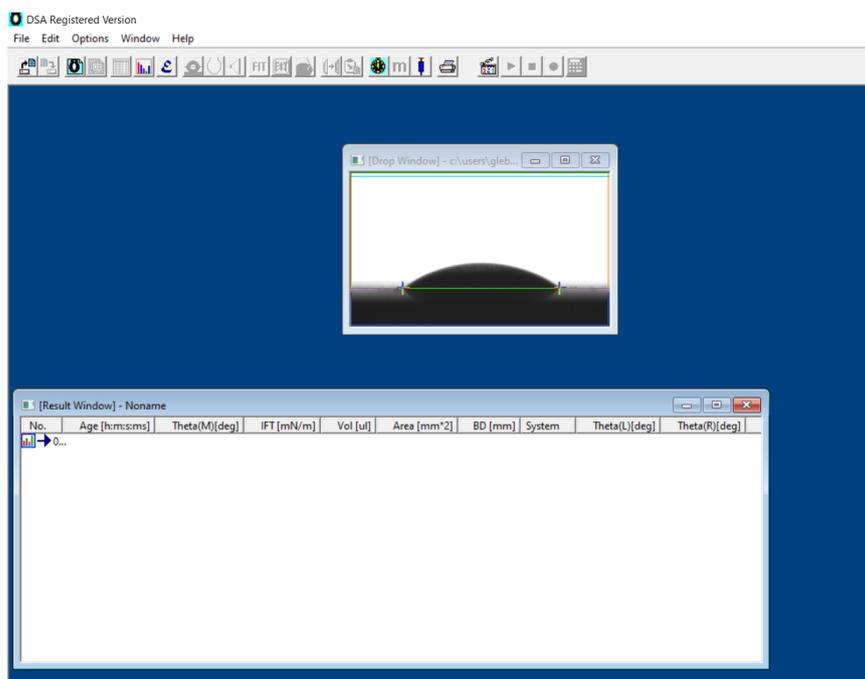


Рисунок 9 – Интерфейс программы DSA.

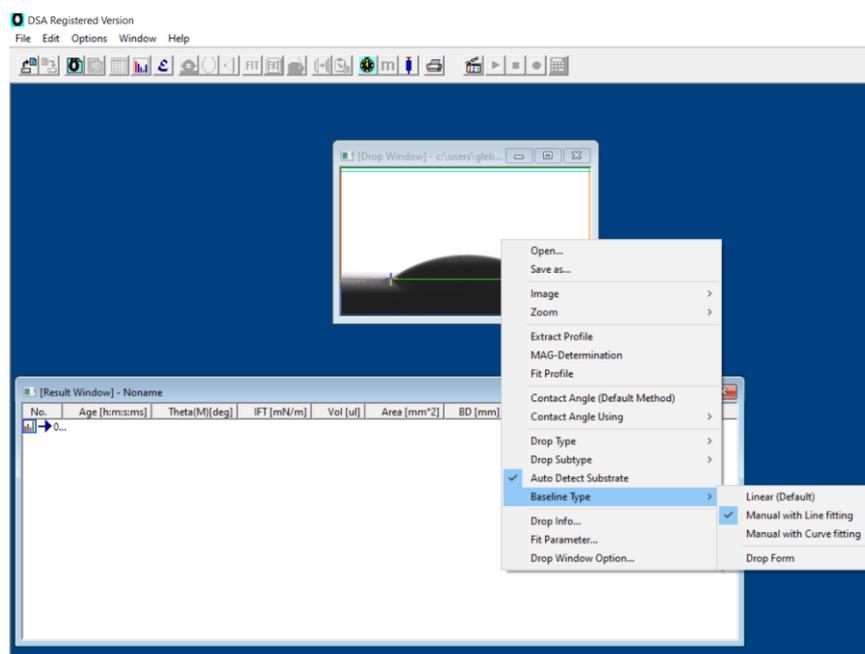


Рисунок 10 – Настройка линии выборки.

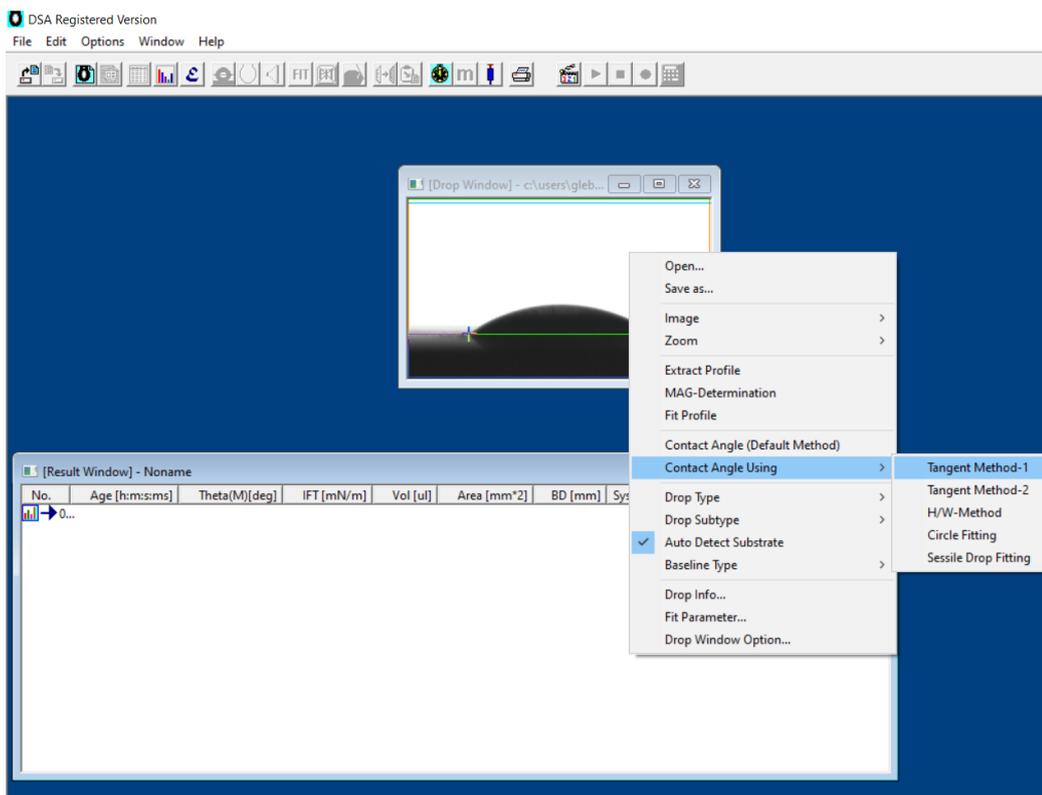


Рисунок 11 – Обработка «Tangent method-1».

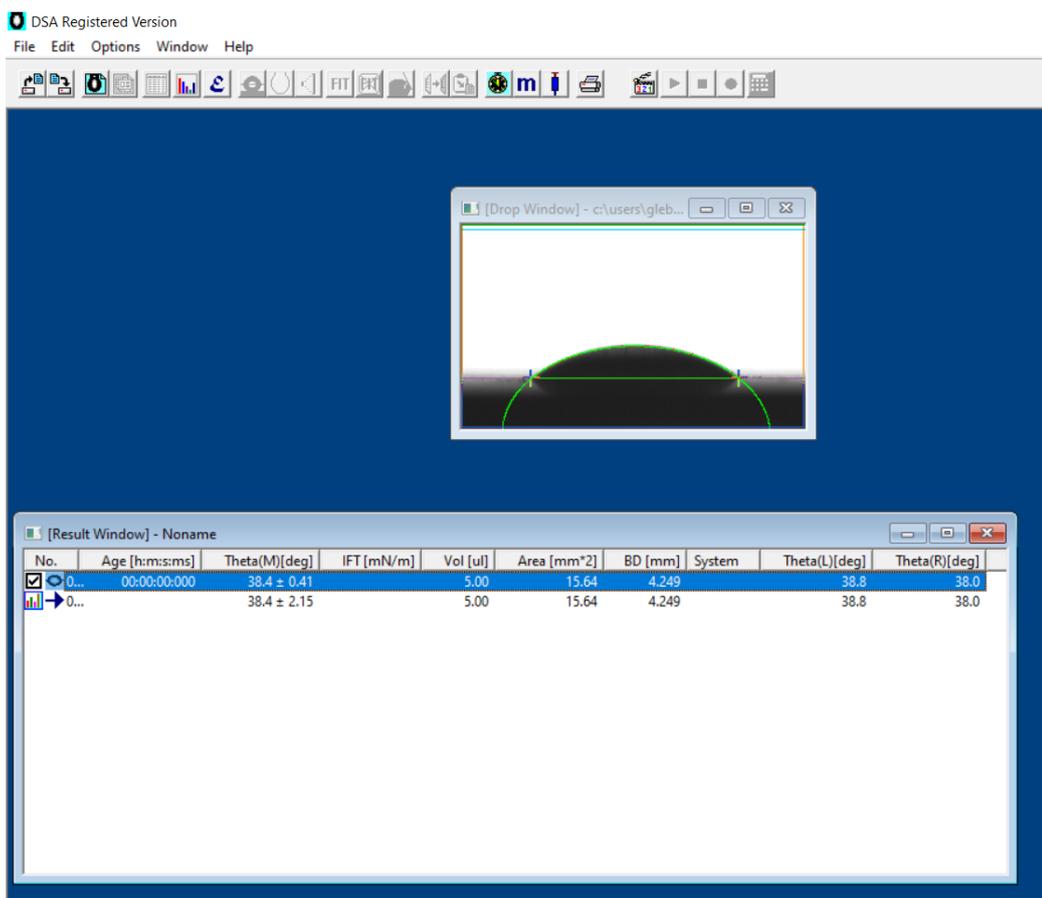


Рисунок 12 – Обработка «Tangent method-1».

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Обучающийся:

Группа	ФИО
5Б92	Михеев Глеб Анатольевич

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 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	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды квнеб = 0,3.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Потенциальные потребители результатов исследования; 2. Анализ конкурентных технических решений; 3. SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	1. Структура работ в рамках научного исследования; 2. Разработка графика проведения научного исследования;
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	1. Расчет бюджетной стоимости
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1. Интегральный финансовый показатель; 2. Интегральный показатель ресурсоэффективности; 3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта 4. Бюджет проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2023
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	К т н доцент		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б92	Михеев Глеб Анатольевич		

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель в данной выпускной квалификационной работе определение влияния скорости взаимодействия капель охлаждающей жидкости с текстурированными поверхностями на условие растекания.

7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

7.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Исследование рынка на наличие конкурентных технических решений необходимо для оценки сравнительной эффективности разработки, также это позволяет повысить ресурсоэффективность текущего проекта и сделать его более привлекательным для заказчика.

В ходе исследования была рассмотрена одна конкурирующая разработка о растекании капель на текстурированных поверхностях:

- 1) Как капли, попав на твердую поверхность, растекаются по ней;

Детальный анализ необходим, т.к. каждый тип покрытия имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 2 показано сравнение разработок конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 2 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Актуальность исследования	0,1	5	3	0,5	0,5
2. Трещиностойкость	0,14	5	2	0,7	0,7
3. Ударопрочность	0,18	4	3	0,72	0,72
4. Стабильность соединения с подложкой	0,14	4	4	0,56	0,56
5. Простота изготовления	0,05	3	5	0,15	0,15
6. Эффективность работы	0,05	5	5	0,25	0,25
7. Безопасность	0,08	4	4	0,32	0,32
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Цена сырья	0,12	4	5	0,48	0,48
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	3	0,24	0,24
3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,08	5	4	0,4	0,4
Итого	1	43	38	4,29	4,32

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_j = 4,29$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_j – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

7.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ – это универсальная методика изучения конкурентоспособности разработки с комплексной оценкой внешней и

внутренней среды проекта. Она позволяет детально оценить сильные и слабые стороны проекта, а также проблемы, угрожающие жизнеспособности проекта, и возможности по его развитию на рынке. Такой анализ проводится в три этапа [10].

На первом этапе выявляются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности при его реализации и угрозы, с которыми может встретиться разработчик проекта. Матрица SWOT-анализа приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Низкая цена исходного сырья.	Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.
С2. Простота обработки.	Сл2. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.
С3. Быстрое время подготовки образца для проведения экспериментов.	Сл3. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
Возможности	Угрозы
В1. Использование оборудования высокотехнологических устройств.	У1. Повышение цен на необходимые материалы и оборудование.
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Внедрение технологии в промышленной теплотехнике.	

На втором этапе анализа выявляются соответствия между внешними (возможностями и угрозами) и внутренними (сильными и слабыми сторонами) факторами. Интерактивная матрица проекта приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Соответствия между внешними (возможностями и угрозами) и внутренними (сильными и слабыми сторонами) факторами

Сильные стороны проекта				
Возможности		С1	С2	С3
	В1	+	-	-
	В2	-	-	-
	В3	-	-	-
Сильные стороны проекта				
Угрозы		С1	С2	С3
	У1	+	-	-
	У2	-	-	-
Слабые стороны проекта				
Возможности		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	-	-	-
	В2	+	+	-

Продолжение таблицы 4

	В3	-	-	-
Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	-	-
	У2	-	-	-

На третьем этапе результаты анализа сводятся в итоговую таблицу. Итоговая таблица SWOT-анализа приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Низкие цены на материалы. С2. Проста обработки. С3. Быстрое время подготовки образца для проведения экспериментов.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Увеличение стоимости сборки. Сл2. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований. Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.</p>
<p>Возможности В1. Использование высокотехнологических устройств. В2. Появление потенциального спроса на новые разработки. В3. Внедрение технологии в промышленной теплотехнике.</p>	<p>Направления развития В1С1. Комплектующие материалы для исследовательской работы можно найти по низким ценам.</p>	<p>Сдерживающие факторы В2Сл1Сл2. Высокий спрос на оборудование может стать преградой для начала исследований, т.к. некоторые из оборудования дорогостоящие.</p>
<p>Угрозы У1. Повышение цен на необходимые материалы и оборудование. У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.</p>	<p>Угрозы развития У1С1. Возможность поднятия цен на необходимые материалы могут сильно повлиять на проведение экспериментов</p>	<p>Уязвимости У2Сл1. Из-за нестабильных цен на оборудование и материалы работа может быть материально затратной.</p>

По результатам SWOT-анализа можно сделать вывод, что проектируемая ГПА имеет высокую перспективу развития на рынке, благодаря своим техническим преимуществам и развитию газовой отрасли в мире. Основной угрозой для развития является конкуренция с крупными зарубежными

компаниями. В итоге для ГПА-32 имеет высокие шансы стать преобладающим решением для российских компрессорных станций.

7.2 Планирование научно-исследовательских работ

7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения работ	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель

Продолжение таблицы 6

Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер
--	----	-----------------------------------	---------

7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5};$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i};$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} ;$$

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

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

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 ;$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году (2023 год).

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожид}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	3	-	2,4	-	2,4	4
2. Календарное планирование выполнения работ	1	4	3	4	1,8	4	3,8	6
3. Обзор научной литературы	-	7	-	10	-	8,2	8,2	12
4. Выбор методов исследования	-	4	-	5	-	4,4	4,4	6

5. Планирование эксперимента	2	5	5	8	3,2	6,2	6,3	9
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	14	-	18	-	15,6	15,6	23
8. Обработка полученных данных	-	9	-	16	-	11,8	11,8	17
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	5	6	3,2	4,2	5,3	8
10. Составление пояснительной записки	-	9	-	11	-	9,8	9,8	14
Итого:	7	60	16	85	10,6	70	73,4	108

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта (табл. 8).

Таблица 8 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп 1	4	█												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп 1 Исп 2	6	█												
3	Обзор научной литературы	Исп 2	12		█											
4	Выбор методов исследования	Исп 2	6			█										
5	Планирование эксперимента	Исп 1 Исп 2	9				█									
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп 2	9					█								
7	Проведение эксперимента	Исп 2	23							█						
8	Обработка полученных данных	Исп 2	17										█			
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп 1	8													█

№	Вид работ	Исп	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		Исп 2													
1 0	Составление пояснительной записки	Исп 2	14												

Примечание:

 – Исп. 1 (научный руководитель),  – Исп. 2 (инженер)

7.3 Бюджет научно-технического исследования

В данном подразделе производится анализ бюджета научного исследования. Это позволяет оценить рентабельность проекта в целом и определить его выгодность для потребителя. Сюда должны быть включены все виды затрат, которые появляются в процессе выполнения проекта. А именно [10]:

- материальные затраты научного исследования;
- амортизация специального оборудования;
- основная и дополнительная заработные платы исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы научного исследования.

7.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Расчет материальных затрат представляет собой стоимость материалов, которые были использованы в процессе выполнения проекта.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i N_{расхi};$$

где k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;

m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт.);

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к

использованию при выполнении научного исследования (шт.).

При выполнении проекта основные затраты приходились на покупку материалов для проведения экспериментальных работ. Материальные затраты проекта приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
1. Нержавеющая сталь	Шт.	3	1200	3600
2. Дозатор	Шт.	1	5400	5400
4. Вода (дист.)	Шт.	1	230	230
5. Проектор	Шт.	1	1200	1200
6. Штатив	Шт	1	500	500
Итого				10930
Коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы				15%
Материальные затраты с учетом транспортно-заготовительных расходов				11470

С учетом транспортно-заготовительных расходов материальные затраты составили 11470 рублей.

7.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений. При выполнении научно-исследовательского работы использовались высокоскоростная камера марки Evercam, ноутбук марки ASUS и др. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 2 года. Расчет амортизации оборудования необходим для определения суммы отчислений на ремонт или замену оборудования. Общие затраты на оборудование представлены в таблице 10.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n};$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m;$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 10 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования,	Время использования, мес.	H_A , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Видеокамера Evercam 1000-32-с	1	10	0,12	10	4 410 000	48510
2	Ноутбук ASUS	1	15	0,16	6	93 450	747,6
3	Комплекс осветительного оборудования	1	10	0,12	10	1200	13,2
Итого:						49270,8 руб.	

7.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p;$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 7).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{49725 \cdot 10,3}{246} = 2082 \text{ руб.};$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_0 –

действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{он}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{29250 \cdot 11,2}{213} = 1538,02 \text{ руб.};$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 25500 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 49725 \text{ руб.};$$

– для инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 15000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 29250 \text{ руб.};$$

где $Z_{\text{мс}}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 11 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{\text{мс}}$, руб	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{он}}$, руб	$T_{\text{р}}$, раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб
Руководитель	25500	0,3	0,2	1,3	49725	2082	10,6	22069
Инженер	1500	0,3	0,2	1,3	29250	1538,02	70	107661
Итого:								129730

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 22069 = 3310,35 \text{ руб.};$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 105354,4 = 16149,15 \text{ руб.};$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15)

7.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (22069 + 3310,35) = 7613,8 \text{ руб.};$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (107661 + 16149,15) = 37173 \text{ руб.};$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

7.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 13 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
49270,8	11471	129730	19459,5	44786,8	254718,1

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр};$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 16

7.3.6 Бюджет НИР

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Определение зацепления капли на поверхности нержавеющей стали» по форме, приведенной в таблице 14. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 14 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	
1	Материальные затраты НИР	11471	10531	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	49270,8	49275,8	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	129730	133461,4	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	19459,5	20019,21	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	44786,8	46044,17	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	40755	53053,4	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		295473	312384,95	-

7.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и

ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

1) Как капли прилипают к твердых поверхностям;

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}};$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 295473$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 312384,95$ руб,

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{295473}{312384,95} = 0,94;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{312384,95}{312384,95} = 1;$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по двум вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (табл. 15).

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2
1. Безопасность при использовании установки	0,16	4	3
2. Стабильность работы	0,4	4	4
3. Технические характеристики	0,3	5	3
4. Механические свойства	0,5	4	3
5. Материалоёмкость	0,17	5	3
ИТОГО	1,53	6,6	5

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,16 \cdot 4 + 0,4 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,5 \cdot 4 + 0,17 \cdot 5 = 6,6;$$

$$I_{p2} = 0,16 \cdot 3 + 0,4 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,5 \cdot 3 + 0,17 \cdot 3 = 5;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}};$$

$$I_{исп.1} = \frac{6,6}{0,98} = 6,7; \quad I_{исп.2} = \frac{5}{1} = 5;$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (табл. 16).

Таблица 16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	6,6	5
3	Интегральный показатель эффективности	6,7	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых

вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентом.

7.5 Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 102 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 98 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 20 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 295473 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,94, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 6,6, по сравнению с 5;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 6,7, по сравнению с 5, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.