

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Подразделение: Инженерная школа энергетики
Отделение: НОЦ И. Н. Бутакова
Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование процесса обледенения поверхности испарителя теплонасосной установки при её использовании в холодное время года
УДК 621.577.048-408:620.192.422

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б5Б	Бурцев В.В.		

Руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Максимов В.И.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.01 Теплотехника и теплоэнергетика	Антонова А.М.	К.Т.Н.		

Томск – 2019 г.

**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>	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач.
P3	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни, непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности в широком (в том числе междисциплинарном) контексте в комплексной инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач комплексного инженерного анализа с использованием базовых и специальных знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять комплексные инженерные проекты с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом нормативных

	документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить комплексные 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 базовых и специальных знаний и современных 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 на основе АСУТП; 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.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Подразделение: Инженерная школа энергетики
 Отделение: НОЦ И. Н. Бутакова
 Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

УТВЕРЖДАЮ:
 руководителем НОЦ И.Н. Бутакова

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Б5Б	Бурцев Всеволод Валерьевич

Тема работы:

Исследование процесса обледенения поверхности испарителя теплонасосной установки при её использовании в холодное время года
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(название объекта исследования и его характеристик; описание режима работы объекта; обозначение состава сырья, особенностей процесса или наименование типа изделия, а также требований прикреплённых к нему; формирование правил безопасности при работе с объектом ив ходе исследовательского процесса; определение энергозатрат и проведение экономического анализа и т.д.).</i>	<i>Объектом экспериментального исследования является теплонасосная установка, работающая при низких температурах низкопотенциального источника тепла. Предмет исследования – тепло и массообменный процесс в элементах теплового насоса при низкотемпературных условиях эксплуатации. Целью работы является экспериментальное исследование работы теплонасосной установки в условиях низких температур.</i>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(определение научных достижений в мире за счёт проведение обзора и анализа различных литературных источников в соответствующей области; определение задач исследование; формирование методики исследования; анализ полученных результатов; написание специальных разделов, требующих разработки; формирование выводов по результатам исследования).</i>	1. Анализ научно-технической литературы по вопросу эксплуатации ТНУ в условиях низких температур источника низкопотенциального тепла. 2. Разработка методики проведения экспериментального исследования. 3. Проведение экспериментальных исследований 4. Анализ полученных результатов. 5. Расчёт основных параметров, характеризующих работу ТНУ 6. Финансовый менеджмент. 7. Социальная ответственность. 8. Заключение

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)		Презентация X слайда
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)		
Раздел	Консультант	
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Подопригора Игнат Валерьевич	
«Социальная ответственность»	Сотникова Анна Александровна	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Максимов В.И.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б5Б	Бурцев В.В.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 99 с., 25 рис., 28 таблиц, 50 источников, 2 прил.

Ключевые слова: тепловой насос, компрессор, конденсатор, испаритель, обледенение, коэффициент теплопередачи и теплоотдачи, толщина льда, тепловой поток, теплообменник, температурный перепад, циркуляционный насос.

Объектом исследования является тепловой насос, работающий с низкопотенциальным теплоносителем.

Цель работы: модернизация методики эксперимента с целью увеличения достоверности результатов по исследованию обледенения поверхности испарителя теплонасосной установки.

Результат работы включает исследование обледенения элементов теплового насоса по улучшенной методике проведения эксперимента.

В результате исследования получены экспериментальные данные, характеризующие влияние обледенения на производительность теплового насоса. Найдены плотности теплового и коэффициента теплопередачи испарителя, являющимися ключевыми показателями данного устройства.

Степень внедрения: усовершенствованная методика исследования обледенения элементов теплового насоса позволяет добиться более достоверных результатов при изучении особенностей работы агрегата в условиях низких температурах.

Область применения: экспериментальная теплонасосная установка применима в процессе изучения особенностей тепломассообмена.

Метод исследования: экспериментальный.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word, Excel 2013 с использованием программного обеспечения КОМПАС-3D V15.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Определения.

В настоящей работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

ТНУ – теплонасосная установка – устройство, аккумулирующее теплоту источника с низкой температурой и передающее накопленную энергию потребителю на нужды.

Компрессор – устройство, которое повышает давление (процесс сжатие) газа, после чего происходит его перемещение.

Конденсатор – является теплообменным аппаратом, в котором хладагент отдает теплоту воздуху окружающей среды.

Дроссель – ключевой элемент теплового насоса, обладающий малым проходным сечением (меньше чем основной трубопровод), за счёт чего меняет параметры хладагента, протекающего по трубке.

Испаритель – является теплообменным аппаратом, в котором хладагент поглощает тепло из низкопотенциального источника.

Коэффициент теплоотдачи – характеризует интенсивность теплообмена, равен плотности теплового потока при градиенте температур равном единице.

Случайная погрешность измерений – погрешность, которая определяется по повторным измерениям, проведённых в равных условиях; имеет случайный характер.

Систематическая погрешность измерений – величина, изменяющаяся во времени по определённом закону (частным случаем является постоянная погрешность, не изменяющаяся с течением времени).

Обозначения и сокращения:

ТНУ – теплонасосная установка;

BOS технология – технология измерения температуры инфракрасным методом (background oriented schlieren);

АЦП – автоматический цифровой преобразователь;

ПК – персональный компьютер;

SWOT анализ – strengths (сильные стороны), weaknesses (слабые стороны), opportunities (возможности) и threats (угрозы);

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

ТБ – техника безопасности.

Нормативные ссылки.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СНиП 23-05-95. «Естественное и искусственное освещение»;
2. СанПин 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»;
3. СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»;
4. ГОСТ 12.4.124-83 «ССБТ. Средства защиты от статического электричества»;
5. СНиП 3.05.06-85 «Электротехнические устройства»;
6. ГОСТ 1516.3-96 «Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции»;
7. СНиП 2.09.04.77 «Административные и бытовые здания»;
8. ГН 2.2.5.1313-03 «ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны»;
9. СНиП 21-01-97. «Пожарная безопасность зданий и сооружений» и др.

Содержание

Введение	10
Глава 1. Обзор литературы	12
Глава 2. Методика экспериментального исследования	27
Глава 3. Анализ результатов исследования	37
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	48
Глава 5. Социальная ответственность.....	77
Основные результаты и выводы.....	89
Список литературы	90
Приложение	95

Введение

Одна из главных проблем человечества – постоянно растущие потребности в энергии [1]. В настоящее время интенсивно начинают использоваться неисчерпаемые (возобновляемые) источники энергии. Одним из перспективных направлений этой отрасли энергетики является низкопотенциальная теплота грунтов и водоёмов, аккумулируемая и передаваемая потребителям с помощью теплового насоса. Низкопотенциальные источники энергии могут обеспечить непрерывность поступления энергии [2].

Данное устройство в данный момент не приобрело широкого применения в России по ряду причин. При установке контура теплового насоса в грунт необходимо бурить скважины, наносящие вред растительности и требующие больших денежных затрат [2]. По подсчётам специалистов для монтажа тепловой насосной системы необходимо 300 – 1200\$ (включая стоимость оборудования) для выработки 1000 Вт мощности. При этом теплонасосная установка окупится примерно за 4 года со сроком службы около 10 лет, однако, не каждый согласится устанавливать повсеместно подобные установки в качестве основного источника теплоты. Также для исключения застоя теплоносителя необходимы циркуляционные насосы, на обслуживание которых нужно дополнительно затрачивать электроэнергию [2]. В третьих, тепловые насосы обеспечивают относительно небольшую температуру 50-60°C, которой, например, недостаточно для удовлетворения нужд на отопление. Наряду с этим при увеличении температуры теплоносителя эффективность и надёжность теплового насоса будет снижаться [3].

При этом данное устройство обладает рядом достоинств. Одно из главных – экономичность. Необходимое количество электроэнергии ($\text{Вт} \cdot \text{ч}$) для работы теплового насоса составляет 20-35% от переданной тепловой энергии. Также необходимо отметить отсутствие шума и вредных выбросов в

окружающую среду, что является важным показателем в нестабильной экологической обстановке нашего времени. Такие преимущества, как: автоматическое управление (между зимним и летним режимом), компактность, отсутствие потребности в постоянном контроле работы только добавляют потенциал оборудованию [1].

Применение теплового насоса комбинированно с системами централизованного теплоснабжения, за счёт чего уменьшаются тепловые потери на пути к потребителю, и снизится износ труб. Второе связано с более низкой коррозионной способностью холодной воды по сравнению с горячей [2].

В данной работе исследуется процесс обледенения поверхности испарителя теплонасосной установки при её использовании в холодное время года.

Цель работы: модернизация методики эксперимента с целью увеличения достоверности результатов по исследованию обледенения поверхности испарителя теплонасосной установки.

Научная новизна работы: разработана методика эксперимента, включающая установку дополнительного оборудования, проведены экспериментальные исследования процесса образования льда на поверхности испарителя, проанализированы полученные результаты.

Практическая значимость: модернизированная методика эксперимента позволяет проводить исследования с большей достоверностью, что положительно скажется при дальнейшем изучении процесса обледенения испарителя, конкретно, при контакте устройства с проточной водой, используемой в качестве внешнего теплоносителя.

Глава 1. Обзор литературы

В последнее время многие исследования посвящены оценке работы теплового насоса с низко потенциальными источниками теплоты.

В частности, в трудах Т. В. Федюниной, А. П. Антипова [2] было установлено, что температура тура ниже промерзания земли на протяжении всего года остается практически неизменной (рисунок 1).



Рисунок 1 – Распределение температур в поверхностном слое земли

Средняя разница температур в слоях почвы и воздуха зимой составляет порядка 15 °C, чего вполне достаточно для работы теплового насоса. Также наличие грунтовых вод с высокой глубиной залегания увеличивает эффективность работы тепловых насосов. Рассмотрев технико-экономические показатели теплового насоса, сделан вывод, что выгодное использование тепловой насосной установки зависит от погодных условий местности и особенностей грунта (наличие грунтовых вод и других источников низкопотенциальной теплоты).

В.В. Харченко, А.О. Сычёвым проанализирована работа теплового насоса при использовании в качестве внешнего теплоносителя речного водоёма (поверхностный водоток), который подключен к системе теплоснабжения сельского дома. Главной особенностью установки являлось наличие в контуре частотно-регулируемого компрессора и регулируемого циркуляционного насоса. С помощью усовершенствованного оборудования

достигнута высокая производительность установки при её работе в не полную мощность (20-50% от полной мощности), что сэкономило электроэнергию в районе 8%. Результаты исследования подтверждают высокую эффективность устройства [4].

Одна из главных проблем тепловых насосов, использующих низкопотенциальную теплоту, – обледенение испарителя, которое препятствует процессу теплопередачи. Этот вопрос широко рассмотрен в работе С.А. Гарнова и Д.Ю. Заболотного, где: был проанализирован ряд методов оттайки испарителя ТНУ; проведены эксперименты над теплообменниками для изучения процесса обледенения (рисунок 2).

Основные методы оттайки [5]:

- оттаивание горячим паром;
- использование воздушного потока;
- снятие обледенения испарителя электрическим нагревом;
- обращение цикла (изменение направления тепловых потоков);
- релейный метод (отключение оборудования до полного размораживания).

Существует множество параметров для размораживания обратным циклом, которые можно использовать для подтверждения отрицательного влияния на характеристики размораживания. Следовательно, эти факторы можно использовать для регулирования прекращения операции размораживания обратного цикла, особенно это касается температур поверхности ребер и объемного расхода хладагента, превысившего допустимого значения в исследовании [26].

Определение времени начала размораживания является одной из важных проблем, с которой сталкивается большинство тепловых насосов, поскольку она напрямую связана с потреблением энергии. Многие типы датчиков могут быть установлены для обнаружения замерзания, но они, как правило, не являются экономически эффективными. В исследовании [32]

предлагается метод расчета объема заморозки, чтобы определить время начала размораживания в системе теплового насоса воздух-воздух. Этот параметр определялся в течение 20–40 минут с момента, когда мощность нагрева и КПД начинают резко падать. Во время оттаивания снижение теплопроизводительность снизилась на 23,1 %, а КПД – на 14,1 % по сравнению с максимальными значениями параметров.

В этой же работе [26] было подтверждено отрицательное влияние на производительность размораживания при неравномерном обледенении и подтверждено увеличение эффективности размораживания на 6,8%, когда время обморожения (морозостойкость) увеличилось с 82,6% до 96,6%.

А при аккумулировании теплоты в теплообменнике, эта энергия может также стать источником тепла и обеспечит тепло внутри помещения при использовании метода размораживания с обратным циклом, уменьшая или исключая риск более низкой температуры воздуха в помещении. Стандартный нагрев от самого обратного цикла не нарушится [27].

Хотя осушение воздуха осушителем является эффективным методом задержки образования замерзания, проблема регенерации осушителя препятствует его практическому применению [18].

Также для методов размораживания обращением цикла и воздушным потоком проблема заключается в том, что для цикла размораживания нет источника тепла, что приводит к длительному времени размораживания [22].

Из не перечисленных выше методов выделяют размораживание, при котором жидкий хладагент из резервуара высокого давления направляется в охладитель морозильного воздуха [24]. Эксперимент проводился при условии, что температура хранения в холодильнике составляла -20°C , а масса льда составляла 3 кг. Процесс охлаждения непрерывен в течение периода оттаивания; колебания температуры в холодильной камере невелики; и нет дополнительного потребления энергии. Результаты испытания этого метода показали, что при размораживании мощность

компрессора снизилась с 2,0 кВт до 0,8 кВт, снизилась на 60%. Жидкий хладагент в воздухоохладителе размораживания почти не имел перепада давления, и падение давления всасывания компрессора в основном вызвано падением давления в охладителе воздушного охлаждения. Разница температур между подачей жидкости и возвратом газа из охладителя воздуха для размораживания увеличилась с 7,0 °С до 18,0 °С, а охладителя воздуха для охлаждения увеличена с 11,0 °С до 13,0 °С.

При этом если воздушный охладитель был открыт с задержкой, часть тепла отводится циклом хладагента. Поэтому, выбирая нужное время открытия воздухоохладителя, можно эффективно контролировать температуру хладагента в холодильнике. Колебания температуры могут быть уменьшены до минимального значения.

Корейскими учёными были проанализированы методы обращения цикла и оттаивания горячим паром, в ходе чего было установлено, что с помощью второго метода можно добиться наиболее благоприятных условий для оттаивания по причине малых колебаний температур и низкого уровня шума, однако, этот метод уступает первому по времени снятия слоя обледенения [5,6].

В ходе изучения процесса обморожения испарителя воздушного ТН установлено, что при использовании пара хладагента увеличивается теплопроизводительность установки, а расход хладагента на оттаивание составлял 20% от суммарного его расхода по сравнению с «релейным методом» [5,8].

Эксперименты с теплообменниками с разной геометрией показали:

- теплообменники с большим шагом ребер имеют большие значения коэффициентов теплопередачи;
- однородное обледенение больше соответствует стабильным характеристикам теплообменника, чем неоднородное.

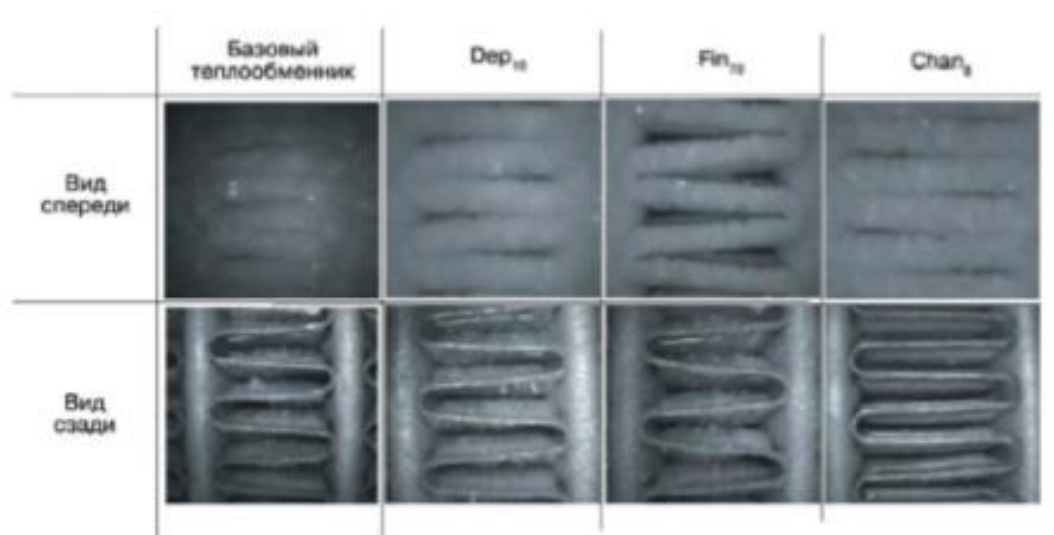


Рисунок 2 – Распространение обморожение на поверхности теплообменника

Также установлено, эффективность и время оттаивания теплообменника, обладающего гидрофобной поверхностью, выше, чем у теплообменника с гидрофильной поверхностью [8]. После оттаивания слоя льда на гидрофильной поверхности образуется водная пленка, а на поверхности неизолированного образуется множество водяных участков. В случае с супергидрофобной поверхностью морозный слой непосредственно сбрасывается с поверхности ребра в начале оттаивания, в то время как смесь воды и льда медленно скользит по поверхности ребра, сопровождаясь плавлением. Задержка воды на супергидрофобной поверхности ребра не наблюдалась.

В исследовании [15] были определены характеристики теплообменника с супергидрофобной поверхностью. По сравнению с гидрофильными и стандартными блоками теплообменника время размораживания супергидрофобного блока сокращается на 41,7% и 43,2%, а энергопотребление для размораживания уменьшается на 47,2% и 61,9%. Скорости теплообмена для гидрофильных, неизолированных и супергидрофобных блоков составляют 869,2, 872,8 и 885,9 Вт при условии отсутствия обледенения. Таким образом, теплообменные возможности теплообменников одинаковы. На рисунке 3 представлены поверхности, используемые в работе, со значениями контактных углов.

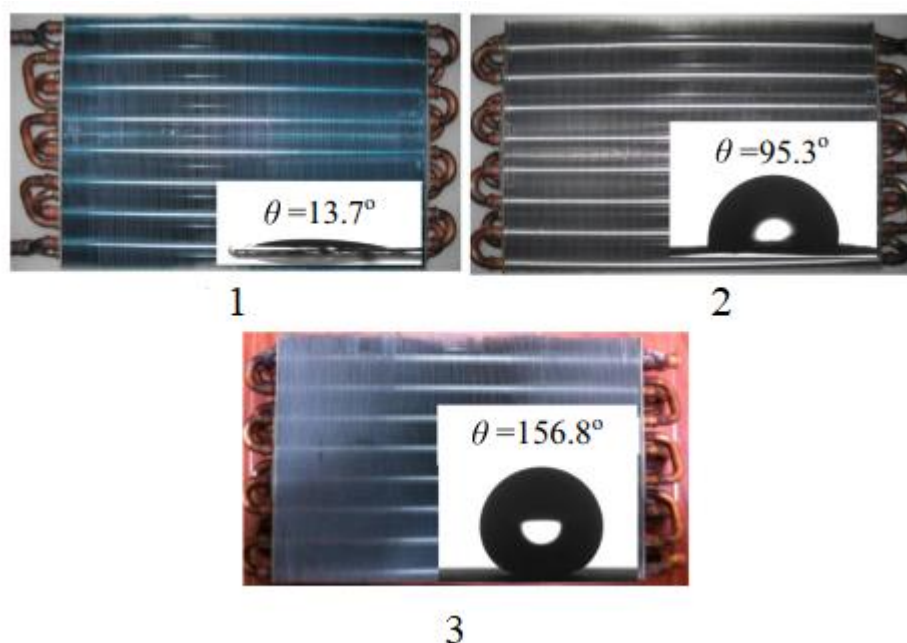


Рисунок 3 – Поверхности испарителя со значениями контактных углов где 1 – гидрофильная поверхность, 2 – стандартная поверхность, 3 – супергидрофобная поверхность.

За счёт модели, рассмотренной испанскими исследователями, определено, что при уменьшении массового расхода хладагента увеличивается время оттаивания горячим паром [5,9].

Помимо факторов, учитывающих продолжительность оттаивания, а также геометрии теплообменников, было изучено влияние электрического поля на образование толщины инея на испарителе. В трудах [10] представлены выводы:

- увеличение приложенного напряжение влияет на уменьшение массы льда;
- продолжительность напряжения ускоряет процесс оттаивание, при этом возрастает скорость воздуха, улучшающая теплопередачу в испарителе.

Кроме воздействия электрическим полем изучено влияние прерывистой ультразвуковой вибрации на обледенение испарителя с ребристыми трубами [16]. Экспериментальные результаты показали, что прерывистые ультразвуковые колебания могут эффективно удалять нарост,

накопленный на поверхности ребра, и эффективная площадь размораживания одного ультразвукового преобразователя составила $0,165 \text{ м}^2$ для испарителя с ребристыми трубами, на котором ультразвуковой преобразователь с номинальной мощностью 50 Вт и резонансная частота 40 кГц. Потребление энергии при размораживании воздушного насоса с ультразвуковой вибрацией было на 3,14–5,46% ниже, чем без ультразвуковой вибрации, в то время как теплопроизводительность увеличилась на 2,2–9,03%, а КПД увеличился на 6,51–15,33%. Кроме того, тепловой комфорт внутренней стороны был явно улучшен.

На скорость роста ледяного слоя влияет относительная влажность: чем выше температура окружающей среды, тем быстрее растет морозный слой. Когда температура окружающей среды была выше 0°C , происходило смена агрегатного состояния, и образовывался плотный ледяной слой, и при более низкой температуре окружающей среды ледяной слой имел меньшую плотность.

Размораживание было более эффективным при прерывистой ультразвуковой вибрации; время перерыва должно составлять менее 2 минут, когда температура окружающей среды выше 0°C , а относительная влажность составляет приблизительно 85%. Метод основан на резонансе между собственной частоты кристалла льда и частоты ультразвукового возбуждения.

Ультразвуковая вибрация обеспечивает эффективное удаление замерзания и значительно замедляет его рост. Результаты испытаний показывают, что ультразвуковые колебания оказывают значительное положительное влияние на размораживание, выполняемое непрерывно или периодически, в прямом контакте или нет [19].

Однако метод ультразвуковой вибрации не подходит для испарителя с трубой большого или среднего размера. С увеличением размера теплообменника также увеличивается потребность и номинальная мощность

соответствующего генерирующего устройства, что приводит к дополнительным затратам энергии [18]. Также низкочастотные колебания бесполезны в отношении размораживания [19].

В исследовании [17] была оценена производительность ребристого теплообменника с учетом уменьшения воздушного потока. Результаты моделирования продемонстрировали, что конвективное тепловое сопротивление между поверхностью замерзания и воздухом составляет 90% от общего теплового сопротивления; тепловое сопротивление от стенки трубки до поверхности замерзания составляет всего 2–5% от общего сопротивления. Следовательно, доминирующим фактором в снижении производительности ребристого теплообменника при накоплении замерзания является уменьшение скорости воздушного потока в результате увеличения его сопротивления, вызванного обледенением.

Поскольку морозостойкий слой является пористым, существующие модели, в которых не предполагается, что воздушный слой внутри ледяного слоя отсутствует, переоценивают перепад давления и занижают скорость воздушного потока. В следствие установлено, что пористый характер ледяного слоя является существенным фактором падения давления в теплообменнике.

Исследователями было сравнительно проанализированы характеристики размораживания специально изготовленной экспериментальной воздушной теплонасосной установки с различными равномерно распределенными скоплениями льда. [31]. Предложено подходящее накопление замерзания для начала размораживания. Эффективность оттаивания может достигать своего пика в 46,05%, когда накопление замерзания составляет 930 г. Чтобы равномерно накапливать иней на поверхности наружной катушки, под каждым контуром были установлены три поддона для сбора воды во время размораживания на экспериментальной стадии по значению морозостойкости.

Накопление замерзания увеличивается по мере увеличения продолжительности замерзания, однако, эта зависимость неравномерна. Через 50 мин. после начала замораживания накопление наледи сначала резко увеличилось, потом процесс обледенения стал проходить медленней.

Обобщив рассмотренные исследования, к числу факторов, влияющих на оттаивание испарителя, можно отнести следующее [5, 11]:

- относительная влажность;
- скорость воздушного потока через сечение испарителя;
- температура поверхности трубок испарителя;
- эквивалентный диаметр поперечного сечения воздушного потока;
- длина ребра в направлении потока воздуха;
- продолжительность обледенения.

Помимо методов оттаивания совершенствуются системы тепловых насосов. Одна из таких систем предложена в работе [12], особенность системы состоит во встроенном теплообменнике, обладающем влагопоглощающими свойствами. Как предлагается в работе, данное устройство может реализовать такой режим зимой, при котором не будет происходить образование слоя льда. Результаты расчетов показывают, что противоморозная система эффективней на 30% по сравнению с системой размораживания горячим газом. Высокая производительность системы в основном обусловлена эффективной регенерацией осушителя путем рециркуляции воздуха между влагопоглощающим теплообменником и испарителем. Кроме того, применение метода рециркуляции воздуха обеспечивает постоянную нагревательную нагрузку для воды или любой другой необходимой нагревательной жидкости, такой как комнатный воздух в системе кондиционирования. Поэтому идея, предложенная в этой работе полезна для распространения тепловых насосов в холодных районах. Тем не менее, следует отметить, что адсорбционная емкость осушителя при низкой температуре является одной из ключевых характеристик, доминирующих в

производительность этой системы. На рисунке 4 представлена схема системы.

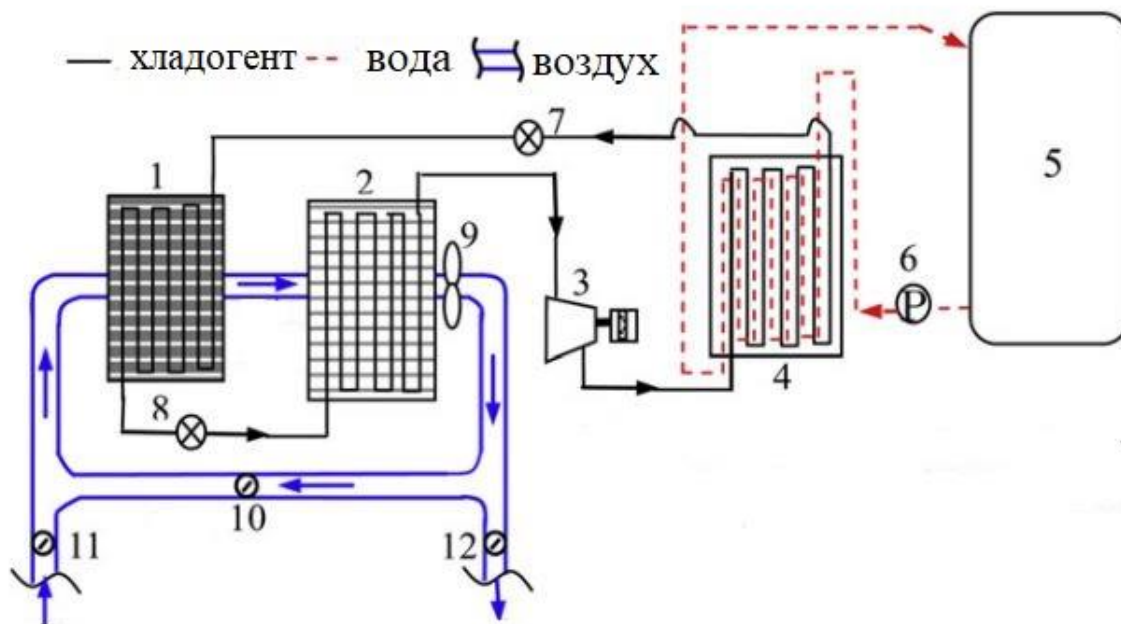


Рисунок 4 – Пример схемы противоморозной системы

где 1 – теплообменник с осушительным покрытием; 2 – воздушный теплообменник; 3 – компрессор; 4 – водяной теплообменник; 5 – резервуар для хранения воды; 6 – насос; 7,8 – расширительные клапаны; 9 – вентилятор; 10,11,12 – клапаны противоморозной системы.

В работе [25] представлена система теплового насоса с непосредственным излучением (расширением) от солнца. Солнечное излучение 100 Вт/м^2 может полностью предотвратить обледенение, так как при таком излучении температура окружающей среды и относительная влажность составляют -1°C и 70% соответственно. При условии, что относительная влажность и солнечное излучение составляют 70% и 0 Вт/м^2 , обледенение является наиболее опасным для системы при температуре окружающей среды -1°C , с более высокой теплопроизводительностью и КПД по сравнению с другими при таких же температурах окружающей среды. Теплопроизводительность и КПД системы возрастают на 12,1% и

8,8% соответственно, так как относительная влажность изменяется от 60% до 90%. Наледь не образуется, когда температура окружающей среды и солнечная освещенность составляют $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 0 Вт/м^2 , а относительная влажность ниже 60%. Когда относительная влажность превышает 60%, толщина замерзания и эффективность нагрева увеличиваются с увеличением относительной влажности. Сам процесс замораживания повышает эффективность нагрева системы.

В исследовании [30] разработана система с управляемым размораживанием за счёт датчика перепада давления для систем тепловых насосов с воздушным источником. Установлено, что верхняя сторона наружного блока, которая находится близко к воздушному вентилятору, не подходит для расположения датчика из-за слабой корреляции между перепадом давления и ростом замерзания. Предлагаемый способ обладает высокой надежностью для всех условий обледенения. Небольшие отклонения, наблюдаемые в различных условиях влажности, связаны с неравномерностью замерзания. Исходя из экспериментальных результатов, это исследование показывает, что теплообменник с хорошо спроектированным расположением труб выгоден для однородного замерзания, а также для производительности системы теплового насоса в условиях замерзания.

В трудах [13] предложена модернизированная система размораживания змеевиковых теплообменников. Выработан метод, который демонстрируется на экспериментальной установке с микроканальным теплообменником в системе, использующей функцию регулирования мощности. Произведено сравнение двух систем одинакового размера, использующих микроканальный испаритель и испаритель с ребрами и трубами. В ходе исследований [14] обнаружено, что система с микроканальным испарителем должна работать с более короткими периодами замерзания, как из-за неравномерного распределения, так и из-за

уменьшенного расстояния между ребрами. Непрерывное удаление слоя льда по предлагаемому способу значительно продлевает период заморозки и, следовательно, уменьшает затраты на размораживание или делает её лишней при многих условиях эксплуатации. Предложенный метод подходит для микроканальных испарителей и теплообменников с различной геометрией рёбер. Схема испарителя для микроканальных теплообменников должна быть адаптирована путем разделения впускного коллектора. Круглая труба с геометрией пластинчатых ребер может использоваться либо без изменений, либо схема должна быть оптимизирована для работы с новым типом размораживания. На рисунке 5 представлен процесс замерзания в течение 100 минут (слева теплообменник с термостатическим расширительным клапаном, справа – с распределительным клапаном) [13].

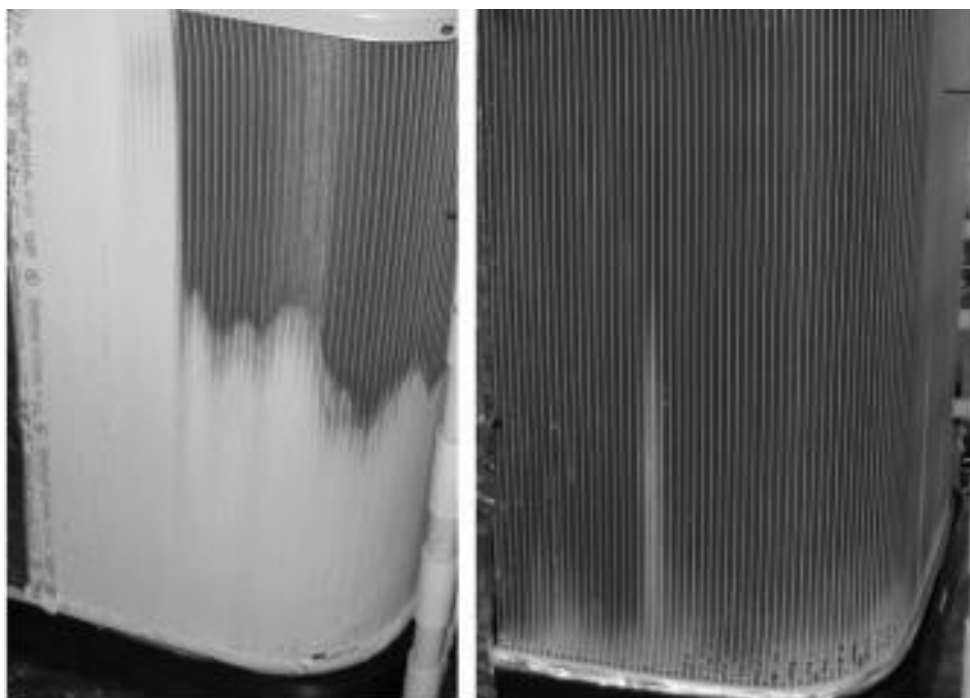


Рисунок 5 – Процесс замораживания в течение 100 минут для теплообменников с различными клапанами

В свою очередь изучены особенности размораживания ТН при установке переохладителя (с заменой линии хладагента) в нижней части ребристого теплообменника [23]. Его использование предотвратило

образование льда на дне теплообменника и одновременно повысило интенсивность теплообмена.

За счет модернизации конструкции агрегата со стороны внешнего теплоносителя при низкой температуре окружающей среды нижняя часть переохладителя рядом с поддоном для сбора воды контактирует с хладагентом с более высокой температурой, что предотвращает обледенение.

Непрерывная работа устройства при температуре окружающей среды $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ продемонстрировала, что край поддона теплообменника был заморожен, однако на самом дне льда не оказалось.

Время размораживания агрегата составляет около 3,3 минуты, учитывая время отключения компрессора.

В исследовании [28] смоделирован двухспиральный теплообменник на основе материала с фазовым переходом в воздушном тепловом насосе для оттаивания. В процессе решения математической модели на основе принципа сохранения энергии был получен эквивалентный коэффициент теплопередачи для нерегулярной криволинейной поверхности вблизи катушки. Благодаря эквивалентному коэффициенту теплопередачи удалось избежать большого количества делений сетки для упрощения расчёта. Анализируя характеристики накопления тепла и тепловыделения при аккумулировании энергии с фазовым переходом, было обнаружено, что разработанный теплообменник обладает высокой скоростью аккумулирования и выделения тепла.

В трудах [33] к тепловому насосу присоединялся водонагреватель, работающий по байпасному (обходному) циклу. Система размораживалась при помощи теплового накопителя в корпусе компрессора. При нормальной работе в течение 2,5 часов (10 л горячей воды с температурой $30\text{ }^{\circ}\text{C}$) температура корпуса компрессора снизилась до $4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. При размораживании температура воздуха на выходе из теплообменника снизилась до $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ и оказала наименьшее влияние на температуру в помещении среди

перечисленных выше способов размораживания. В качестве теплоаккумулирующих материалов выбрана смесь твердого и жидкого парафина (соотношение 6: 4). Во время размораживания температура выходного отверстия внутреннего теплообменника снизилась до 3,3 °С, что не сказалось на условиях комфорта в помещении. Время размораживания составило 100 с.

В последнее время проводится оценка эффективности работы теплового насоса в области низких температур в зимний период на территории РФ. Томскими учёными были проведены исследования на экспериментальной теплонасосной установке. Результаты показали, что работа тепловых насосов в условиях сурового климата, которому соответствует основная часть РФ (низкие температуры), в водоёмах со стоячей водой неэффективна. Лёд, образующийся на испарителе со стороны низкотемпературного теплоносителя, снижает теплообмен между водой и фреоном. При этом с понижением температуры воды ухудшалась производительность установки [20]. С помощью математического моделирования проиллюстрированы зависимости формирования толщины льда и изменения плотности теплового потока от времени контакта поверхности испарителя с низкотемпературным теплоносителем [21]. Воспроизведены три различные по высоте трубки испарителя. Графики представлены на рисунках 6 и 7.

Такие технико-экономические решения как установка в тепловых насосах водосборных лотков снижают эксплуатационные расходы, что является важным фактором при усовершенствовании систем ТНУ [29].

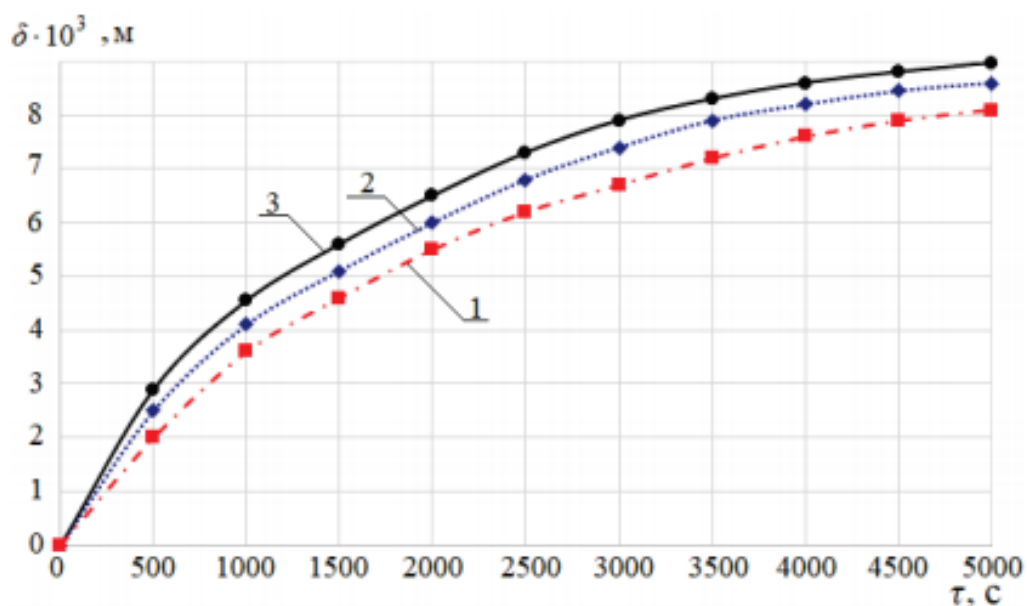


Рисунок 6 – Изменение толщины льда от времени контакта испарителя с низкотемпературным теплоносителем

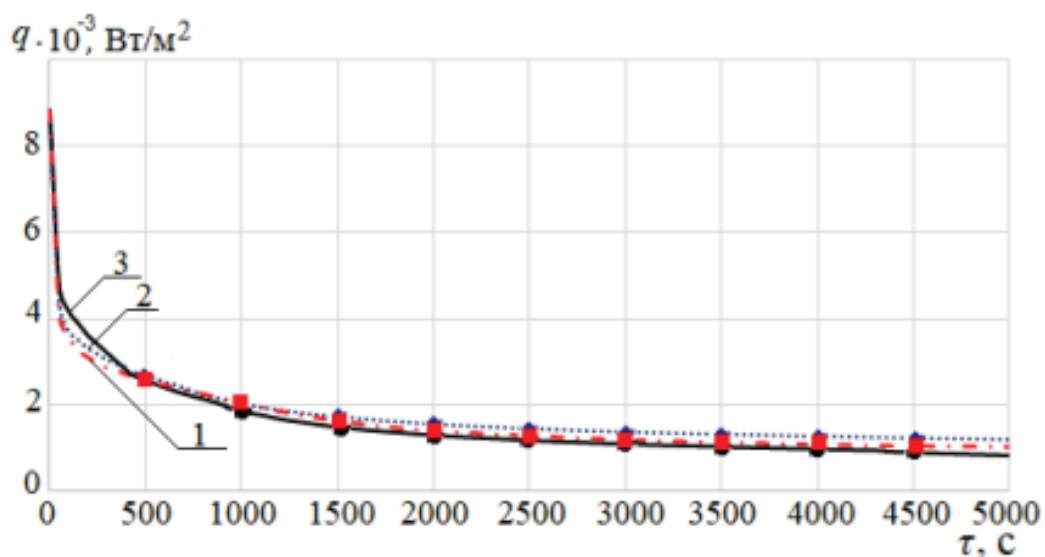


Рисунок 7 – Изменение плотности теплового потока от времени контакта испарителя с низкотемпературным теплоносителем
где 1 – нижняя трубка, 2 – центральная трубка, 3 – верхняя трубка.

Характер обледенения на поверхности испарителя ТН, использующий в качестве внешнего теплоносителя проточную воду, на данный момент слабо изучен, что является поводом для дальнейших исследований.

Глава 2. Методика экспериментального исследования

Экспериментальные исследования проводились на модернизированной установке теплового насоса. Общий вид теплонасосной установки изображён на рисунке 8.



Рисунок 8 – Общий вид теплонасосной установки

где 1 – испаритель, 2 – конденсатор, 3 – воздушный теплообменник, 4 – вентилятор, 5 – измеритель температур, 6 – контур циркуляционного насоса, 7,8 – точки подключения термопар (на рисунке представлены не все, так как часть расположена в баках конденсатора и испарителя), 9 – балка, на которую крепится часть термопар, 10 – капиллярная трубка, 11 – амперметр, 12 – вольтметр, 13 – расход, 14 – манометр, 15 – источник тока.

Работа экспериментальной системы производится по схеме, представленной на рисунке 9.

где 1 – стенд ТНУ, 2 – конденсатор, 3 – испаритель, 4 - компрессор, 5 – дроссельный клапан, 6 – расходомер, 7 – амперметр, 8 – вольтметр, 9 – манометр после компрессора, 10 – манометр перед компрессором, 11 – вентилятор, 12 – воздушный теплообменник, 13 – источник питания, 14 – циркуляционный насос, 15 – компьютер, 16 – монитор, 17 – измеритель температур, 18 – адаптер сети, 19 - электрическая сеть с источником.

Термодинамический цикл теплового насоса описывает рh-диаграмма (рисунок 10).

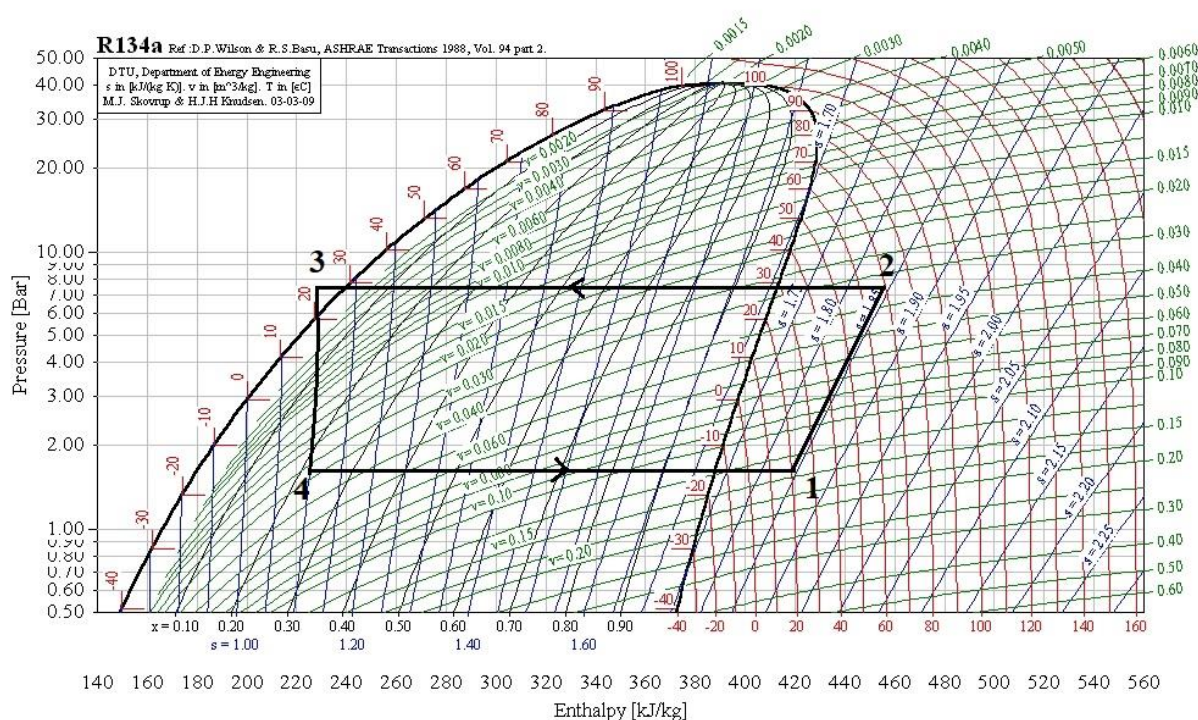


Рисунок 10 – рh-диаграмма работы теплового насоса при начальных параметрах давления

где:

1-2, пар хладагента проходит через компрессор, увеличивая своё давление и температуру;

2-3, фреон с повышенными параметрами проходит через конденсатор, отдаёт свою теплоту и переходит в жидкое состояние;

3-4, хладагент в жидком состоянии проходит через капиллярную трубку, после которой снижается давление и температура вещества;

4-1, фреон с пониженными параметрами проходит через испаритель, отбирая тепловую энергию, и переходит в состояние пара.

Модернизация стенда теплового насоса проведена с целью расширения диапазона факторов, влияющих на работу установки в режиме обледенения. После усовершенствования агрегата появились возможности регулирования следующих параметров:

- скорость движения воды в испарителе; обеспечивается циркуляционным насосом с регулируемым клапаном; скорость подачи воды помпы составляет 0,01 м/с; второй насос, который подаёт воду в теплообменник, расположен в конденсаторе;
- отвод теплоты в конденсаторе ($Q=Gc\Delta t$), необходимый для поддержки производительности теплового насоса, осуществляется воздушным теплообменником (рисунок 10); его конструкцию составляет алюминиевый радиатор с прикреплёнными к нему медными трубками (5 ходов); регулирование теплосъёма происходит за счёт вентилятора (рисунок 11) с частотой вращения 50 Гц, который работает от источника питания 12В.



Рисунок 11 – Воздушный теплообменник

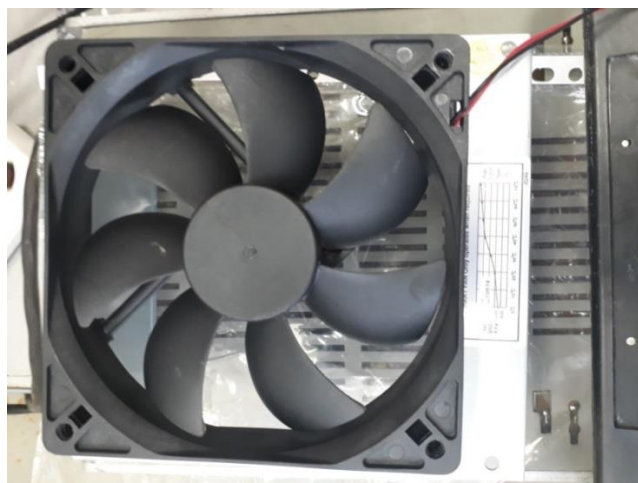


Рисунок 12 – Вентилятор

Перед включением установки в сеть ёмкости с конденсатором и испарителем были заполнены водой (внешний теплоноситель) с температурой $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и объёмом 6,75 л (для бака конденсатора) и 5,25л (для бака испарителя). Уровень воды в емкостях: конденсатора – 0,215 м, испарителя – 0,202 м. Размеры баков – $0,22 \times 0,18 \times 0,25$ м. Резервуары изолированы пенополистиролом (толщина 0,04 м) по бокам и с внешней стороны дна и пенопластом сверху в виде крышки (толщина 0,025 м).

Внутренним теплоносителем являлся фреон R134a. Хладагент течёт по медным трубкам диаметра 0,01 м, толщиной стенки 0,0015 м. Схема теплообменника с размерами и началом отсчёта координат представлена рисунке 13. Координаты точек измерения обледенения в таблице 1.

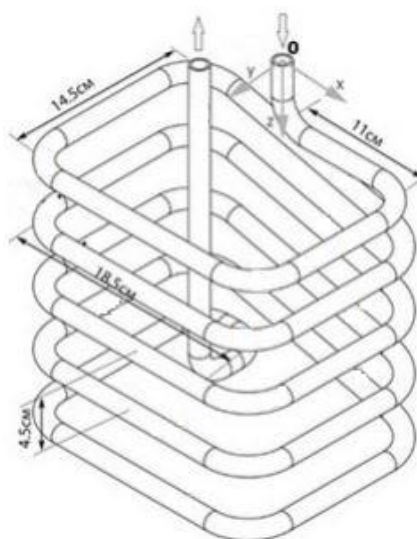


Рисунок 13 – Схема теплообменника конденсатора/испарителя

Для начала проведения испытаний включался ПК, куда через адаптер производится запись результатов измерений.

После к сети подключался измеритель температур ОВЕН УКТ38-Щ4 с хромель-копелевыми термопарами, присоединёнными к выбранным точкам (рисунок 9).

Следующим этапом активировалась программа LabView компании National Instruments по автоматизированной схеме, представленной на рисунке 14. Температуры фиксируются с интервалом в 2с.

Далее подаётся напряжение в установку и одновременно с включением компрессора начинают свою работу манометр UNI L RG-250 ShineYear и расходомер, которые показывают значения расхода и избыточных давлений фреона.

Измерения давления проводились каждые 30 минут. Конечный расход теплоносителя зафиксирован в конце испытаний.

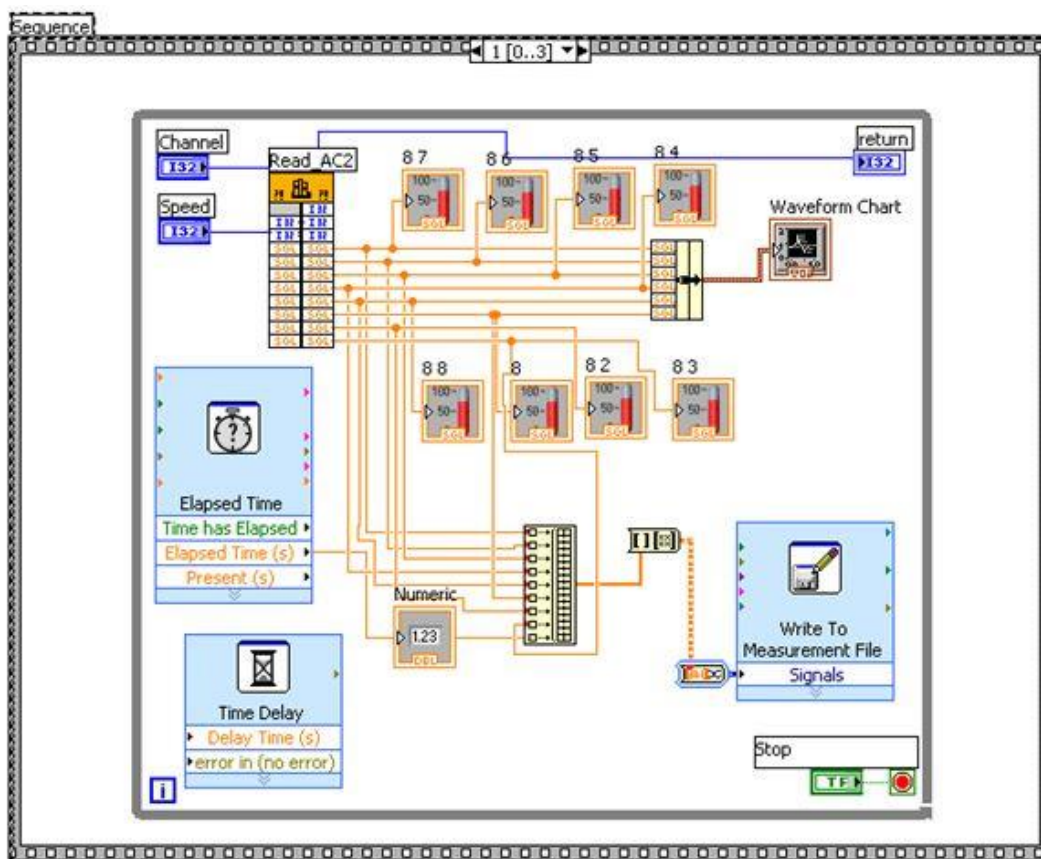


Рисунок 14 – Автоматизированная схема в программе LabView
Проведены три серии экспериментов.

Первое испытание проведено на стандартном стенде теплового насоса с изолированными от окружающей среды емкостями испарителя и конденсатора. Так как тепло от конденсатора в этом случае не отводилось, происходило смещение термодинамического цикла, в ходе которого таял образовавшийся лёд на испарителе, и нагревалась вода в баке с этим теплообменником. Далее тепловой насос переставал выполнять полезную работу. Установленное время выхода из строя ТНУ определило продолжительность проведения следующих экспериментов.

После первого исследования к агрегату теплового насоса подключен воздушный теплообменник с вентилятором для обеспечения регулируемого отвода тепла. Таким образом, не происходило смещения цикла, конденсатор постоянно мог отдавать тепло. По истечению времени эксперимента производился замер образований льда на поверхности трубок испарителя.

Далее в баке испарителя запущен циркуляционный насос, перемешивающий воду, с целью определения влияния движения воды на характер обледенения испарителя. Эксперимент проведён с той же последовательностью, что и предыдущие испытания.

В итоге, осуществлено регулирование двух параметров:

- количество отведённой теплоты;
- скорость движения воды.

Толщина льда в первой серии эксперимента измерялась при достижении температуры хладагента, входящего в испаритель, 0 °С (начало фазового перехода). В остальных случаях наледь измерялась сразу после проведения испытаний. После завершения каждой серии эксперимента фиксировался суммарный расход хладагента.

Серии экспериментов проведены при температуре окружающей среды 18-20 °С. Замер толщины льда проходил по длине трубки, по разделённым зонам (рисунок 15), с помощью штангенциркуля (точность измерений 0,01

мм). Также степень обледенения испарителя оценивалась по глубине его погружения.

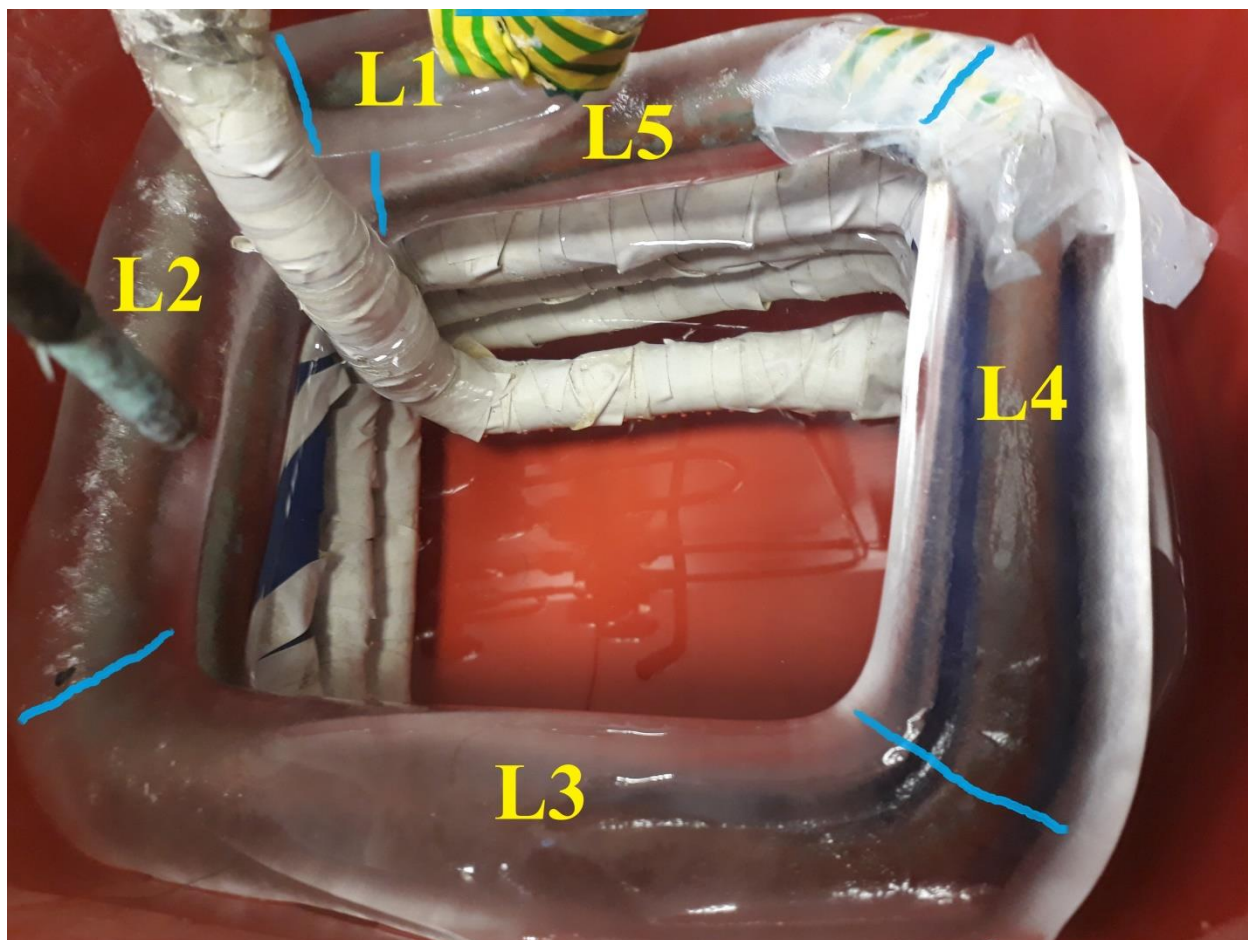


Рисунок 15 – Разбиение участков на длины для определения толщины обледенения

Таблица 1 – Координаты точек при измерении толщины льда на испарителе

Обозначения		L1	L2	L3	L4	L5
Длина отрезки трубки, м		0,11	0,255	0,44	0,585	0,66
Координаты, м	x	0,11	0,11	-0,075	-0,075	0,11
	y	0	0,14	0,145	0,01	0
	z	0,015	0,01	0,02	0,035	0,045

Для повышения достоверности результатов необходимо рассчитывать погрешность измерений рассматриваемых параметров.

Погрешность измерений подразумевает расчёт погрешности прибора (систематическая) и случайной погрешности.

Стандартное отклонение по статистическому уравнению [34]:

$$\sigma_{xi} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n s_i^2}{n-1}}.$$

Случайная погрешность:

$$\tilde{\sigma} = \pm \frac{\sigma_{xi}}{\sqrt{n}}.$$

Для измерения:

$$\Delta x_{сл} = \pm t_{an} \tilde{\sigma}.$$

Полное значение погрешности измерения:

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{сл}^2 + \Delta \bar{x}^2}.$$

Относительная погрешность (полная погрешность к значению измеряемой величины):

$$\Delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%.$$

Погрешность приборов (доверительный интервал):

$$\Delta \bar{x} = \alpha \cdot d,$$

где:

$\alpha = 0,95$ – принимаемая доверительная вероятность;

d – параметр равномерного распределения, равный погрешности прибора δx .

$$d = \delta x = \frac{\Pi \cdot K}{100},$$

где:

Π – предел измеряемой шкалы,

K – класс точности.

Цена деления:

$$Ц = \frac{\Pi}{N},$$

N – общее количество делений шкалы.

Для цифрового штангенциркуля (не указан класс точности):

так как положение указателя измеряемой величины на шкале может занимать любое положение, то определение параметра равномерного распределения происходит по формуле:

$$d = 0,5 \cdot \text{Ц} = 0,5 \cdot \frac{\Pi}{N} = 0,5 \cdot \frac{150}{150} = 0,5 \text{ мм},$$

$$\Delta \bar{x} = 0,95 \cdot 0,5 = \pm 0,475.$$

Для манометра (не указан класс точности):

положение указателя измеряемой величины на шкале также может занимать любое положение:

$$d = 0,5 \cdot \text{Ц} = 0,5 \cdot \frac{\Pi}{N} = 0,5 \cdot \frac{8}{80} = 0,05 \text{ мм},$$

$$\Delta \bar{x} = 0,95 \cdot 0,05 = \pm 0,0475.$$

Для расходомера фреона (не указан класс точности и шкала деления):

является прибором дискретного действия, абсолютная погрешность равна цене деления прибора:

$$d = \text{Ц} = 1 \text{ мл},$$

$$\Delta \bar{x} = 0,95 \cdot 1 = \pm 0,95.$$

Для термопар «хромель-алюмелевые» (не указан класс точности и шкала деления) и измерителя температур:

аналогично расходомеру:

$$d = \text{Ц} = 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$\Delta \bar{x} = 0,95 \cdot 0,1 = \pm 0,095.$$

Систематическая погрешность измерителя температур УТК38 устранялась путём калибровки каналов по смеси льда и воды, температура которой 0°C. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Калибровка канал УТК38

№ канала	1	2	3	4	5	6	7	8
Калибровка	-0,1	0	1,1	0,6	-0,7	-0,3	0,4	0

Максимальные относительные погрешности измерений термопарами не превышали 0,18 %; штангенциркулем – 2,43%; давлений – 1,4 %.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б5Б	Бурцев Всеволод Валерьевич

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Теплотехника и теплоэнергетика

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
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы амортизации, нормы премии по счету заработной платы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка по отчислениям во внебюджетные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Проведение оценки экономической эффективности исследования теплового насоса

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИИ
4. График проведения и бюджет НИИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б5Б	Бурцев Всеволод Валерьевич		

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования. С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» [35].

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

Потенциальные потребители результатов исследования

Тепловые насосы пока что не получили должного распространения в России. Крупные компании по производству данных агрегатов в основном располагаются в США, Германии.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Сегментация рынка производства винилацетата по следующим критериям показана в таблице 3.

Таблица 3 – Сегментация рынка производства винилацетата

		Вид отрасли		
		Тепловые насосы «вода-вода»	Тепловые насосы «воздух-вода»	Тепловые насосы «грунт-вода»
<i>Размер компании</i>	Крупные	+++++++	+++++++	+++++++
	Средние		////////////////	////////////////
	Мелкие	*****		

+++++++ Carrier Corporation;

//////////////// ОАО «ВентКомплекс»;

***** Проведенная исследовательская работа

Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Для проведения экспериментального исследования и получения достоверных результатов необходимо обеспечить максимальную точность и наименьшую погрешность измерений. Для этого необходимо подобрать оборудование, которое имеет максимальную точность измерения. Для точного измерения температур и получения достоверных значений, необходимо выбрать подходящий тип термоэлектрических преобразователей (термопар). Поэтому произведем сравнительный анализ четырех типов термоэлектрических преобразователей:

- медь-копелевые – ТМК – Тип М – К₃;

- хромель-константановые – ТХКн – Тип Е – К₂;
- хромель-копелевые – ТХК – Тип L – К₁;
- хромель-алюмелевые – ТХА – Тип К – Ф.

Модель экспертной оценки строится по следующим параметрам:

- температурный диапазон (длительно);
- температурный диапазон (кратковременно);
- класс точности 1;
- класс точности 2.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, таблица 4. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
Температурный диапазон (длительно)	0,2	5	2	4	4	1	0,4	0,8	0,8
Температурный диапазон (кратковременно)	0,2	4	2	3	3	0,8	0,4	0,6	0,6
Класс точности 1	0,1	5	3	4	5	0,5	0,3	0,4	0,5
Класс точности 2	0,15	4	3	5	4	0,6	0,45	0,75	0,6
Экономические критерии оценки эффективности									
Цена	0,15	5	4	5	5	0,75	0,6	0,75	0,75
Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4	3	5	4	0,6	0,45	0,75	0,6
Послепродажное обслуживание	0,05	4	3	4	3	0,2	0,15	0,2	0,15
Итого	1	31	20	30	28	4,95	2,75	4,25	4

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее

слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K_i = B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

В итоге наиболее конкурентно-способным оказался термоэлектрический преобразователь ТХА – Тип К, наиболее высоко оценённым критерием оказался кратковременный температурный диапазон.

SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства

проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован.

Слабые стороны – это недостатки, упущения или ограничения научно-исследовательского проекта, препятствующие достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

Таблица 5 – SWOT анализ

Сильные стороны (С) «S» - Strengths	Слабые стороны (Сл) «W» - Weakness
С1. Возможность получения новых, никем ранее не полученных результатов	Сл1. Присутствие серьёзных конкурентов
С2. Применение полученных результатов в различных направлениях модернизации теплотехнических технологий в энергетике	Сл2. Высокая стоимость оборудования
С3. Новое высокотехнологическое оборудование	Сл3. Большое количество экспериментов
	Сл4. Требуется много времени
Возможности (В) «O» - Opportunities	Угрозы (У) «Т» - Threats
В1. Новые теоретические знания, научные термины	У1. Появление новых, активных и целеустремлённых конкурентов
В2. Опыт проведения экспериментальных исследований	У2. Большая погрешность измерений
В3. Освоение нового оборудования и программного обеспечения	

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	-
	B1	+	+	0	
	B2	0	+	-	
	B3	-	+	+	
Угрозы проекта	У1	+	+	+	
	У2	+	0	-	
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	0	+
	B2	+	0	+	+
	B3	0	+	-	0
Угрозы проекта	У1	+	0	-	-
	У2	-	-	+	0

В случае, когда две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе.

В рамках **третьего этапа** должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 7).

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Таблица 7 – Итог SWOT-анализа

	<i>Сильные стороны НИ:</i> С1. Возможность получения новых, никем ранее не полученных результатов С2. Применение полученных результатов в различных направлениях модернизации теплотехнических технологий в энергетике С3. Новое высокотехнологическое оборудование	<i>Слабые стороны НИ:</i> Сл1. Присутствие серьёзных конкурентов Сл2. Высокая стоимость оборудования Сл3. Большое количество экспериментов Сл4. Требуется много времени
<i>Возможности:</i> В1. Новые теоретические знания, научные термины В2. Опыт проведения экспериментальных исследований В3. Освоение нового оборудования и программного обеспечения	Самая сильная сторона проекта: применение полученных результатов в различных направлениях модернизации теплотехнических технологий в энергетике	Возможность получения новых теоретически в данной области исследований вызывает большую конкуренцию
<i>Угрозы:</i> У1. Появление новых, активных и целеустремлённых конкурентов У2. Большая погрешность измерений	Наибольшие риски для стороны: возможность получения новых, никем ранее не полученных результатов	Нет выраженных опасных сторон проекта

Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Реализация метода предусматривает следующие этапы.

- Точная формулировка проблемы исследования.
- Раскрытие всех важных морфологических характеристик объекта исследования.

При использовании морфологического подхода следует предложить не менее трех вариантов решения технической задачи, поставленной в работе, которые будут использоваться в дальнейших расчетах.

Объектом исследования, является тепловой насос, работающий в условиях низких температур. К агрегату подключен дополнительный циркуляционный контур и вентилятор. Важная часть оборудования, занимающаяся мониторингом параметром теплового насоса, измеритель температур с термопарами.

Таблица 8 – Морфологическая матрица для теплового насоса

	1	2	3
А. Компрессор	Компрессор Атлант СКО-75 Н5-02 Компрессор герметичный для бытовых холодильников	Компрессор Coperland ZH с системой улучшенного впрыска	Спиральный компрессор Bristol с низким уровнем шума
Б. Испаритель и конденсатор	Спиральный теплообменник	Витой теплообменник	U-образный теплообменник
В. Измеритель температур	Восьмиканальный ОВЕН Укт38	<u>Многоканальный</u> <u>PCE-779N</u>	Многоканальный CENTER 304
Г. Циркуляционный насос	Мокрый ротор	Сухой ротор: сальниковое уплотнение	Сухой ротор: скользящее торцевое уплотнение
Д. Вентилятор	Осевой	Центробежный	Диаметральный

Варианты решения технической задачи:

- основной: А1Б1В1Г1Д1,
- альтернативные: А2Б3В3Г3Д2, А3Б2БВ1Г2Д3.

Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;

- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень работ и распределение исполнителей

№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Выбор темы и направления эксперимента	Руководитель, студент
2	Поиск статей на данную тематику, проведение обзора	Студент
3	Составление плана проведения эксперимента и выбора метода обработки данных. Постановка целей и задачи исследования	Руководитель, студент
4	Закупка необходимого (недостающего) оборудования, инструментов, дополнительных деталей	Руководитель, студент
5	Установка и подключение всего оборудования	Руководитель, студент
6	Установка (обновление) необходимого программного обеспечения	Руководитель, студент
7	Проведение эксперимента	Студент
8	Обработка результатов	Студент
9	Проведение дополнительных экспериментов с целью перепроверки неверных результатов и оценки повторяемости эксперимента	Студент
10	Обработка дополнительных результатов	Студент
11	Сравнение результатов с результатами, полученными ранее другими экспериментаторами, определение новизны и написание выводов	Руководитель, студент
12	Оформление проделанной работы, составление пояснительной записки	Студент
13	Проверка проекта	Руководитель

Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 1}{5} = 1 \text{ чел. -дн.},$$

где:

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ раб. дн.},$$

где:

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

$T_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни.

В 2019 году 365 календарных дней. При пятидневной рабочей неделе с двумя выходными днями будет 247 рабочих дней, включая 5 сокращенных на один час предпраздничных рабочих дней, и 118 выходных и нерабочих праздничных дней.

Коэффициент «календарности» определяется по следующей формуле:

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

где:

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

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,4777.$$

Продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 0,5 \cdot 1,4777 = 0,739 \Rightarrow 1 \text{ кал. дн.},$$

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

Рассчитанные значения в календарных днях округляем до большего целого значения.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоёмкость работ									Исполнители	T _{pi} , раб. дн.			T _{ki} , кал. дн.		
		t _{min} , чел-дн.			t _{max} , чел-дн.			t _{ож} , чел-дн.				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
1	Выбор темы и направления проведения эксперимента	1	1	1	1	1	1	1	1	1	С	0,5	0,5	0,5	1	1	1
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	Р	0,5	0,5	0,5	1	1	1
2	Поиск статей на данную тематику, проведения обзора	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	С	8,2	8,2	8,2	13	13	13
3	Составление плана проведения эксперимента и выбора метода обработки данных. Постановка целей и задач исследования	3	3	3	5	5	5	3,8	3,8	3,8	С	1,9	1,9	1,9	3	3	3
		1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,7	2	2	2
4	Закупка необходимого (недостающего) оборудования, инструментов, дополнительных деталей	12	12	12	20	20	20	15,2	15,2	15,2	С	7,6	7,6	7,6	12	12	12
		8	8	8	12	12	12	9,6	9,6	9,6	Р	4,8	4,8	4,8	8	8	8
5	Установка, подключение всего оборудования	3	3	3	6	6	6	4,2	4,2	4,2	С	2,1	2,1	2,1	4	4	4
		1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Р	0,9	0,9	0,9	2	2	2
6	Установка (обновление) необходимого программного обеспечения	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	С	1,2	1,2	1,2	2	2	2
		1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,7	2	2	2
7	Проведение эксперимента	15	15	15	20	20	20	17	17	17	С	17	17	17	26	26	26

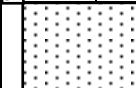
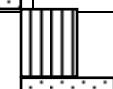
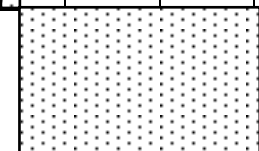
Продолжение таблицы 10

8	Обработка результатов	5	5	5	8	8	8	6,2	6,2	6,2	С	6,2	6,2	6,2	10	10	10
9	Проведение дополнительных экспериментов с целью перепроверки неверных результатов и оценки повторяемости эксперимента	10	10	10	12	12	12	10,8	10,8	10,8	С	10,8	10,8	10,8	16	16	16
10	Обработка дополнительных результатов	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	С	3,4	3,4	3,4	6	6	6
11	Сравнение результатов с результатами, полученными ранее другими экспериментаторами, определение новизны и написание выводов	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	С	1,2	1,2	1,2	2	2	2
		1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,7	2	2	2
12	Оформление проделанной работы, составление пояснительной записки	4	4	4	8	8	8	5,6	5,6	5,6	С	5,6	5,6	5,6	9	9	9
13	Проверка проекта	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Р	1,8	1,8	1,8	3	3	3

Р – руководитель; С – студент.

На основе таблицы 10 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 11 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 11 – Календарный план-график проведения НИОКР

Вид работы	Исполнители	Т _{кi} , дней	Продолжительность выполнения работ										
			февраль		март			апрель			май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Выбор темы и направления проведения эксперимента	Руководитель, студент	1 1											
Поиск статей на данную тематику, проведение обзора	Студент	13											
Составление плана проведения эксперимента и выбора метода обработки данных. Постановка целей и задач исследования	Руководитель, студент	2 3											
Закупка необходимого оборудования, инструментов, дополнительных деталей	Руководитель, студент	8 12											
Установка, подключение всего оборудования	Руководитель, студент	2 4											
Установка (обновление) необходимого программного обеспечения	Руководитель, студент	2 2											
Проведение эксперимента	Студент	26											

Продолжение таблицы 11

Вид работы	Исполнители	Т _{кi} , дней	Продолжительность выполнения работ										
			февраль		март			апрель			май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Обработка результатов	Студент	10											
Проведение дополнительных экспериментов с целью перепроверки неверных результатов и оценки повторяемости эксперимента	Студент	16											
Обработка дополнительных результатов	Студент	6											
Сравнения результатов с результатами, полученными ранее другими экспериментаторами, определение новизны и написание выводов	Руководитель, студент	2 2											
Оформление проделанной работы, составление пояснительной записки	Студент	9											
Проверка проекта	Руководитель	3											

Студент	Руководитель

Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на основное оборудование для научно-экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат НТИ

Для выполнения данной ВКР требуются материальные затраты на:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Расчет материальных затрат осуществляется формуле (для термопар):

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расхi} = (1 + 0) \cdot 200 \cdot 8 = 1600 \text{ руб.},$$

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

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты НТИ представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Термопары	шт.	8	8	8	200	200	200	1600	1600	1600
Канцелярские товары (ручка, карандаш, линейка, ластик, тетрадь, салфетки)	шт.	1	1	1	500	500	500	500	500	500
Изолента	шт.	1	1	1	25	25	25	25	25	25
Источник света «Edmund optics worldwide mi-150»	шт.	1	1	1	6430	6430	6430	6430	6430	6430
Модуль вывода термопар на ПК	шт.	1	1	1	7530	7530	7530			
Итого:		11	3	11	14685	14685	14685	16085	16085	16085

Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле (для компрессора):

$$A_{год} = \frac{C_{перв}}{T_{пи}} = \frac{2761}{5} = 552,2 \text{ руб.},$$

где:

$C_{перв}$ – первоначальная стоимость, руб;

$T_{\text{пи}}$ – время полезного использования, год.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Затраты на оборудование для научно-экспериментальных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Сумма амортизационных отчислений,руб.
1	Компрессор	1	2761	552,2
2	Испаритель и конденсатор	2	1000	200
3	Измеритель температур	1	8340	1668
4	Циркуляционный насос	1	1200	240
5	Вентилятор	1	700	100
Итого		6	14001	2760,2

Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада (для руководителя):

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = 21314 + 3197,1 = 24511,1 \text{ руб.},$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле (для руководителя):

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p = 1065,7 \cdot 20 = 21314 \text{ руб.},$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (для руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{25105,6 \cdot 10,4}{245} = 1065,7 \text{ руб.},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

В таблице 14 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
• выходные дни:	52	52
• праздничные дни:	14	14
Потери рабочего времени		
• отпуск:	48	48
• невыходы по болезни:	7	7
Действительный годовой фонд рабочего времени	245	245

Месячный должностной оклад работника (для руководителя):

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 12070 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 25105,6 \text{ руб.},$$

где:

$Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{с1} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Разряд	$Z_{тс}$, руб.	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель							
3	12070	0,3	1,3	25105,6	1065,7	20	21314
Студент							
1	8600	0,3	1,3	17888	759,3	104	78967,2
Итого							100281,2

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле (для руководителя):

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 21314 = 3197,1 \text{ руб.},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 16.

Таблица 16 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{зн}$, руб.
Руководитель	21314	3197,1	24511,1
Бакалавр	78967,2	11845,1	90812,3
Итого	100281,2	15042,2	115323,4

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

$$З_{внеб} = 0,28 \cdot (21314 + 78967,2 + 3197,1 + 11845,1) = 32290,6 \text{ руб.},$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 01.04.2019 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %. На основании пункта 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2019 году водится пониженная ставка – 28% .

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	21314	3197,1
Бакалавр	78967,2	11845,1
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,28	
Итого:	32290,6	

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

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

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 %.

$$\begin{aligned} З_{\text{накл}} &= 0,16 \cdot (16085 + 14001 + 100281,2 + 15042,2 + 32290,6) \\ &= 28432 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	16085	16085	16085	таблица 10
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	14001	14001	14001	таблица 11
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	100281,2	100281,2	100281,2	таблица 13

Продолжение таблицы 18

4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15042,2	15042,2	15042,2	таблица 14
5. Отчисления во внебюджетные фонды	32290,6	32290,6	32290,6	таблица 15
6. Накладные расходы	28423	28432	28432	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	206123	206123	206123	Сумма ст. 1-6

Как видно из таблицы 18 основные затраты НТИ приходятся на заработную плату исполнительской темы.

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{154061,3}{154061,3} = 1,$$

где:

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

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

Φ_{max} — максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{ri} = \sum a_i \cdot b_i = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,7,$$

где:

I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки; устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Данные показателя ресурсоэффективности приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,1	4	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4	4
3. Энергосбережение	0,15	5	4	5
3. Надежность	0,20	4	5	4
4. Воспроизводимость	0,25	5	4	4
5. Материалоемкость	0,15	5	5	4
ИТОГО	1	28	25	25

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом для проектирования с позиции ресурсосбережения.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}} = \frac{4,7}{1} = 4,7.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 2-) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\Xi_{\text{ср}}$):

$$\Xi_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}} = \frac{4,7}{4,45} = 1,06.$$

Таблица 20 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,45	4,15
3	Интегральный показатель эффективности	4,7	4,45	4,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,06	1,07	0,88

Вывод: сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что предпочтительным для получения винилацетата является первый вариант исполнения, так как данный вариант исполнения является наиболее экономичным и ресурсоэффективным, но и второй вариант не уступает в эффективности.

В рамках данного раздела ВКР была проведена оценка конкурентоспособности конструирования системы теплового насоса по сравнению с другими вариантами, рассчитан показатель, оценивающий перспективность данной компоновки, который определяет уровень перспективности как «выше среднего». Был составлен перечень этапов работ и определена их трудоемкость, построен календарный план-график выполнения работ. Рассчитан ориентировочный бюджет на создание научной разработки, а также проведена оценка эффективности научного исследования с позиции ресурсосбережения и сравнительная эффективность разработки.