

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки Физика
Кафедра Теплоэнергетики и теплотехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

УДК 621.577.004:621.59

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ФМ41	Именов Абдулла Акбержанович		

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	Фигурко А. А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Антоневич О. А.	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

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

Институт

Направление подготовки (специальность) Физика

Кафедра

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ

Теоретической и промышленной теплотехники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Кузнецов Г.В.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5ФМ41	Именову Абдулле Акбержановичу

Тема работы:

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№10155/с от 28.12.2015

Срок сдачи студентом выполненной работы:

16.06.2016

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 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.

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>	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	Презентация 24 слайда
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко А. А.
Социальная ответственность	Антоневич О. А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1 Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10 сентября 2014
---	-------------------------

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
5ФМ41	Именов Абдулла Акбержанович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ФМ41	Именову Абдулле Акбержановичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Теплоэнергетики и теплотехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Физика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет.	
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. «Портрет» потребителя результатов НТИ 2. Таблицы оценки вариантов проведения исследования 3. График проведения и бюджет НТИ	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А. А.	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ФМ41	Именов Абдулла Акбержанович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ФМ41	Именову Абдулле Акбержановичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ТПТ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Физика и техника низких температур

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Рабочая жидкость – фреон R134a, Водопроводная вода, пенопласт, изоленга. скотч. Рабочая зона выполнена из медной трубки, корпус из текстолита. Фреон изначально находится в рабочем цикле устройства. Фиксируются температуры в узловых точках установки, жидкости в камерах конденсатора, испарителя, и окружающей среды, а также толщины обледенения трубки в камере испарителя.</i>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	– Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий СНиП СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 – электромагнитные поля в производственных условиях СанПин 2.2.4.1191-03 – отклонение показателей микроклимата СанПиН 2.2.4.548-96 – статическое электричество ГОСТ 12.1.045–84 – опасность поражения электрическим током ГОСТ 1516.3-96
1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	- электробезопасность (средства защиты). СНиП 2.09.04.77
2. Экологическая безопасность:	– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы: люминесцентные лампы, твердые бытовые отходы: бумажные, пластиковые); – утилизация люминесцентных ламп и твердых бытовых отходов по регламенту СанПиН 2.1.7.1038-01

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	– пожар (причиной возникновения пожара может стать нарушение противопожарного режима, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– организация рабочей зоны по регламенту ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ФМ41	Именов Абдулла Акбержанович		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 03.04.02

Физика, магистратура

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>	
P1	Понимает необходимость самостоятельного обучения и повышения квалификации в течение всего периода профессиональной деятельности.
P2	Проявляет способность эффективно работать самостоятельно в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, быть лидером в команде, консультировать по вопросам проектирования научных исследований, а также быть готовым к педагогической деятельности.
P3	Умеет находить зарубежных и отечественных партнеров, владеет иностранным языком, позволяющим работать с зарубежными партнерами с учетом культурных, языковых и социально-экономических условий.
P4	Проявляет понимание используемых методов, области их применения, вопросов безопасности и здравоохранения, юридических аспектов, ответственности за профессиональную деятельность и ее влияния на окружающую среду.
P5	Следует кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научно-исследовательской деятельности.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P6	Проявляет глубокие естественнонаучные, математические профессиональные знания в проведении научных исследований в перспективных областях профессиональной деятельности.
P7	Принимает участие в фундаментальных исследованиях и проектах в области физики металлов и материаловедения, а также в модернизации современных и создании новых методов изучения механических, электрических, магнитных, тепловых свойств твердых тел.
P8	Способен обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научной деятельности.
P9	Способен применять полученные знания для решения нечетко определенных задач, в нестандартных ситуациях, использует творческий

	подход для разработки новых оригинальных идей и методов исследования в области физики металлов, материаловедения и термообработки.
P10	Способен планировать проведение аналитических имитационных исследований по профессиональной деятельности с применением современных достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области научных исследований, умеет критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делает выводы, знает правовые основы в области интеллектуальной собственности.
P11	Умеет интегрировать знания в различных и смежных областях научных исследований и решает задачи, требующие абстрактного и креативного мышления и оригинальности в разработке концептуальных аспектов проектов научных исследований.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация 177 с., 26 рис., 17 таблицы, 57 источников, 2 прил.

Ключевые слова: обмерзание, теплонасосная установка, испаритель, конденсатор, компрессор, толщина льда, скорость обледенения, температурный перепад, тепловой поток, коэффициент теплоотдачи.

Объектом исследования является ТНУ при низкотемпературном режиме эксплуатации.

Цель работы – экспериментальное исследование процесса обледенения испарителя и влияние эффекта на эксплуатацию теплонасосной установки.

В результате работы получены значения температур в узловых точках установки, на поверхности трубки испарителя и в объёме низкопотенциального источника, определены зависимости влияния обморожения в камере испарителя на процессы теплообмена теплонасосной установки.

В результате исследования получены экспериментальные данные о влиянии эффекта обледенения на работу ТНУ, проведён расчёт работы цикла теплонасосной установки. Получены коэффициенты теплоотдачи, которые являются одним из главных показателей работы ТНУ.

Степень внедрения – полученные результаты могут быть использованы для усовершенствования проектирования и прогнозирования работы ТНУ в условиях низких температур.

Область применения – экспериментальная ТНУ применима в учебном процессе для курсов, связанных с изучением процессов тепломассообмена.

Метод исследования – экспериментальный.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word, Excel 2016, с использованием программ КОМПАС-3D V15, Coolpack и Math Type.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Определения

В настоящей работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

ТНУ – теплонасосная установка — устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой

Компрессор – (от лат. compressio — сжатие) — энергетическая машина или устройство для повышения давления (сжатия) и перемещения газообразных веществ.

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

Дроссель - устройство, постоянное проходное сечение которого значительно меньше сечения подводящего трубопровода. Дроссель регулирует расход, изменяя параметры течения среды, протекающей через него. Одним из видов дросселя является жиклёр.

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 – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом в серии повторных измерений одной и той же величины, проведенных в одних и тех же условиях.

Систематическая погрешность измерений – погрешность, 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;

ТБО – твердые бытовые отходы.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»;
2. СП 52.13330.2011. «Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95»;
3. СНиП 23-05-95. «Естественное и искусственное освещение»;
4. ГОСТ 12.1.006-84. «ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»;
5. СанПин 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»;
6. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»;
7. СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»;
8. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;

9. ГОСТ 12.1.045-84 «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»;
10. ГОСТ 12.4.124-83 «ССБТ. Средства защиты от статического электричества»;
11. РД 39-22-113-78 «Временные правила защиты от проявлений статического электричества на производственных установках и сооружениях нефтяной и газовой промышленности»;
12. СНиП 3.05.06-85 «Электротехнические устройства»;
13. ГОСТ 1516.3-96 «Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции»;
14. СНиП 2.09.04.77 «Административные и бытовые здания»;
15. ГН 2.2.5.1313-03 «ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны»;
16. ГОСТ 17.4.1.02-83 «Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения»;
17. СанПиН 2.1.7.1038-01 Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов;
18. СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;
19. ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»;
20. СанПиН 2.2.2.542 – 96 «Гигиенические требования к видео-дисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1 Обзор литературы	16
1.1 Уровень развития теплонасосной техники.....	16
1.2 Описание схемы работы ТНУ.....	32
1.3 Совершенствование конструкций компрессоров ТН.....	35
1.4 Совершенствование теплообменной аппаратуры ТНУ.	35
1.5 Исследование эффективности эксплуатации различных НПИТ.	41
1.6 Оптимизация энергоэкономических параметров ТСТ.....	51
2 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	53
2.1 Описание экспериментального стенда	53
2.2 Принцип действия экспериментальной установки	55
2.3 Методика проведения экспериментальных исследований.....	57
2.4 Программное обеспечение	61
2.5 Выбор области изменения основных факторов.....	62
2.6 Выбор схемы проведения экспериментальных исследований.....	62
2.7 Основные размерные параметры.....	64
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	66
Введение.....	66
4.1 SWOT - анализ.....	67
4.2 Экспертная оценка	70
4.3 Календарный план	73
4.4 Смета. Бюджет проекта	77
4.5 Ресурсоэффективность	81
4.6 Экономическая эффективность	83

ВВЕДЕНИЕ

Неуклонный рост объёмов промышленного производства, качественно новый уровень требований комфортности и улучшение условий проживания населения как в городах, так и в сельских населенных пунктах требуют все возрастающих поставок топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). На нужды теплоснабжения жилых и общественных зданий, около 40% из которых составляет малоквартирная и индивидуальная жилая застройка, расходуется свыше 450 млн. т. органического топлива при ежегодном увеличении на $6 \div 8$ млн. т за счет ввода в действие новых.

Сегодня использование низко- потенциальной энергии земли, воды, воздуха- это один из наиболее эффективных способов снизить уровень теплового загрязнения планеты Земля и предоставить обществу эффективную и экономичную альтернативу традиционным системам жизнеобеспечения.

Климат Западной Сибири резко- континентальный, предельно суровый, из-за мощного влияния Ледовитого океана. Продолжительность отопительного периода составляет в среднем 7-8 месяцев. 4/5 территории Западной Сибири имеет влажный климат. Регион богат поверхностными и подземными водами и геотермальными источниками. Томская область входит в состав Западной Сибири, следовательно, ей присуще все данные характеристики. Внедрение тепло- насосных установок для обогрева жилых зданий, помещений, приведёт к существенной экономии на закупки угля, нефти и газа.

Основная цель работы - экспериментальное определение зависимостей скорости обледенения и коэффициента теплоотдачи от перепада температур в камере испарителя при охлаждении жидкости до 0°C .

Для достижения поставленной цели следует решить следующие задачи:

- разработка методики проведения экспериментальных исследований процессов фазового перехода теплоносителя в элементах ТНУ.

- проведение экспериментальных исследований, подготовка стенда к работе при разных начальных температурах в камере испарителя;
- анализ и обобщение результатов эксперимента, построение зависимостей, расчёт параметров необходимых для анализа работы ТНУ

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Уровень развития теплонасосной техники

Из всех форм производимой энергии наиболее масштабное использование находят два ее вида - теплота низкого (150°C) и среднего ($150\div 350^{\circ}\text{C}$) потенциала и электрическая энергия, на производство которых затрачивается в настоящее время в нашей стране свыше 55% всех используемых первичных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

В быту и промышленности масштабно использовалась теплота среднего и низкого. Практически половина всей тепловой энергии производится более или менее традиционным способом – на ТЭЦ, в котельных промышленных предприятий, квартальных и районных котельных, в теплоутилизирующих оборудовании промышленных предприятий. Вторая часть – в различных малоэкономичных котельных и в других источниках теплоты. Поэтому выбор рациональных методов производства тепла для обеспечения низкотемпературных процессов является одной из главных научно-технических проблем энергетического развития России.

В настоящее время интерес к тепловым насосам не был так велик, как это происходит сегодняшний день. Доказательством этому является увеличение количества статей в научно-технической, рекламной и патентной литературе, регулярно проводятся международные конференции и совещания, разрабатываются энергосберегающие программы, в которых важным моментом является развитие теплонасосной технологии.

В настоящее время за рубежом теплонасосные установки получили масштабное распространение в системах теплоснабжения различных объектов гражданского и промышленного строительства.

Перспектива использования тепловых насосов в энергоснабжении Кузбасса. Так как ситуация с загрязнением экологии и ростом цен на

органическое топливо заставляют задуматься об использовании нетрадиционных источников энергии.

На практике интерес тепловым насосам начал серьёзно проявляться в последние годы, связано это с утилизацией низпотенциального энергоресурса и использованием альтернативных источников энергии. Использование таких источников энергии позволяет решить одновременно несколько столь важных вопросов которые волнуют всё население нашей планеты: энергоснабжение производства (водоснабжение, отопление), обеспечение энергонезависимости, экономическая выгода, защита окружающей среды.

Экономические и энергетические показатели теплонасосных установок напрямую связаны с характеристиками низкопотенциального источника.

Показателем эффективности работы теплового насоса будет соотношение количества тепловой и потребляемой электрической энергии, коэффициентом трансформации. Данный показатель зависит от разности между температурами источника низкопотенциального тепла и тепла, поступающего к потребителю. Смысл теплового насоса в том, что при минимальной разнице между температурами источника тепла и холодного рабочего тела, а также между температурами горячего тела и нагреваемой средой достигается максимальный полезный эффект трансформации низкопотенциального тепла в тепло для нужд потребителя.

Решению поставленных задач в значительной степени способствует создание теплонасосных установок (ТНУ), использующих тепло, рассеянное в окружающей среде, или утилизирующих вторичные энергоресурсы промышленного производства. ТНУ позволяют более рационально использовать ТЭР, частично исключить загрязнение экологии. Наряду с выработкой тепла, тепловые насосы одновременно генерируют холод, который может быть использован для создания недорогих систем кондиционирования воздуха в жилых, общественных и промышленных

зданиях, а также для хранения скоропортящихся продуктов и некоторых видов сырья для пищевой, мясомолочной и фармацевтической промышленности.

В Томской, как и в Кузбассе перспектива использования теплонасосных установок обусловлена наличием возобновляемыми источника энергии. Так как Томская область энергетически обеспеченная область, но тем менее имеются места где экономически целесообразно использование автономных эффективных средств производства энергии, например, на фермах, образовательных, административных учреждениях.

В качестве низкопотенциального источника рассматриваются два примера, использование тепловых насосов на животноводческих фермах и при утилизации шахтных вод. На фермах имеются множество оборудования, которые необходимы для производства продукции. Оборудование, которые при своей ежедневной работе выделяют необходимое тепло. Предприятиями угольной промышленности ежегодно сбрасывается 2,4 млрд. м³ шахтных вод, из чего половина имеет температуру до 25 °С.

Препятствием использования тепловых насосов для широкого распространения является такое заблуждение в том, что традиционная энергия, которая в настоящее время всё с большими темпами добывается хватит на наш век. Пренебрежительное отношением к альтернативным источникам энергии. На сегодня можно с сожалением сделать вывод о том, что практическое внедрение теплонасосных установок в России, имеет такой популярности как за рубежом для отопления жилого здания.

В последнее время использование экологически чистой и доступной возобновляемой энергии привлекают все больше внимания. По прогнозам возобновляемые источники энергии (солнечная энергия, энергия биомассы и ветра, геотермальная энергия) уже в течении 15-20 лет должны занять существенное место в мировом энергетической ситуации. Главным отличием установок альтернативной энергетики от традиционной является отсутствие энергетических затрат на топливо. Основные затраты для изготовления таких

установок являются затраты на производство оборудования и строительство сооружений и зданий.

Начав своё интенсивное развитие в 1973г. (после энергетического кризиса) нетрадиционной энергетикой был накоплен весомый опыт практического применения возобновляемых источников энергии. Как уже известно ведущими странами в этой области являются Германия, Австралия, Великобритания, Япония, США.

Основной целью использования альтернативных источников является:

- сокращения потребления традиционного топливного ресурса;
- улучшение экологической ситуации;
- автономное энергообеспечение отдалённых потребителей;
- снижение затрат на транспортировку топлива.

Во многих странах Европы уже нашли своё практическое применение в теплоснабжении комбинированные теплонасосные установки. Единственный недостаток комбинированных систем в летнее время — это то, что потенциал установки полностью не используется. Однако при использовании абсорбционных теплонасосных установок возможно для кондиционирования здания в летнее время.

Петротермальная энергия для теплоснабжения позволяет использовать энергии с глубин до 3000 м. Результатом данного вида использования возобновляемой энергии является снижение себестоимости тепло-холодоснабжения. Скважина предназначена для круглогодичного использования:

в холодный период - производственные нужды и коммунально- бытовые (горячее водоснабжение, отопление и вентиляцию);

в тёплый период - на производственные нужды, коммунально-бытовые (горячее водоснабжение) и холодоснабжение.

Для развития жизненно- важных услуг, таких как здравоохранение, транспорт, образование, питание и многие другие отрасли народного хозяйства тесно связано с энергией, следовательно, развитие данной отрасли будет ключевым звеном глобальной экономики. В сфере энергетики ожидаются тенденции такого плана:

- развитие альтернативного, доступного вида топлива и использование биотоплива;
- биоэнергетика, правда развитие и реализация технологий в данном виде энергетики будет достаточно дорогостоящим.
- биотопливо, прогресс в данной области производства биотоплива может снизить его стоимость и увеличить рыночную доли, развитие данной технологии пока отстаёт в практическом применении;
- распространение технологий энергосбережения, создание «умных – домов», «умных - сетей»;
- децентрализация энергоснабжения, прогресс в отрасли энергоэффективности;
- появление инновационных систем аккумулирования энергии;
- новое поколение топливных элементов;
- геотермальная энергия; снижение затрат на разведку, бурение.

Максимально возможные запасы газа доступные для добычи в России долгосрочной перспективе (после 2025г.) составляет 850-875 млрд. куб. м. Такая же информация по добыче нефти составляет 550-580 млн. т.

Таблица 1.1 – мировой опыт использования низкопотенциальных источников энергии

№ п/п	Страна	Мощность оборудования, МВт	Произведенная энергия, ТДж/год
1	США	4800	12 000,0
2	Швеция	377	4 128,0
3	Канада	360	891,0
4	Германия	344	1149,0
5	Швейцария	300	1 962,0
6	Австрия	228	1094,0
7	Финляндия	80,5	484,0
8	Франция	48,0	255,0
9	Польша	26,2	108,3
10	Австралия	24,0	57,6
11	Литва	21,0	598,8
12	Болгария	13,3	162,0
13	Нидерланды	10,8	57,4
14	Чехия	8,0	38,2
15	Норвегия	6,0	31,9
16	Сербия	6,0	40
17	Исландия	4,0	20
18	Япония	3,9	64
19	Венгрия	3,8	20,2
20	Дания	3,0	20,8
21	Словения	2,6	46,8
22	Словакия	1,4	12,1
23	Италия	1,2	6,4

продолжение таблицы 1

24	Россия	1,2	11,5
25	Великобритания	0,6	2,7
26	Турция	0,5	4
27	Греция	0,4	3,1
	Всего:	6675,4	23268,9

Во всемирной практике известны нижеследующие правительственные меры относительно тепловых насосов:

- в Германии были введены льготы на тарифы электроэнергии, потребляемые ТНУ, субсидирование 25% от начального капиталовложения на теплового насоса, но не более 6 тыс. долл. США на один дом. Снижение налогов в размере 10% в течении 10 лет;
- во Франции предусматривались субсидии на покупку и снижения налога на затраты, связанные с заменой бойлера на тепловой насос;
- в Швеции субсидировалось покупку и монтаж теплового насоса (3 тыс. шведских крон (700 долл. США) на один дом);
- в Дании с 1980г. министерство энергетики финансировала программу внедрения тепловых насосов. Была предусмотрена 10%-ая ссуда и долгосрочный кредит на покупку, и установку тепловых насосов;
- в Австрии фирмам, использующим ТН, установлена финансовая дотация до 100 тыс. шиллингов. Семье, приобретающей ТН для отопления, предусмотрены льготные выплаты в размере 10 тыс. шиллингов в год на одного взрослого и 5 тыс. шиллингов в год на ребенка, если расходы на теплонасосную установку превышают 5 тыс. шиллингов в год;
- в Японии министерством энергетики созданы научно-исследовательские центры по теплонасосным установкам.

При разрабатывании правительственных программ для экономии энергии существенное внимание уделяется вопросам уменьшения использования жидкого топлива и уменьшению зависимости от его импорта. Вдобавок это касается не только стран Европы, не имеющих своих собственных природных ресурсов, но и таких стран, как США, имеющих крупные запасы полезных ископаемых и нефте-газовых месторождениями. Акцент при этом делается на применение нетрадиционных и альтернативных источников энергии и на их утилизацию с помощью теплового насоса.

Следует отметить следующее. Какими бы не были прогнозы экспертов, как бы не отличались данные о количестве произведенных, проданных и пущенных в эксплуатацию тепловых насосов, приводимые в различных источниках (а они отличаются, и очень сильно мировой опыт доказывает то, что тепловые насосы получают все большее признание в мире. Это один из наиболее эффективных источников тепловой энергии, особенно в децентрализованных системах теплоснабжения.

В США и Японии наибольшее распространение получили тепловые насосы типа воздух-воздух небольшой от 1 до 4 кВт тепловой мощности в системах круглогодичного кондиционирования и подогрева воздуха в жилых зданиях. Наибольшим спросом подобные установки пользуются в районах, где нагрузки на отопление в зимний период времени соизмеримы с нагрузками на охлаждение воздуха летом, а расчетная температура наружного воздуха для отопления достаточно высока. Во Франции широкое развитие получили тепловые насосы типа воздух-вода с электроприводом компрессора, поскольку климатические условия большинства районов страны позволяют достаточно эффективно использовать наружный воздух в качестве НПИТ в системах отопления.

В зимние условия и низкие температуры наружного воздуха (-5°C до -15°C) в Германии не позволяют в должной мере использовать воздух как источник низкопотенциального тепла для теплового насоса. Это обстоятельство

способствовало тому, что в Германии в основном производятся теплонасосные установки вида вода-вода. Водно-водяные тепловые насосы находят массовое применение в теплоснабжении объектов гражданского и промышленного строительства, где технологические и природные условия образуют условия для применения в качестве низкопотенциального источника теплоты сточных вод, грунтовых или поверхностных вод, а также тепло грунта. Потому как в жилищном фонде Германии высокая доля отдельных зданий, то 90% тепловых насосов, применяемых в системах отопления, поставляют теплоснабжение в здания с одной- двумя квартирами. Более 60% теплоснабжения с помощью ТН обеспечивается основная часть годового графика теплопотребления системы отопления при температурах наружного воздуха -3°C , а пиковая доля графика покрывается с помощью электрических или топливных котлов (комбинированные системы). В отсутствии в системах теплоснабжения топливных котлов или электрических здания полностью обеспечивается ТНУ, что, как правило, экономически нецелесообразно. Подавляющее большинство тепловых насосов, устанавливаемых в индивидуальных зданиях, оснащается электроприводом. Основным препятствием для широкого внедрения в качестве привода бытовых тепловых насосов двигателя внутреннего сгорания (ДВС) являются высокий уровень шума. В свою очередь в теплонасосных установках, используемых для теплоснабжения промышленных предприятий, жилых микрорайонов, крупных зданий и сооружений, применение ДВС и газовых двигателей предпочтительнее электропривода, поскольку за счет утилизации теплоты уходящих газов и охлаждения корпуса двигателя улучшаются энергетические показатели таких тепловых насосов, а экономия топлива при их использовании достигает 60%. В настоящее время на мировом рынке представлены такие производители тепловых насосов как SULZER (Швейцария), OCHSNER (Австрия), VIESSMANN, WATERKOTTE, VAILLANT, STIEBEL ELTRON (все - Германия), CLIMAVENETA (Италия), CARRIER, AERTEC, LENNOX (США), PZP KOMPLET, G-MAR (обе - Чехия), MECMASTER, ASEA-STAL, THERMIA, IVT (все - Швеция). К тому же, в

летний период давно используются чиллеры и кондиционеры с режимом "отопление" от таких известных марок производителей холодильной техники, как CARRIER, YORK (обе - США), CLIVET (Италия), HITACHI, DAIKIN (обе - Япония) и др.

Область практического применения тепловых насосов не ограничивается только лишь производством тепловой энергии для нужд отопления и горячего водоснабжения. Огромное количество примеров использования тепловых насосов в промышленности: химической, пищевой, микробиологической и фармацевтической, деревообрабатывающей и в сельском хозяйстве. Эффективность применение теплового насоса в промышленности обуславливается в первую очередь вследствие того, что на многих промышленных предприятиях более двух третей теплоснабжения приходится на технологические процессы с количеством сбросного тепла до 35÷40%.

Для решения задач теплоснабжения теплонасосных установок зависит от ряда нюансов: важнейшим из которых является географического положения объекта теплоснабжения, климатические и гидрогеологические условия, продолжительность отопительного периода. Теплоснабжение в регионах с продолжительным отопительным периодом, что свойственно для многих регионов РФ. Применение технологии теплонасосной установки актуально в г. Томске в связи с неограниченными ресурсами природного и техногенного низкопотенциального тепла водных источников. Использование теплового насоса в жилищно-коммунальном хозяйстве, в промышленности где источником низкопотенциального тепла выступают такие виды ресурсов:

- теплота воздуха, выбрасываемая из систем вентиляции и кондиционирования воздуха жилых, промышленных и общественных зданий;
- теплота охлаждающей воды паровых турбин АЭС и ТЭЦ, поступающая в градирни и аппараты воздушного охлаждения;

- теплота технического масла, применяемого в электрических трансформаторах и в турбинах электростанций;
- тепло охлаждающей воды промышленных печей, теплообменных аппаратов химической, многоступенчатых компрессорных установок, пищевой, фармацевтической отрасли и т.д.
- теплота канализационных, сточных вод различных промышленных предприятий и предприятий жилищно - коммунального хозяйства (прачечные, бассейны, сауны, оздоровительные комплексы);

Так же для работы теплового насоса можно использовать низкопотенциальное тепло природных ресурсов (естественных):

- теплота воды естественных и искусственных водоёмов (озера, пруды, реки и т.д.);
- тепло грунта;
- теплота наружного воздуха (при плюсовой температуре);
- теплота подземных водных ресурсов;

главным показателем эффективности ТН является коэффициент преобразования (COP coefficient of performance), который определяется как отношения теплопроизводительности теплонасосной установки к мощности, потребляемой компрессором.

В режиме охлаждения для подсчёта эффективности используется холодильный коэффициент EER (energy efficiency ratio), который рассчитывается как отношение холодопроизводительности ТН к мощности, потребляемой компрессором.

$$COP = \frac{Q_r}{N} = \frac{Q_c + N}{N} = EER + 1 = \frac{T_0}{T_k - T_o} + 1;$$

$$EER = \frac{Q_c}{N},$$

где $Q_R [\kappa Bm]$ - энергия, отдаваемая потребителю (теплопроизводительность); $Q_C [\kappa Bm]$ - тепловая энергия, отбираемая у источника низкой температуры (холодопроизводительность); $N [\kappa Bm]$ - затраченная электроэнергия, мощность насоса; $T_k - T_0$ - температуры конденсации и кипения в ТНУ.

В качестве хладагента в ТН используется фреон, но так как зачастую ранние фреоны опасны для озонового слоя атмосферы, данная проблема экологии привела к созданию новых хладагентов нового образца, такого как хладон R134a.

Данный теплоноситель является хладоном третьего поколения, который не разрушает озоновый слой, но влияет на парниковый эффект с потенциалом глобального потепления (грин-фактором) GWP (Global Warming Potential) – интегральная оценка воздействия на парниковый эффект) = 1340 по сравнению с CO_2 , R134a не токсичен и не воспламеняется во всём диапазоне температур.

В Российской Федерации тепловые насосы до настоящего времени не находили обширного применения. В практическом применении тепловых насосов Россия существенно отстала в этой области даже от малых стран. Так, полная тепловая мощность всех теплонасосных установок России составляет, по разным оценкам, всего 1,2 МВт (меньше чем в Люксембурге). Главными причинами, которые вызвали такое серьёзное отставание России в развитии теплонасосной техники, являются:

- практическое отсутствие производство серийно-выпускаемых ТНУ;
- недостаточность номенклатуры и объёмов изготовления серийно-выпускаемых холодильных машин (ХМ), которые можно использовать в режиме теплового насоса;
- крупные затраты на капиталовложения в сооружение ТНУ;

- до сегодняшнего дня очень низкая, цена электроэнергии относительно, стоимости органического топлива и, как следствие, нацеленность на его потребление, что придавало теплонасосному теплоснабжению в принципе экономическую нерентабельность;

- направленность на централизованное теплоснабжение, при еще достаточно неплохом уровне его состояния в 80-е – 90-е годы прошлого столетия;

- невысокий уровень надежности электроснабжения отдалённых пунктов, что усложняло внедрение тепловых установок с электроприводом в автономных (децентрализованных) системах теплоснабжения;

- недостаточность, а целом и отсутствие, экономических поддержки со стороны государства к осуществлению энергосберегающих процедур;

- большая часть страны находится в более суровых климатических условиях по сравнению со странами Западной Европы, Японией, с США, что также ограничивает широкое внедрение теплонасосных кондиционеров и воздухо-водяных ТН.

В настоящее время ситуация на рынке тепловых насосов в России начинает изменяться к лучшему. Однако это не означает, что в нашей стране тепловые насосы стали достойными конкурентами традиционных источников теплоты на органическом топливе. Удивительно то, что до сих пор тепловые насосы не получили широкого применения, в то время, как во всем мире их количество только неуклонно растет, тем более, что южные регионы страны находятся в благоприятной климатической зоне. Главным показателем последних лет является то, что значительный интерес вырос к данному способу производства тепловой энергии. Переход к рынку привел к тому, что цена на топливо для целей теплоснабжения значительно увеличилась, и это вынуждает потребителей теплоты искать альтернативные источники тепловой энергии. Кроме того, в стране появились собственные производители,

специализирующихся только на выпуске ТН, и специализированные фирмы (в Москве (“АК ИНСОЛАР-ИНВЕСТ”), Новосибирске (“ООО “Термонасос”), Нижнем Новгороде (“НПФ Тритон”) и других городах), деятельность которых связана с проектированием и монтажом непосредственно тепловых установок. Именно это обстоятельство было одной из главных причин, которые на протяжении долгого времени сдерживали развитие ТНУ в России.

Разработка и создание теплонасосных компрессоров, и других комплектующих для тепловых насосов, требует весомых капиталовложений. Большинство компаний, разрабатывающих и монтирующих тепловые насосы, использовали, без какой-либо модернизации, оборудование для отечественных холодильных машин соответствующей холодопроизводительности. Другие компании пошли по пути использования чрезвычайно дорогих комплектующих из других стран. Это отражалось либо на качестве изготовления теплонасосной установки, либо на их стоимости и, соответственно, вызывало негативное отношение ко всей идее использования теплового насоса где-либо. Тем не менее часть производителей, а именно, ЗАО “Энергия” и ООО “Термонасос” (г. Новосибирск), завод “Компрессор” (г. Москва) и Рыбинский приборостроительный завод (г. Рыбинск) последовали по пути производства комплектующих (теплообменной аппаратуры, компрессоров, арматуры и автоматики) применимых непосредственно к тем условиям, в которых эксплуатируются тепловые насосы.

ЗАО “Энергия” одно из первых предприятий России, которое освоило производство серийных тепловых насосов: НТ- 100, НТ- 300 (поршневой компрессор); НТ- 500, НТ- 1000, НТ- 3000 (винтовой компрессор) и НТ- 9000 (турбокомпрессор). На данный момент в России уже эксплуатируются больше 70 тепловых насосов производства ЗАО “Энергия” суммарной тепловой мощностью свыше 40 МВт, и только в 2000 г. получено более 200 заявок на производство теплонасосного оборудования для теплоснабжения конкретных объектов.

Мониторинг развития применения тепловых насосов на период 2010 и 2015 годов формируется на оценках производителями потребности в тепловых насосах разной мощности и возможностей их производства. По этим данным к 2005 году должны были быть увеличены производственные мощности для выпуска теплонасосной установки тепловой мощностью до 100 кВт в количестве до 10 000 единиц в год (суммарная тепловая мощность годового выпуска 300.0 МВт).

Для теплового насоса большой тепловой мощности от 500 кВт до 40 МВт после 2005 года предполагается ежегодный ввод в среднем 280 МВт, а после 2010 года до 800 МВт в год. Ситуация связана с тем, что предполагается масштабное использование ТН в системах централизованного теплоснабжения с целью наивысшей возможной утилизации, теряемой низкопотенциальной теплоты.

При таком условии развитии итоговая тепловая мощность годового выпуска ТН в 2015 году составит 1200 МВт. Ожидается, что в 2010 году действующий парк будет вырабатывать до 20 млн. Гкал тепла, а в 2015 году до 45 млн. Гкал. Теплота, вырабатываемая парком ТН, заместит в 2010 году 1,5 млн. ТУТ, а в 2015 году более 3,5 млн. т.у.т.

«Основное положение энергетической стратегии России», утвержденное правительством РФ, главной целью которого является определение путей и условий наиболее эффективного использования энергоресурсов, в различных элементах теплотехнологического оборудования. Одна из основных задач на сегодня – это максимальное использование возможностей альтернативной энергетики, что позволит полностью разобраться с такими проблемами как, энергетика, экология и социально-экономические.

Развитие малоэтажного строительства делает актуальными такие задачи как, разработка, создание и апробация эффективных импортозамещающих парокомпрессионных тепловых насосов (ПКТН) теплопроизводительностью до 100 кВт и конкурентоспособным схем теплонасосных установок на их

основе, адаптированных к сибирским природно- климатическим условиям. В России реализованы отдельные схемы ТНУ, которые являются экспериментальными попытками доказать о возможности практического использования ТНУ в России.

Суммарный КПД электростанции и котельной составляет около 60% (котельная имеет КПД примерно – 80 %, электростанция 35%), а КПД комбинированной системы установок может достичь 90% и даже выше.

Применение централизованных систем теплоснабжения на сегодня имеют следующие недостатки:

- 1) устаревание и физическое ухудшение оборудования котельных и ТЭЦ;
- 2) высокий уровень теплопотерь в тепловых сетях;
- 3) высокая стоимость топлива на котельных и ТЭЦ;
- 4) высокий уровень изнашивания, соответственно, затраты на работу тепловых сетей увеличиваются;
- 5) нарушения гидравлических режимов тепловых сетей, получение таких проблем как «недотопы» и «перетопов» зданий.

В целом необходимо решить ряд научно – техническим проблем для эффективности теплофикации и централизованных систем теплоснабжения. Для решения таких проблем необходимо воспользоваться огромным опытом зарубежных стран по применению энергосберегающих технологий: использование тепловых насосов для обеспечения экономичности и энергоэффективности централизованного теплоснабжения.

1.2 Описание схемы работы ТНУ

Наружная схема представляет собой, например, установленный в землю, в воду или скважину теплообменник, в котором циркулирует незамерзающая жидкость – теплоноситель. Естественным источником низко-потенциального тепла может использоваться река, озеро, скальная пород, море, грунт и др. Искусственным источником низкопотенциального тепла возможно использование, например, выброс теплого воздуха из системы вентиляции промышленного предприятия, используемая в производственных процессах технологическая вода, и др.

Во второй контур вмонтированы: теплообменники – конденсатор, взаимодействующий с отопительным контуром системы, испаритель, взаимодействующий с внешним контуром, устройства, которые меняют давление хладагента – дроссельный клапан и компрессор, и устройства для автоматического контроля тепловым насосом и системы отопления в целом. Следующий – отопительный контур, содержит в себе традиционные радиаторы отопления или системы «теплый пол», бойлеры для нагрева воды и др. теплонасосной установке используются экологически безопасные технологии без вредных выбросов в атмосферу. В мировой практике большое распространение получили теплонасосные установки низкой мощности (до 100 кВт), так как они имеют массу достоинств, таких как компактность, надежность, экологичность, возможность эксплуатации при низких температурах окружающего воздуха зимой, а также использование в качестве кондиционирования помещений в теплый период года. Главным препятствием на пути развития ТНУ в России является наличие недорогих традиционных источников энергии, что делает тепловые насосы дорогими и редким из-за относительно высоких капиталовложений, что влечёт за собой увеличению срока его окупаемости. Но всё же следует задуматься о будущем, что в ближайшее время цены на газ будут расти, что может существенно повышать конкурентоспособность тепловых насосов.

Особенно перспективными для эффективного применения теплонасосной установки являются отопительная нагрузка и нагрузка ГВС, когда тепло опускается в виде горячей воды, которая имеет относительно низкую температуру. В данных условиях эксплуатации ТНУ обеспечивает значительное сбережения топлива.

Особо важной задачей при проектировании и создании энергоэффективных систем теплоснабжения общественных и жилых зданий является выбор основных источников энергии, так как главной целью Федерального закона от 23.11.2009 N 261-ФЗ, не только определяется создание технических, правовых, технологических, экономических и организационных основ и мер поощрения эффективности народного хозяйства, но и их взаимное согласование, направленное на снижение объёма используемых ресурсов, потребляемых, в частности, на нужды теплоснабжения при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования [11]. Для решения поставленной задачи необходимо решить ряд проблем, первоначальное значение имеет географическое положение объекта теплоснабжения, его климатические условия, продолжительность отопительного периода, учитывающего среднюю температура окружающей среды.

Следующая задача, которая стоит перед проектировщиками это выбор источников энергии для расчёта теплового баланса, проблема данной задачи зависит: охрана окружающей среды, рациональное использование традиционных источников, снижение влияния «парникового» эффекта за счёт сокращений выделений двуокиси углерода и других вредных веществ в атмосферу, теплоплотность населённых пунктов застройки, дефицит выработки тепловой энергии, вид доступного местного топлива, ухудшение существующих местных инженерных систем и теплосетей, невозможность прокладки новых теплотрасс.

Таблица 1.2- Средние температуры января месяца регионов России

Федеральный округ Российской федерации	Температура в °С
Центральный	– 9,4
Северо-Западный	– 12,4
Южный	– 4,2
Приволжский	– 13,4
Уральский	– 19,1
Сибирский	– 22,6
Дальневосточный	– 23,0
Северо-Кавказский	+ 0,2

При этом следует отметить, что главными минусами невозобновляемых источников теплоснабжения являются их минимальная энергетическая (особенно на малых котельных), экологическая и экономическая эффективность, так как система теплоснабжения, существующая на сегодняшний день, является одним из главных источников загрязнения окружающей среды. Плюс к этому стоит добавить высокие цены на транспортировку энергоресурсов как производителей теплоты, которые усугубляют и без того негативные факторы и воздействия, присущие традиционному теплоснабжению. Также не стоит забывать и такой серьезный минус традиционного теплоснабжения, как низкий эксергетический коэффициент полезного действия (ЭКПД), характеризующий максимальную работу, которая могла бы быть совершена при обратимом переходе термодинамической системы из состояния с заданными параметрами в состояние равновесия с окружающей средой [11].

1.3 Совершенствование конструкций компрессоров ТН.

На протяжении многих лет производство тепловых насосов базировалось на элементной базе холодильной промышленности, что связано с аналогией термодинамических процессов, лежащих в основе работы ТН и ХМ. Однако более высокий уровень рабочих температур и давлений рабочего тела (хладагента) предъявляет ряд специфических требований к конструкциям ТН. Самыми распространенными типами компрессоров являются поршневые, применение которых в холодильных машинах началось более 100 лет назад, и происходящие в них процессы изучались довольно подробно. В результате исследований в последние годы выявлены возможности дальнейшего повышения характеристик компрессоров путем предоставления плавного регулирования их производительности, повышения надежности, уменьшения энергоемкости, снижения шума, весогабаритных и стоимостных показателей.

Всё-таки, несмотря на достигнутые успехи в улучшении конструкций компрессоров, возможности уменьшения их энергоемкости и надежности не исчерпаны.

1.4 Совершенствование теплообменной аппаратуры ТНУ.

Для ТН теплообменники являются одним из основных элементов, их выбор и оптимизация обуславливают производительность установок и себестоимость произведенного тепла (тепла и холода). Применяемые первоначально только для испарения и конденсации рабочего тела теплообменники нашли более широкое распространение: в них осуществляется перегрев, переохлаждение, охлаждение компрессорного масла, теплообмен. Существует множество типов теплообменных аппаратов (ТОА) и оптимальный выбор того или иного типа – сложная задача. Проблемой создания наиболее совершенной конструкции теплообменника занимались всегда, и этому вопросу посвящено огромное количество

исследований и публикаций. В настоящее время наиболее распространенным типом ТОА ХМ и ТН являются кожухотрубные аппараты. Это обусловлено простотой конструкции и отработанной технологией изготовления. К недостаткам данного типа теплообменников следует отнести высокую металлоемкость. Так масса аппаратов ХМ и ТН, оснащенных кожухотрубными аппаратами, составляет до 75÷80% от всей массы машины. Поэтому сокращение металлоемкости аппаратов позволяет в значительной степени повысить эффективность ХМ и ТН в целом.

Одним из путей сокращения металлоемкости испарителей и конденсаторов и, соответственно, улучшения основных показателей испарителей и конденсаторов, при прочих равных условиях, является совершенствование их конструкции с целью повышения интенсивности теплообмена как со стороны конденсирующегося (либо кипящего) рабочего тела, так и со стороны теплоносителя (хладоносителя, в случае испарителя). Работы по совершенствованию ТОА ТН тепловых насосов проводятся по следующим направлениям.

Повышение интенсивности теплообмена в процессах конденсации и испарения рабочего тела. Этого можно достичь тремя основными способами:

1. Применением новых видов теплообменных поверхностей, нанесением на них специальных покрытий, изменением их шероховатости, применения различного рода турбулизаторов и другими способами.

2. Повышение интенсивности теплообмена со стороны теплоносителя в конденсаторе (хладоносителя в испарителе) возможно путем увеличения его скорости при протекании через теплообменный аппарат.

3. Процессы массо- и теплообмена могут быть интенсифицированы путем рациональной организации и распределения потоков рабочих сред в полостях и каналах ТОА. Правильная организация потоков в аппарате приводит одновременно к снижению гидравлических потерь в

теплообменнике, в результате чего становится возможным не только уменьшить металлоемкость, но и повысить энергетические характеристики машин.

Основным недостатком многих конструкций конденсаторов (это особенно ярко выражено в кожухотрубных конструкциях), является наличие зоны форконденсации (с низкими значениями коэффициента теплоотдачи), которая образуется напротив входного патрубка аппаратов. В этой зоне происходит охлаждение перегретых паров рабочего тела, поступающих в конденсатор из компрессора, до состояния насыщенного пара. Причем этот процесс происходит неэффективно, т. к. теплообменная поверхность конденсатора подбирается, в первую очередь, с учетом эффективного проведения процесса конденсации. Удельная теплопроизводительность зоны форконденсации составляет $8 \div 15\%$ от общей удельной теплопроизводительности конденсатора ТН (зависит от параметров термодинамического цикла ТН). Эффективное использование теплового потенциала этой зоны может привести к повышению не только энергетической эффективности конденсатора, но и всего ТН. Анализ работ, в которых проводились исследования процессов охлаждения перегретых паров рабочего тела и их последующей конденсации в конденсаторах ТН, выявил два основных способа решения этой проблемы:

- создание конструкции конденсатора, внутри которого теплообменная поверхность конструктивно разделена на два отдельных “теплообменника”, заключенных в один корпус. Первый из них, по ходу движения перегретых паров рабочего тела, выполняет функцию форконденсатора, из которого рабочее тело поступает в зону конденсации (второй теплообменник – конденсатор) уже в состоянии насыщенного пара. Это позволяет подобрать наиболее оптимальные типы поверхностей для каждой из зон, учитывая их особенности;

- разделение конденсатора на два отдельных аппарата: форконденсатор и непосредственно конденсатор. Они включаются в циркуляционный контур

рабочего тела ТН последовательно. Таким образом, перегретые пары рабочего тела после компрессора поступают в фторконденсатор (охладитель перегретых паров рабочего тела ОП), охлаждаются в нем до состояния насыщенного пара и, далее, поступают в конденсатор, в котором происходит только конденсация насыщенных паров рабочего тела и, возможно, их последующее переохлаждение. В данном варианте появляется возможность подобрать в качестве фторконденсатора (ОП) ТОА, в котором наилучшим образом будет подобрана теплообменная поверхность для организации эффективного теплообмена между рабочим телом в состоянии перегретого пара и нагреваемым теплоносителем в виде воды. Оптимальный подбор конструкции ОП и его теплообменной поверхности позволит максимально использовать потенциал перегретых паров не “оглядываясь” на зону конденсации. В конденсаторе будет происходить процесс “чистой” конденсации, что позволит создать оптимальную его конструкцию, учитывая то обстоятельство, что процесс конденсации происходит при более высоких значениях коэффициентов теплоотдачи.

Повышение интенсивности теплообмена со стороны хладоносителя (теплоносителя в конденсаторе) путем увеличения его скорости, а также применение различного рода турбулизаторов (и профилированных поверхностей), могут привести, наряду с увеличением интенсивности теплообмена, к повышению энергозатрат на работу конденсатора (испарителя) ТН. Это в конечном итоге может привести к ухудшению энергетических показателей ТН в целом. В существенной мере интенсивность теплопередачи в испарителях и конденсаторах определяется условиями кипения, или конденсации соответственно, на теплообменной поверхности (труба, пластина и т.д.).

На сегодняшний день наиболее улучшенной конструкцией ТОА являются пластинчатые ТОА. Их компактность (в 1 м^3 объема ТОА содержится до 100 м^2 и выше поверхности теплообмена), простота обслуживания и

профилактической очистки, а также малая вероятность износа, например, при обмерзании обеспечивают им существенные преимущества перед многими другими типами ТООА (например, кожухотрубными, “труба в трубе” и др.) в процессе длительной эксплуатации. Так, в пластинчатых испарителях при циркуляции теплоносителей в щелевых каналах турбулизация потока доходит уже при числах Рейнольдса $Re < 400$, что приводит к значительному увеличению коэффициента теплопередачи k : от 500 до 700 Вт/(м² · К) в кожухотрубных испарителях до 1200 ÷ 1400 – в пластинчатых, для фреонов R-12 и R-22. Наряду с отмеченными преимуществами к значительному недостатку пластинчатых конструкций теплообменников можно отнести высокие требования, предъявляемые к очистке теплоносителей от механических примесей, которые, скапливаясь в щелевых каналах, могут привести к серьезным повреждениям [21]. Несмотря на то, что в большинстве действующих воздуховоздушных и воздуховодяных тепловых насосах испаритель конструктивно выполнен в виде оребренного змеевика, а в водоводяных – в кожухотрубном исполнении, все чаще производители ТН и потребители их продукции используют именно пластинчатые конструкции испарителя, конденсаторов и другой теплообменной аппаратуры. За границей пластинчатые теплообменники, применяемые для работы в составе теплонасосного оборудования, выпускают фирмы “Alfa Laval” (Швеция), Компания “TRANSTER PHE - SWEP” (Швеция), “Graham Manufacturing” (Великобритания), “Heatric Pty. Ltd” (Австралия), “Gunter” (Германия). В России пластинчатые теплообменные аппараты производят: компании “Ридан”, г. Нижний Новгород; “ТЕПЛОТЕКС” – ГУП “МОСТЕПЛОЭНЕРГО” г. Москва.

Еще одно перспективное направление, способствующее интенсификации процессов теплообмена в испарителях, применение коаксиальных теплообменников. Они занимают промежуточное положение между кожухотрубными и пластинчатыми испарителями по техническим характеристикам

Совершенствование способов дефростации испарителей ТН типа воздух-воздух и воздух-вода. При работе ТН, использующего в качестве НПИТ наружный воздух, при температурах последнего $+3^{\circ}\text{C} \div +5^{\circ}\text{C}$ и ниже, происходит обледенение испарителя из-за охлаждения воздуха испаряющимся рабочим телом. Этот процесс не только снижает энергетическую эффективность ТН и приводит к снижению коэффициента преобразования, но и может привести к выходу из строя установки. Слой льда может возрасти настолько, что создаст тепловой барьер между воздухом и рабочим телом, а затем и совсем перекрыть путь воздуху. Поэтому, для зимнего периода следует предусматривать дополнительные источники НПИТ, с тем, чтобы ограничить нижний предел температуры воздуха как источника НПИТ величиной $+3^{\circ}\text{C} \div +5^{\circ}\text{C}$, либо предусматривать эффективные методы дефростации (оттаивания) испарителей. За год приходится проводить приблизительно $30 \div 50$ циклов оттаивания. Время оттаивания зависит от способа дефростации и может составлять $0.1 \div 0.5$ ч. Этой проблеме в мире уделяется особое внимание как на стадии проектирования новых моделей ТН, так и непосредственно при эксплуатации этих систем.

В работе проанализированы достоинства и недостатки наиболее широко применяемых способов: реверсирование, при котором испаритель переводится в режим работы конденсатора, а конденсатор – в режим работы испарителя, и байпасирование, когда перегретый пар рабочего тела, минуя конденсатор, подается в испаритель. К недостаткам реверсивного способа относятся потери теплоты в системе отопления при работе конденсатора в режиме испарителя и возможность замораживания конденсатора. Возникают термические и механические напряжения в материале элементов ТН вследствие резкого изменения температуры и давления при реверсе. Возникновение перетеканий рабочего тела в переключающем вентиле из зоны высокого давления в зону низкого, снижает эффективность размораживания и ухудшает энергетические характеристики самого ТН. Основным достоинством реверсивного способа является быстрота процесса

дефростации. Байпасирование лишено недостатков, присущих реверсивному способу, но в ряде случаев его применение сдерживается недопустимо большой продолжительностью этой процедуры, составляющей до 15% общей продолжительности работы ТН. Для уменьшения времени дефростации предложено использовать электронагрев рабочего тела перед подачей в испаритель. В зависимости от мощности нагревателя продолжительность дефростации испарителя может быть уменьшена на $30 \div 40 \%$.

Использование регенеративных теплообменников и переохладителей конденсата в конструкции теплового насоса способствует совершенствованию термодинамического цикла и повышению эксергетической эффективности ТН благодаря перегреву хладагента перед компрессором, уменьшению необратимых потерь при дросселировании и увеличению тепловой мощности, отдаваемой в систему теплоснабжения.

Использование цветных металлов в качестве конструкционных материалов для теплообменных поверхностей сопровождается уменьшением термического сопротивления разделительной стенки и повышением коррозионной стойкости аппарата в целом. Наиболее распространенными материалами в конструкциях теплообменных аппаратов являются коррозионностойкие медь, сплав меди с никелем монель, высококачественные легированные стали. Так, только у 0.1% действующих ТН с испарителями и конденсаторами из меди наблюдаются коррозионные повреждения.

1.5 Исследование эффективности эксплуатации различных НПИТ.

Экономическая эффективность ТСТ во многом зависит от выбора НПИТ, который должен удовлетворять следующим условиям: стабильность, доступность, достаточный запас мощности и низкая цена. В свою очередь, характеристики НПИТ влияют на выбор схемного решения системы теплоснабжения: применение того или иного типа теплового насоса,

использование моно- или бивалентной схемы, определение схемы автоматизации системы, необходимость использования теплоаккумуляторов. Характеристики различных видов НПИТ приведены в табл. 3.

Наиболее доступным из НПИТ является воздух, однако его нестабильность вследствие существенных колебаний температуры и ухудшение технических характеристик ТН при понижении температуры воздуха существенно ограничивают его использование в местностях с суровыми зимами. При температуре наружного воздуха $t_{нв}$ ниже $5\div 7^{\circ}\text{C}$ возникает необходимость периодической дефростации испарителя.

Таблица 1.3- Характеристика различных видов НПИТ

Показатели	НПИТ		
	Окружающий воздух	Грунтовые воды	Поверхностные воды
Назначение	Основной	Основной	Основной и дополнительный
Сток тепла	Хороший	Хороший	Хороший
Доступность	Повсеместная	Неопределенная	Редкая
Обеспеченность	Непрерывная	Непрерывная по графику	Непрерывная
Эксплуатационные затраты	Относительно низкие	Низкие или средние	Относительно низкие
Капиталовложения	Низкие	Зависят от стоимости бурения	Низкие

продолжение таблицы 1.3

Уровень температуры	Благоприятный в южных регионах	Удовлетворительный	Удовлетворительный
Колебания температур	Очень сильные	Слабые	Незначительные
Опыт конструирования	Достаточный	Достаточный	Достаточный
Проблемы Реализации проекта	Наименьшая Q_k при наибольшей потребности в тепле. Потери при деф-ростации. Могут потребоваться дополнительные Работы по прокладке воздухопроводов	Коррозия поверхностей испарителя. Свойства воды неизвестны до бурения Возможна безводность скважины	Отложения, коррозия и обрастание водорослями
Показатели	НПИТ		
	Сточные воды	Грунт	Солнечная радиация
Назначение	Основной и дополнительный	Основной и дополнительный	Дополнительный
Сток тепла	Хороший	Обычно хороший	Хороший
Доступность	Ограниченная	Повсеместная	Повсеместная
Обеспеченность	Переменная и Непрерывная	Непрерывная	Прерывистая и неопределенная
Эксплуатационные затраты	Низкие	Средние	Средние
Капиталовложения	Зависят от стоимости транспорта	Большие	Большие
Уровень температуры	Удовлетворительный. Бывает хороший	Достаточный с убывающим дебитом	Высокий
Колебания температур	Незначительные	Сильные, но и зависит от глубины заложения труб	Сильные
Опыт конструирования	Достаточный	Достаточный	Практически освоен

продолжение таблицы 1.3

Проблемы Реализации проекта	Коррозия и отложения. Расход может быть ограничен графиком сброса воды.	Ограничено местны- ми геологоклимати- ческими условия- ми. Стоимость трудно оценить. Часто нужна боль- шая площадь земли. Трудно устранять течи	Необходимы теплоаккумуляторы на стороне испарителя или конденсатора	
Показатели	НПИТ			
	Отработанный воздух	Оборотная технологи- ческая вода	Геотермальные воды	Охлаждаю- щийся техно- логический продукт
Назначение	Основной и дополнительный	Основной	Основной	Основной и до- полнительный
Сток тепла	Хороший	Хороший	Хороший	Хороший
Доступность	Ограниченная	Ограниченная	Ограниченная	Ограниченная
Обеспечен- ность	Зависит от объекта. Может быть переменный	Зависит от объекта. Часто непрерывная	Непрерывная	Зависит от объекта. Может быть переменный
Эксплуатаци- онные затраты	Средние	Средние	Низкие	Средние
Капитало- вложения	Низкие	Переменные	Низкие	Переменные
Уровень температуры	Обычно достаточный	Часто отличный	Отличный	В начале доста- точный, может падать по мере отдачи тепла
Колебания температур	Слабое. Может зависеть от гра- фика работы объекта	Обычно слабое	Слабое	Зависит от графика техн. процесса
Опыт конст- руирования	Достаточный	Достаточный	Достаточный	Достаточный
Проблемы Реализации проекта	Доп. работы по прокладке возду-ховодов. Уста-новка фильтров.	Коррозия. Под- держание тре- буемого темпе- ратурногоуров- ня.	Коррозия. Требует ин- дивидуального проектирова- ния	Коррозия. Хим. агрессивность охл-мой среды. Отложения.

Как и воздух, Солнечная радиация является достаточно легкодоступным НПИТ и обеспечивает получение таких высоких температур теплоносителя, что может быть применима непосредственно для подачи горячей воды. Однако поступление солнечной энергии нестабильно: отсутствие в ночное время, резко уменьшается в зимний период, эффективность ее поглощения уменьшается при наличии облачности и атмосферных осадков с повышением географической широты местности. Следовательно, при использовании солнечной энергии в ТСТ необходима установка теплоаккумуляторов для компенсации прерывистого тепlopоступления. Для поглощения солнечной радиации и передачи теплоты теплоносителю необходимо использование специальных гелиоколлекторов и гелиоконцентраторов.

Использование поверхностных вод в качестве НПИТ, несмотря на свои преимущества (достаточно высокая стабильность вследствие незначительности колебания температуры воды, благоприятные для реализации запас мощности и уровень температуры источника), ограничено, что в ряде случаев связано с удаленностью озер, рек и морей от объектов строительства. Кроме того, морские водозаборы являются очень сложными и дорогостоящими гидротехническими конструкциями, поэтому сооружение глубоководного морского водозабора становится экономически оправданным при многофункциональном использовании морской воды, в частности, для наполнения бассейнов. Как правило, ТНУ которые в качестве НПИТ используют поверхностные воды, имеют высокие технико-экономические показатели, особенно, в благоприятных климатических зонах (например, южные регионы России).

При использовании поверхностных вод в качестве НПИТ следует предусматривать сезонные колебания температуры воды. Диапазон колебаний температур в течение года может достигать 20°C. Следует отметить, что если забор воды в испаритель ТН осуществляется на участках реки, искусственно

подогреваемых, за счет сброса против течения воды, выходящей из испарителя ТН, то можно получить высокие значения коэффициента преобразования μ .

К выбору конструкции ТОА, установленного в воде (испаритель ТН или промежуточный ТОА), следует уделять особое внимание. Хорошо зарекомендовали себя теплообменники с вертикально стоящими пластинами, установленными в направлении течения воды и пластинчатые ТОА, особенно при низких температурах поверхностных вод (близких к 0°C). Специальная подготовка поверхностных вод перед их использованием в ТН необходима только в тех случаях, когда ТОА сильно загрязняются и корродируют. Забор речной воды должен происходить в местах быстрого течения, где нет отложений ила. Систему фильтрации рекомендуется дублировать, с целью обеспечения непрерывного процесса забора воды при их замене.

Грунтовые воды имеют практически постоянную и достаточно высокую температуру в течение года, причем с увеличением глубины залегания их температура неуклонно возрастает, примерно на $2 \div 5^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м. Недостатками грунтовых вод как НПИТ являются: неповсеместная доступность; высокая стоимость затрат на бурения скважин, возрастающая в ряде случаев вследствие необходимости бурения компенсационных скважин для обратной закачки воды в пласт; высокая степень неопределенности использования, связанная с неизвестностью до бурения химического состава и температуры воды и с возможной безводностью скважин; преимущественно высокая минерализация, вызывающая коррозию и отложения на поверхностях теплообмена и ухудшение теплотехнических характеристик ТОА. Эффективность использования грунтовых вод увеличивается при достаточной изученности местности, при наличии пробуренных ранее скважин, при пониженной агрессивности воды, при подключении возможно большего числа объектов теплоснабжения к одной скважине. В настоящее время, небольшие ТН (теплопроизводительностью порядка $10 \div 20$ кВт), в качестве НПИТ для которых используются грунтовые воды, с успехом применяются в системах

теплоснабжения (отопление и горячее водоснабжение) индивидуальных домов.

Использование теплоты грунта также имеет свои преимущества и недостатки. К плюсам относятся: повсеместная доступность, достаточно высокая стабильность (годовые изменения грунта с увеличением глубины уменьшаются практически до 0°C), достаточный запас мощности при условии оптимального технического решения конструкции грунтового теплообменника (ГТ). Основной недостаток грунта как НПИТ – высокая цена горизонтальных теплообменников, как горизонтальных, так и вертикальных (в меньшей степени), которая может быть снижена за счет оптимизации схемных решений ТСТ, а также при компенсации части теплопотерь грунта путем подвода избытков теплоты, например, от гелиоколлектора. Грунтовые теплообменники представляют собой систему трубопроводов, либо горизонтально уложенных в грунт, либо установленных в вертикальных скважинах (U – образные трубы, которые снижают требуемую поверхность грунта в $10\div 20$ раз по сравнению с горизонтальными). По трубам, выполненным из меди, стали (или её сплавов), полиэтилена или полипропилена циркулирует незамерзающая рабочая жидкость (вода, хлористый кальций, метанол, этиленгликоль (антифриз)). Количество теплоты, передаваемое ТНУ зависит от ряда условий: интенсивности солнечной радиации, влажности и теплофизических свойств грунта, глубины заложения, расстояния между трубами и температуры теплоносителя. Прокладку труб ГТ часто осуществляют в траншеях при проведении дренажных работ на участке, отведенном под строительство, что снижает затраты на ТСТ и способствует улучшению технических характеристик теплообменника за счет интенсификации теплоотдачи от влажного грунта. При этом следует избегать пересечения труб.

Тепловой расчет ГТ связан с решением задачи нестационарной теплопроводности пористого массива грунта, причем дополнительную

сложность при этом представляет отсутствие надежных данных по влажности, составу и теплофизическим свойствам грунта в конкретном месте заложения ГТ. Для выполнения расчета необходимо использование численных методов, но и в этом случае результаты расчета будут иметь приближенный характер. Поэтому большой практический интерес представляют разработка инженерных методов расчета и рекомендаций по проектированию, монтажу и эксплуатации теплообменников, основанных на анализе накопленного практического опыта.

Таблица 1.4– Температуры грунта на глубине 1,6 м по месяцам для некоторых городов России

	месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Архангельск	4	3,5	3,1	2,7	2,5	3	4,5	6	7,1	7	6,1	4,9
Астрахань	7,5	6,1	5,9	7,3	11	14,6	17,4	19,1	19,1	16,7	13,6	10,
Барнаул	2,6	1,7	1,2	1,4	4,3	8,2	11	12,4	11,6	9,2	6,2	3,9
Братск	0,4	-0,2	-0,6	-0,5	-0,2	0	3	6,8	7,2	5,4	2,9	1,4
Владивосток	3,7	2	1,2	1	1,5	5,3	9,1	12,4	13,8	12,7	9,7	6,4
Иркутск	-0,8	-2,8	-2,7	-1,1	-0,5	-0,2	1,7	5	6,7	5,6	3,2	1,2
Магадан	-6,5	-8	-8,8	-8,7	-3,9	-2,6	-0,8	0,1	0,4	0,1	-0,2	-2
Москва	3,8	3,2	2,7	3	6,2	9,6	12,1	13,4	12,5	10,1	7,3	5
Мурманск	0,7	0,3	0	-0,3	-0,3	0,2	4	6,7	6,6	4,2	2,7	1
Новосибирск	2,1	1,2	0,6	0,5	1,3	5	9,1	11,3	10,9	8,8	5,8	3,6
Оренбург	4,1	2,6	1,9	2,2	4,9	8	10,7	12,4	12,6	11,2	8	6
Пермь	2,9	2,3	1,9	1,6	3,4	7,2	10,5	12,1	11,5	9	6	4
Салехард	1,6	1	0,7	0,5	0,4	0,9	3,9	6,8	7,1	5,6	3,5	2,3
Санкт-Петербург	3,2	2,4	1,9	2,2	5,6	9,2	11,9	13,2	12	9,7	6,9	4,6
Якутск	-5,6	-7,4	-7,9	-7	-4,1	-1,8	0,3	1,5	1,1	0,1	-0,1	-2,4
Сочи	11,2	9,8	9,6	11	13,4	16,2	18,9	20,8	21	19,2	16,8	13,5

По данным в таблице 4 можно сказать, что характерной чертой естественного температурного режима грунта составляет запаздывание минимальных температур грунта относительно времени наступления низких температур наружного воздуха.

Большой практический интерес представляет использование коммунальных сточных вод в качестве НПИТ. Промышленные предприятия, общественные учреждения и жилищно-коммунальный сектор каждый день выбрасывают огромное количество теплоты в виде сточных вод с температурой ниже $+ 30^{\circ}\text{C}$. Как известно, все эти потоки сточных вод скапливаются либо на крупных городских канализационных станциях (КНС), либо на очистных сооружениях отдельных объектов, которые часто выполняют функцию дополнительных городских КНС.

Таким образом, теряемая со сточными водами теплота, в большинстве случаев может быть переведена с помощью ТН на полезный температурный уровень. Можно привести огромное количество примеров ТСТ, в которых в качестве НПИТ используются сточные воды.

При использовании сточных вод в тепловых насосах обязательно необходимо проводить анализ, чтобы определить содержание загрязняющих и вредных веществ с целью обеспечения безупречной и надежной работы испарителей. Для загрязненных вод рекомендуется подключать промежуточный теплообменник.

Максимальное практическое применение получили ТНУ, в которых в качестве НПИТ используют охлаждаемую оборотную воду. Чтобы уменьшить расход воды, потребляемой для технологических процессов в целях охлаждения, ее часто используют в качестве оборотной. В большинстве случаев она необходима для отвода теплоты от технологического оборудования, включая случаи охлаждения конденсаторов ХМ. Весьма большое значение имеет оптимизация схемы включения ТН в контур циркуляции воды, тогда вода может быть охлаждена настолько, что улучшатся

технологический процесс, или, по крайней мере, не ухудшается. Если оборотная вода используется для охлаждения, то при этом можно всегда рассчитывать на улучшение показателей технологического процесса. Когда существует соответствие необходимого и располагаемого расхода оборотной воды, имеется возможность уменьшить или количество подаваемой воды, или размеры ТОА в технологическом оборудовании. Кроме того, необходимо добавить, что при этом практически не требуется никаких капитальных вложений на забор воды и никакой дополнительной энергии на ее транспортировку. Определенное влияние на коэффициент трансформации теплоты μ оказывают гидравлические потери в испарителе.

С точки зрения эксплуатации ТН особый интерес представляет охлаждаемая оборотная вода с температурой до 25 °С.

С охлаждением оборотной водой мы встречаемся во многих технологических процессах:

- охлаждение теплообменников - конденсаторов ХМ (охлаждение, в градирнях оборотной воды, проходящей через конденсатор ХМ);
- охлаждение технологического оборудования оборотной водой, поступающей далее в градирни на охлаждение;
- снижение температуры теплоносителя в обратных линиях тепловых сетей централизованных систем теплоснабжения.

В качестве НПИТ широкое практическое применение находит и отработанный (сбросной) воздух. Забор теплоты в технологических процессах производится не только при помощи воды, но в значительном объеме также и при помощи воздуха. При этом необходимо различать случаи прямого и косвенного теплоотвода с помощью воздуха. Косвенный теплоотвод с помощью воздуха достигается путем использования воздуха в помещении. Прямой теплоотвод выделяемой машинами теплоты с помощью воздуха происходит при большой тепловой нагрузке и необходимости

комбинированного отвода теплоты и вредных веществ. При применении ТН в исполнении воздух-воздух в каждом конкретном случае необходимо экономическое сравнение с регенератором или же с рекуперативной циркуляционной системой.

К отдельным видам НПИТ, наверное, стоит отнести тепло охлаждающихся пищевых и технологических и продуктов и использование горячих геотермальных источников. Основным недостатком первого является, падение теплового потенциала в течении времени, что позволяет использовать данный вид НПИТ только как дополнительный к основному НПИТ, применяемому в данном тепловом насосе. Недостатком второго является его крайне выраженная не повсеместность, и как правило, сильная удаленность от объектов.

1.6 Оптимизация энергоэкономических параметров ТСТ.

Экономический эффект от применения ТН в системах теплоснабжения добывается при экономии органического топлива, повышения уровня комфортности проживания, а также сокращения ущерба от загрязнения окружающей среды продуктами сгорания.

Капиталоёмкость ТСТ в сочетании с неблагоприятными (для условий России) соотношением цен на топливо и электроэнергию являются серьёзными замедляющим факторами для их масштабного внедрения. Так при работе солнечно-теплонасосной системы теплоснабжения достигнуто уменьшение расхода энергии на 55%, однако вследствие значительности капиталовложений в альтернативную систему стоимость единицы произведенной тепловой энергии оказалась на 49% выше, чем при применение традиционной системы с жидкотопливным котлом.

Следовательно, конкурентоспособность ТСТ может быть обеспечена лишь при комплексной оптимизации их энергетических параметров. Технич-

экономические показатели ТСТ зависят от ряда факторов, к главным из которых относятся: тепловая мощность и конструкция ТН, температуры кипения и конденсации теплоносителя, температурный уровень и тип системы отопления, степень замещения тепловым насосом расчетной тепловой нагрузки, энергоэкономические параметры НПИТ, надежность работы. В свою очередь оптимальные значения этих показателей зависят от следующих исходных данных: продолжительность отопительного сезона; расчетная температура наружного воздуха; график температуры наружного воздуха в течение отопительного периода; наличие и вид топлива; стоимости топлива и электроэнергии и др. Во многих работах достаточно подробно изложены методы расчета энергетических, эксергетических и экономических показателей ТН и систем, разработаны в общем виде способы оценки эффективности применения теплонасосного варианта теплоснабжения.

Приведены рекомендации по определению оптимальной степени замещения ТНУ расчетной тепловой нагрузки, определены зоны экономической эффективности ТНУ. Однако последний проведенный анализ показывает, что возможности улучшения термодинамического цикла и конструкции ТН далеко не исчерпаны, инженерные методы оптимизации технико-экономических показателей ТСТ разработаны недостаточно, что сужает возможности разработки высокоэффективных систем. Кроме того, изменение экономической ситуации в России, развитие рыночных отношений, в некоторых случаях требует кардинального пересмотра оценки многих технико-экономических показателей ТСТ. В настоящее время очень ужесточились требования к срокам окупаемости вновь вводимых в эксплуатацию объектов и сильно изменилось соотношение цен на энергоносители. Повысились требования, предъявляемые к объектам с точки зрения их влияния на окружающую среду.

2 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Описание экспериментального стенда

Объектом исследования, является тепловой насос, работающий в условиях низких температур. Принципиальная схема экспериментального стенда представлена на рисунке 3,4. Технические характеристики теплового насоса представлены в таблице 2.1.

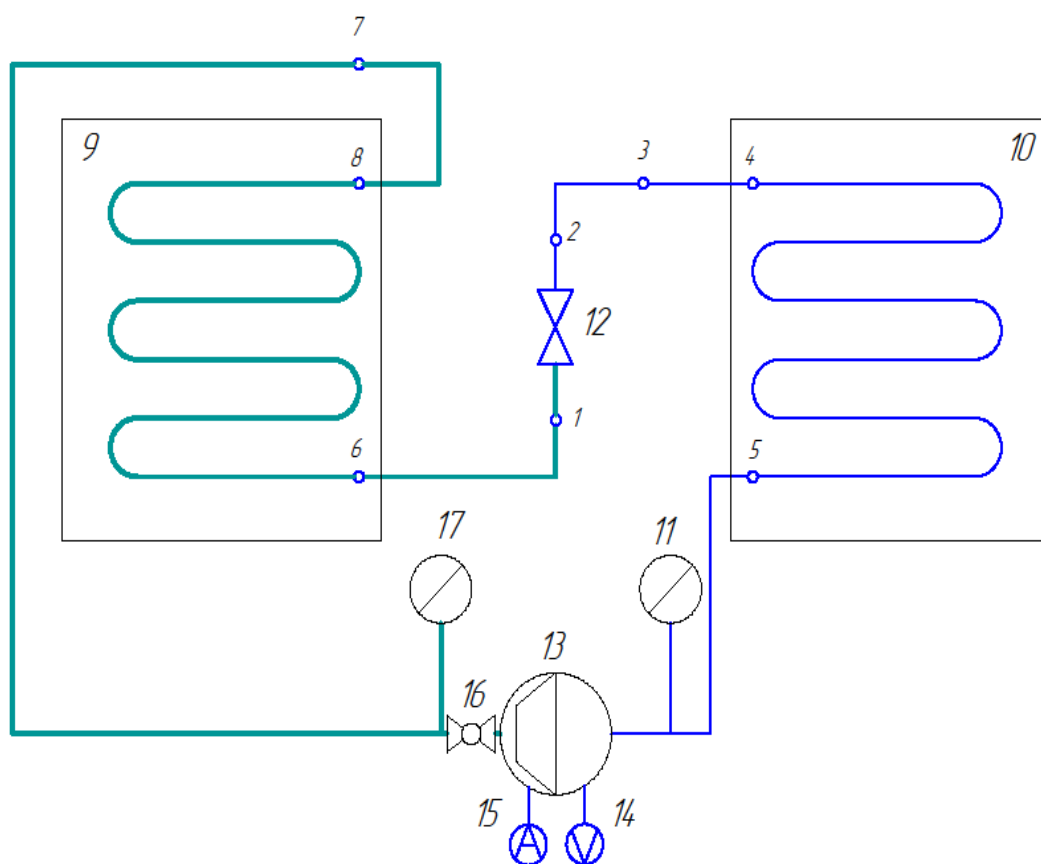


Рисунок 3- Схема установки теплового насоса (ТН):

1-8 термопары, установленные в узловых точках схемы теплонасосной установки, 9,10- конденсатор, испаритель, 11,17- манометры, перед компрессором и после, 12- дроссельный вентиль, 13- компрессор, 14- вольтметр, 15- амперметр, 16- расходомер.

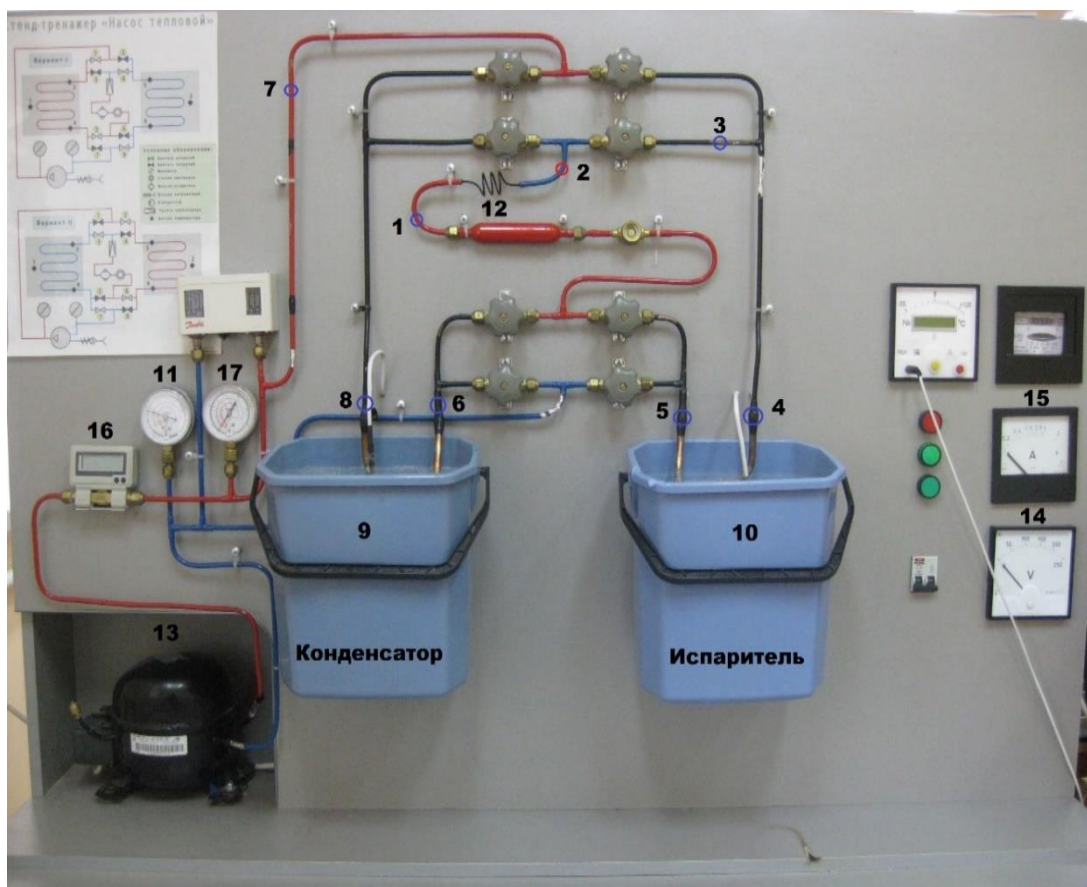


Рисунок 4 - Общий вид экспериментальной установки ТН

1-8 термодары, установленные в узловых точках схемы теплонасосной установки, 9,10- конденсатор, испаритель, 11,17- манометры, перед компрессором и после, 12- дроссельный вентиль, 13- компрессор, 14- вольтметр, 15- амперметр, 16- расходомер.

Таблица 2.1

Технические характеристики экспериментального стенда	
Диапазон измеряемых давлений, МПа	-0,1 ... +3
Диапазон измеряемых температур, °С	–55 ... +125
Точность измерения температуры, %	1
Потребляемая мощность, Вт	200
Род тока	переменный

продолжение таблицы 2.1

Напряжение питания, В	220±22
Частота сети, Гц	50±0,4
Габаритные размеры, мм	1400×1800×800
Хладагент	R134a

2.2 Принцип действия экспериментальной установки

Работа экспериментальной установки, цикл которой в T-s диаграмме показан на рисунке 5, осуществляется следующим образом. В зависимости от направления движения хладагента, задаваемого вентилями 4, один из теплообменников может быть либо конденсатором, либо испарителем.

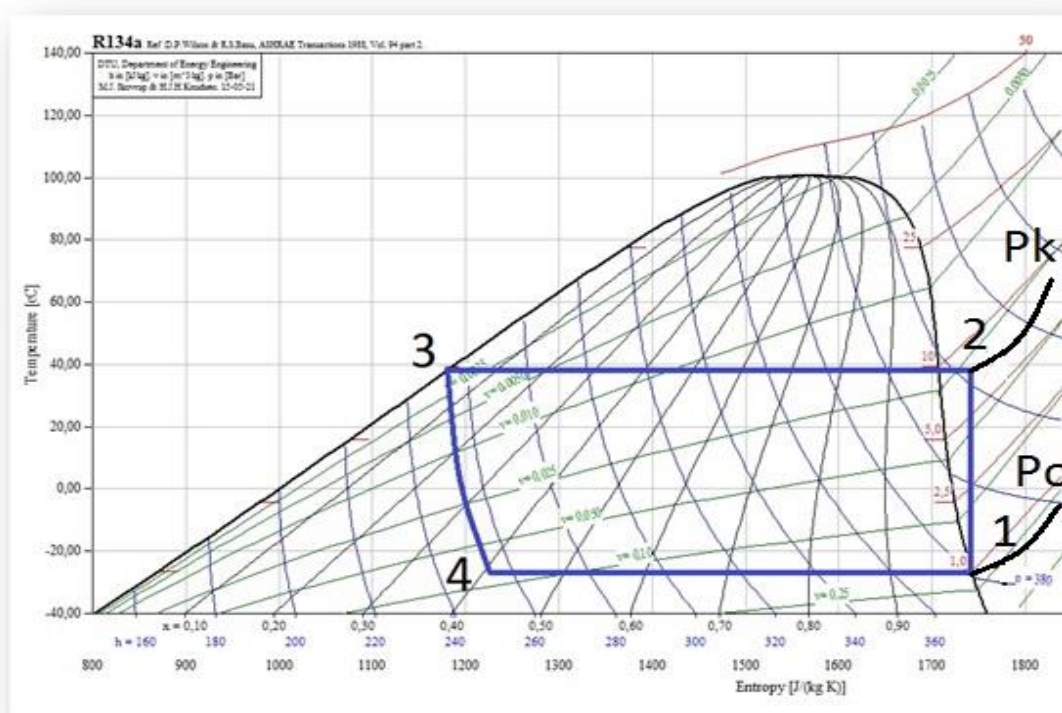


Рисунок 5 - T-s диаграмма цикла теплового насоса

Заправочный штуцер 3 служит для заправки компрессора фреоном R134a (характеристики фреона представлены в таблице 2). Манометры 2, высокого и низкого давлений позволяют измерять давление в двух точках

гидропневматической системы стенда: на выходе и на входе в компрессор. Сжатые в компрессоре 1 пары фреона (процесс 1-2) в перегретом состоянии, пройдя через открытый вентиль 4, поступают в первый

теплообменник (конденсатор), в котором происходит охлаждение и конденсация (процесс 2 – 3), с отдачей теплоты нагреваемой воде. Далее хладагент движется через смотровое окно 6, фильтр-осушитель 5 и проходит через капиллярную трубку 7 (процесс 3-4), после чего поступает во второй теплообменник (испаритель), в котором происходит его кипение за счет подвода теплоты от воды (процесс 4-1), при этом отбирается тепло, а затем возвращается в компрессор 1 и процесс повторяется заново.

Смотровое стекло позволяет визуально контролировать агрегатное состояние фреона и наличие или отсутствие в нем влаги. Фильтр-осушитель служит для удаления влаги из хладагента, а также защищает капиллярную трубку от засорения твёрдыми частицами. Капиллярная трубка представляет собой устройство для расширения и охлаждения фреона и имеет форму дросселя постоянного сечения (регулирующий орган), где разность давлений конденсации и испарения фреона происходит за счет трения внутри нее.

2.3 Методика проведения экспериментальных исследований

Исследования проводились на экспериментальном стенде ТНУ, перед включением установки необходимо наполнить ёмкости конденсатора и испарителя водой в объёме (0.001 м³) при температуре равной окружающей среды (18⁰С). Установить вентили в положение, в соответствии с выбранным вариантом циркуляции теплоносителя (хладагента).

Запускался компрессор путём подачи на него электрического напряжения. Одновременно с этим включался измеритель температуры в ключевых точках установки (рис. 6), в объёме камер конденсатора и испарителя (рис.7) и персональный компьютер



Рисунок 6 – Расположение ключевых термодпар на экспериментальном стенде

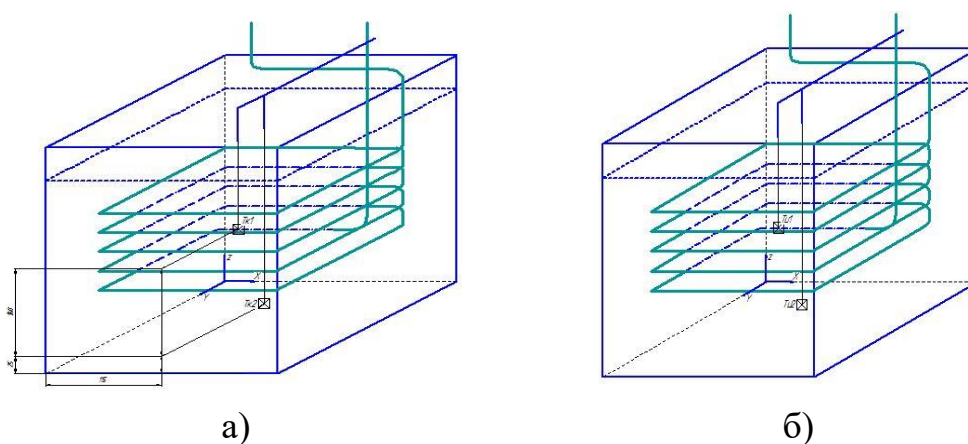


Рисунок 7 - Расположение термодпар в а) камера конденсатора, б)
камера испарителя

Регистрация температур осуществлялась цифровыми и аналоговыми термопарами и фиксировались восьмиканальным измерителем температуры ОВЕН УКТ38-Щ4, представленный на рисунке 8. Запись показаний на ПК фиксировалась с помощью программы LabView от компании National Instruments. В эксперименте использовались хромель-копелевые термопары с точностью измерения вплоть до $\pm 0,01$ °C. Поверка которых была произведена до проведения экспериментального исследования. Мощность компрессора измерялась путём измерения силы тока (амперметром) и напряжением (вольтметром).



Рисунок 8 - Устройство контроля температуры восьмиканальное ОВЕН УКТ38-Щ4

Значения температур регистрировались в определенные промежутки времени, в течение всего времени проведения эксперимента.

Расход и давление фреона определялись с помощью расходомера и манометров UNI L RG-250 ShineYear высокого и низкого давлений. (рис. 9)



а)



б)

Рисунок 9 – а) расходомер, б) манометры перед(слева) и после(справа) компрессора

Дополнительным пунктом проведения экспериментального исследования являлось охлаждение камеры испарителя до определённой температуры (0°C), для наблюдения эффекта обледенения трубки теплообменника.

Производилась регистрация показаний с термопар установленных в камере испарителя (рис. 10)

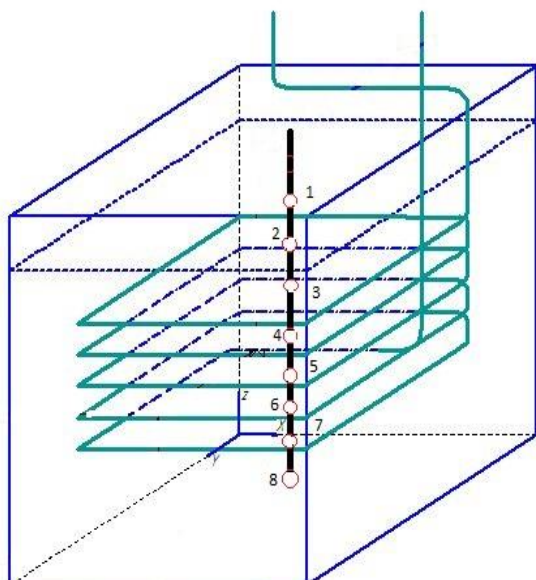


Рисунок 10 – схема расположения термопар в камере испарителя

Серии экспериментов проводились при температурах 18°C и 0°C в камере испарителя. Производился замер образования толщины слоя льда в камере испарителя по длине трубки так как при проведении исследования при 0°C наблюдался эффект обледенения испарителя. Замеры выполнялись на равных расстояниях друг от друга в 6-ти точках по длине трубки, расстояния между местами замеров 3 см. (рис. 11) Замер изменения толщины льда выполнялись штангенциркулем, точность измерения составляет 0,01 мм.

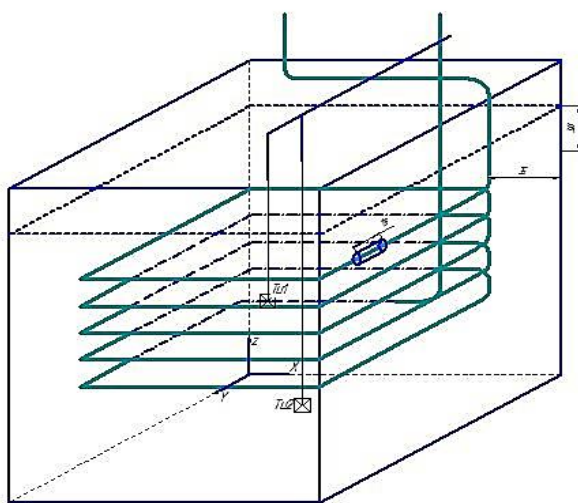


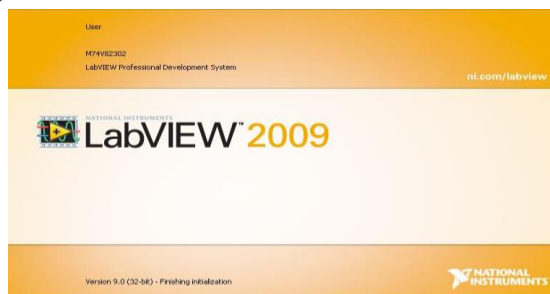
Рисунок 11 – схема расположения трубки в камере испарителя и места замеров толщины льда

Выключение установки производилось после того как показатели температур, давления, и толщины образования стенки льда выходили в стационарный режим.

2.4 Программное обеспечение

Для регистрации температур поступающих через адаптер сети с многоканального устройства контроля температур УКТ48 ОВЕН была разработана компанией National Instruments программа LabView на платформе Windows XP.

Для контроля и регистрации показаний экспериментальной установки использовалось программное обеспечение: National Instruments LabView.



National Instruments LabView представляет собой интерактивное программное обеспечение для быстрого получения, анализа и представления

данных, получаемых от приборов и инструментов сбора данных, совместимых с NI LabView. Разработанное программное обеспечение позволяет регистрировать значения температур через равные промежутки времени (от 2 сек), выводить изменение температур во времени в виде графика с сохранением данных на жёсткий диск, интерактивное окно LabView и принципиальная схема работы ТНУ представлено на рисунке 12

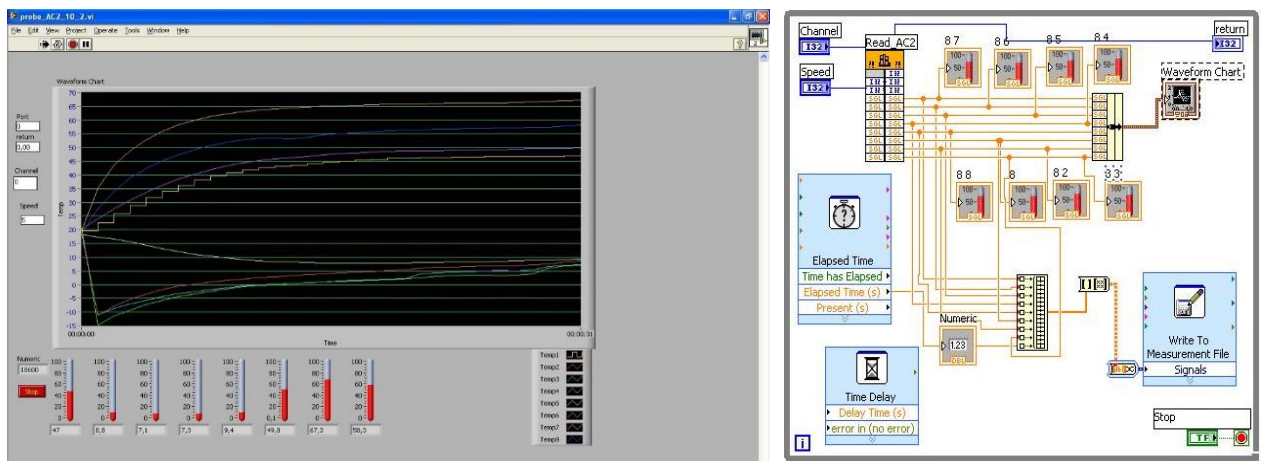


Рисунок 12 - интерактивное окно и схема работы программы NI LabView

2.5 Выбор области изменения основных факторов

В качестве функции цели экспериментов выбраны характеристики охлаждения слоев жидкости – измерение толщины слоя обледенения, температур в узловых точках цикла.

Главным воздействием на результаты эксперимента было изменение температуры жидкости в камере испарителя.

Таблица 2.2 - Основные факторы воздействия

Фактор	Значение факторов
Охлаждение жидкости	до 0 и 18 °С
Толщина изоляции камеры конденсатора	5 см

Выходные параметры:

- 1) Тепловые потери при разных условиях работы;
- 2) Коэффициент теплоотдачи;
- 3) Температура в камере испарителя;
- 4) Перепад температур в слоях жидкости в испарителе.

В качестве теплоносителя выступал фреон r134a, дистиллированная вода ГОСТ 6709-72.

2.6 Выбор схемы проведения экспериментальных исследований

Как известно [32], что исследования подразделяются на активные и пассивные. В данной работе проводились активные экспериментальные исследования, в которых значения факторов задавались.

Планирование эксперимента подразделяется на последовательное и рандомизированное [33].

Последовательное планирование заключалось в следующем. На каждом шаге экспериментатор принимал решение о завершении наблюдений – в этом случае принимается решение об изучаемом параметре распределения измерений на основе всех проведенных экспериментов. Если измерения решено продолжить, то в зависимости от результатов предыдущих экспериментов выбирается управление для следующего измерения (точка проведения нового эксперимента). Так продолжается до конца наблюдений.

При использовании последовательного плана изменение факторов происходит непрерывно в возрастающей или убывающей последовательности.

Рандомизированное планирование означает случайный выбор значения независимой переменной по какому-то неопределенному правилу. Оно больше подходит для исследований с широким диапазоном независимой переменной, в ходе проведения эксперимента с которой невозможно охватить весь ряд значений. Позволяет значительно сократить время проведения исследований.

Выбор плана проведения экспериментов зависит от вида эксперимента – воспроизводимый либо невоспроизводимый. Данные исследования являются невоспроизводимыми.

Выбрана схема последовательного планирования эксперимента. При котором осуществлялся выбор момента остановки N наблюдений в зависимости от результатов измерений, для удобства измерения и проведения эксперимента, так как исследования являются невоспроизводимыми.

2.7 Основные размерные параметры

Основным размерным термодинамическим параметром, влияющий на результаты экспериментов – это температура в камере испарителя, регулируемая с помощью изменения температуры жидкости.

Зарегистрированы следующие выходные параметры:

- 1) толщина обледенения витка трубки, скорость обледенения;
- 2) коэффициент теплоотдачи;

при разных условиях проведения эксперимента.

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.

Цель проекта - проведение научно-исследовательской работы согласно требованиям, отвечающим современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также является экономическое обоснование научно–исследовательской работы.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательской работы;
- определение эффективности исследования.

Научно-исследовательская работа заключается в проведении серии экспериментов на специальном стенде с целью определения изменения температуры при воздействии на камеру испарителя, но проведение экспериментальных исследований требует привлечения финансовых затрат и

других ресурсов, которые должны быть экономически оправданы и целесообразны.

4.1 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.

Внешняя среда состоит из макро- и микроуровня. В настоящей работе макроуровень отсутствует. Рассмотрим микроуровень:

- **Спрос, характер спроса**

В настоящее время процессы тепломассопереноса в условиях испарения тонких слоев жидкости широко применяется в охлаждении промышленных энергетических аппаратов, электронных компонентов, при регазификации, а также в космических технологиях. Поэтому потенциальными клиентами могут быть:

- атомные и тепловые электростанции;
- химическая промышленность (при сушке жидких дисперсий (в пневматических, распылительных, роторных, барабанных, спиральных сушилках));
- машиностроительные компании и заводы (при разработке тепловых двигателей);
- компании по конструированию высокоинтенсивных теплообменных систем.

- **Конкуренты**

Конкурентами являются экспериментаторы и теоретики в области исследования процесса испарения капель.

- Поставщики

Поставщиками электронного оборудования и установки являются ООО “Физикон”, компания “KRUSS” и супермаркет цифровой техники “DNS”, компания ThorLabs.

- Контактная аудитория

Результаты исследования обращены к тем, у кого возник интерес к исследованиям тепломассообмена при возникновении испарения и кипения тонких слоев жидкости. А также различным фирмам, компаниям и заводам, деятельность которых связана с теплоэнергетикой.

- Аудиторией влияния

Аудиторией влияния являются руководители и сотрудники Томского Политехнического Университета.

Рассмотрим внутреннюю среду:

- Проектный продукт и его характеристики

Продуктом проекта будут результаты экспериментальных исследований, которые будут дополнением к теории тепло и массопереноса в условиях интенсивного испарения жидкости, в частности определение влияния температуры, материала поверхности и состава жидкости на скорость испарения, коэффициент теплоотдачи. Также данные результаты могут быть положены в основу построения моделей и составления эмпирических зависимостей по процессу тепломассопереноса в условиях испарения.

- Обеспеченность, потребность в основных средствах

Основными средствами является: ЭВМ, программное обеспечение, фотокамера, стенд и установка.

- оборотный капитал

Оборотный капитал отсутствует.

Таблица 4.1 – SWOT анализ

СИЛЬНЫЕ СТОРОНЫ «S» - Strengths	СЛАБЫЕ СТОРОНЫ «W» - Weaknesses
Возможность получения новых, никем ранее не полученных, результатов	Присутствие серьезных конкурентов
Применение полученных результатов в различных направлениях модернизации теплотехнических технологий в энергетике	Высокая стоимость оборудования
Новое высокотехнологическое оборудование	Большое количество дополнительных экспериментов
	Требуется много времени
ВОЗМОЖНОСТИ «O» - Opportunities	УГРОЗЫ «T» - Threats
Новые теоретические знания, научные термины	Появление новых, активных и целеустремленных конкурентов
Опыт проведения экспериментальных исследований	Большая погрешность измерений
Освоение нового оборудования и программного обеспечения	

4.2 Экспертная оценка

Как было сказано в третьей главе, существует несколько методов расчета теплового потока с нагревательного элемента: по перепаду температур в камере испарителя (метод 1), по расходу теплоносителя ТНУ (метод 2).

Выбор метода расчета теплового потока влияет на многие факторы, в том числе и на точность анализа полученных результатов.

Проведение экспертной оценки поможет определиться с наилучшим для нашей научно-исследовательской работы методом обработки данных. Поэтому зададимся параметрами, по которым мы будем сравнивать методы.

Модель экспертной оценки построена по следующим параметрам:

1. Простота;
2. Точность;
3. Наглядность;
4. Отсутствие влияния внешних факторов;
5. Адаптированность к установлению зависимостей.

Два эксперта оценили параметры методов по 10-бальной шкале (10 - max) “ V_i ”, а также важность параметра по 5-бальной шкале (5 - max) “ P_i ”.

Таблица 4.2 - Методы расчета теплового потока с нагревательного элемента

№	Название метода
1	по перепаду температур в различных сечениях объёма камеры испарителя
2	по расходу теплоносителя, циркулирующего в ТНУ

Таблица 4.3 - Оценка эффективности методов первым экспертом

Название метода	Простота	Точность	Наглядность	Отсутствие влияния внешних факторов	Адаптированность к установлению зависимостей
Метод 1	7/1	10/5	8/4	6/4	6/4
Метод 2	6/1	5/5	10/4	4/4	4/4

Таблица 4.4 - Оценка эффективности методов вторым экспертом

Название метода	Простота	Точность	Наглядность	Отсутствие влияния внешних факторов	Адаптированность к установлению зависимостей
Метод 1	4/4	10/5	6/5	5/5	8/5
Метод 2	8/4	6/5	9/5	2/5	6/5

Для каждого метода определяем весовой коэффициент W_i , определяемый отношением $P_i/\sum P_i$, и оценку эффективности V_i*W_i .

Расчёт считается верным, если суммарный весовой коэффициент равен единице. Таким образом, весовой коэффициент W_i показывает долю важности каждого из параметров.

В таблицах 4.5 и 4.6 представлены значения весовых коэффициентов, оценки эффективности методов и итоговые экспертные оценки.

Таблица 4.5 - Весовой коэффициент и оценка эффективности методов

Эксперт	Метод	Простота		Точность		Наглядность		Отсутствие влияния внешних факторов		Адаптированность к установлению зависимостей	
		W_i	V_i*W_i	W_i	V_i*W_i	W_i	V_i*W_i	W_i	V_i*W_i	W_i	V_i*W_i
1	метод 1	0,05	0,39	0,28	2,78	0,22	1,78	0,22	1,33	0,22	1,33
	метод 2		0,33		1,39		2,22		0,89		0,89
2	метод 1	0,16	0,67	0,21	2,08	0,21	1,25	0,21	1,04	0,21	1,67
	метод 2		1,33		1,25		1,88		0,42		1,25

Таблица 4.6 - Итоговые экспертные оценки

Название метода	Первый эксперт	Второй эксперт	Третий эксперт	Средняя оценка
Метод 1	7,61	6,71	6,65	6,99
Метод 2	5,72	6,13	3,75	5,2

По результатам двух независимых экспертных оценок, самый худший результат у метода расчета по расходу теплоносителя тепловой установки. Наивысшую среднюю оценку по предоставленным параметрам сравнения получил метод расчета по перепаду температур в различных условиях начальной температуры жидкости в камере испарителя. Проанализировав данные результаты, принимаем для определения теплового потока данный метод.

4.3 Календарный план

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.

В таблице 4.7 представлен перечень работ и участников в рамках проведения научного исследования.

Таблица 4.7 - Перечень работ и определение участников каждой работы

№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Выбор темы и направления проведения эксперимента	Руководитель, студент
2	Поиск статей на данную тематику, проведение обзора	Студент

Продолжение таблицы 4.7

3	Составление плана проведения эксперимента и выбор метода обработки данных. Постановка целей и задач исследования	Руководитель, студент
4	Закупка необходимого (недостающего) оборудования, инструментов, дополнительных деталей. Заказ дистиллированной воды	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

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

Согласно Производственному календарю на 2016 год:

В 2016 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

Рассчитанные значения в календарных днях округляем до целого числа.

Результаты расчетов сведем в таблицу 16.

№ раб.	Содержание работ	T_{pi}	T_{ki}	Начало	Конец
1	Выбор темы и направления проведения эксперимента	1	2	0	2
2	Поиск статей на данную тематику, проведение обзора	7	11	2	13
3	Составление плана проведения эксперимента и выбор метода обработки данных. Постановка целей и задач исследования	3	5	13	18
4	Закупка необходимого (недостающего) оборудования, инструментов, дополнительных деталей. Заказ дистиллированной воды	12	18	18	36
5	Установка и подключение всего оборудования.	1	2	36	38
6	Установка (обновление) необходимого программного обеспечения	1	2	36	38
7	Проведение эксперимента	30	45	38	83
8	Обработка результатов	10	15	83	98
9	Проведение дополнительных экспериментов с целью перепроверки неверных результатов и оценки повторяемости эксперимента	15	23	83	106
10	Обработка дополнительных результатов	5	8	83	91
11	Сравнение результатов с результатами, полученными ранее другими экспериментаторами, определение новизны и написание выводов	2	3	106	109
12	Оформление проделанной работы, составление пояснительной записки	4	6	109	115
13	Проверка проекта	1	2	115	117

По таблице 4.8 график Ганта.

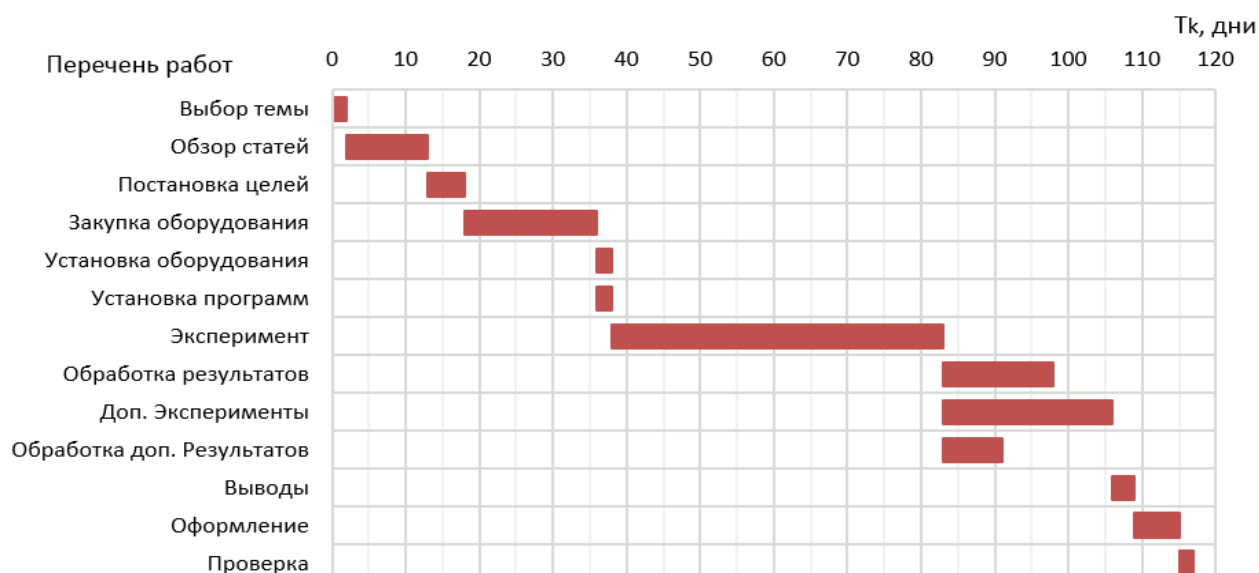


Рисунок 30 – График Ганта

Диаграмма расхода денежных средств не приводится, так как затраты выполнены только в день закупки.

4.4 Смета. Бюджет проекта

При планировании сметы проекта должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы проекта используется следующие статьи затрат:

- материальные затраты проекта;
- затраты на электроэнергию;
- полная заработная плата руководителя проекта;
- амортизация.

Материальные затраты на проектные работы включают стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны материалы, необходимые для создания научно-технического стенда;
- оборудование для проведения эксперимента;

- продукции для обеспечения нормального технологического процесса или расходуемых на другие хозяйственные и производственные нужды (проведение экспериментов, контроль, эксплуатация оборудования и его ремонт);

- материалы, используемые в качестве объектов исследований;

- канцелярские принадлежности, ручки, бумага, картриджи и т.п.

Стоимость каждого материала определяется по формуле:

$$C = K \cdot Ц,$$

где K – количество (объем потребления), шт.;

$Ц$ – стоимость единицы материала, руб.

В таблице 4.9 приведены материальные затраты проекта.

Статьи расходов	Единица измерения	Цена, руб	Объем потребления	Итого, руб.
Компрессор Атлант СКО-75 Н5-02 Компрессор герметичный для бытовых холодильников	Шт.	2761	1	2761
Фотоаппарат «Apple iPhone 5с»	Шт.	23000	1	23000
Источник света «edmund optics worldwide mi-150»	Шт.	6430	1	6430
Компьютер intel core i3-2600k ОЗУ 4 гб	Шт.	29900	1	29900
Монитор «Acer H236HLbmjd»	Шт.	5000	1	5000

продолжение таблицы 4.9

Клавиатура Gembird Wireless KB-315 Black	Шт.	970	1	970
Мышь Genius z100 optical USB, черная	Шт.	349	1	349
Термопары с модулем вывода сигналов на ПК	Шт.	9980	8	79840
Изолента народная	Шт.	25	1	25
Канцелярские товары (ручка, карандаш, линейка, ластик, тетрадь, +салфетки)	Шт.	500	1	500
Электроэнергия	кВт/ч	4,25	11199	47596
ИТОГО:				196371

В затраты на электроэнергию входит потребление света и использование различного оборудования в течении проекта.

Расходы на электроэнергию представлена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Затраты на электроэнергию

Источник потребления	Мощность потребления, кВт/ч.	Количество часов работы	Общий расход, кВт
Освещение	$0,008 \cdot 4 \cdot 9 = 0,288$	$117 \cdot 12 = 1404$	405
Компьютер	$0,4 \cdot 2 = 0,8$	$96 \cdot 12 = 1152$	922
Компрессор	5	$77 \cdot 6 = 462$	2310
Фотоаппарат	5	$77 \cdot 6 = 462$	2310
Источник света	5	$77 \cdot 6 = 462$	2310

Амортизация - перенесение по частям стоимости основных средств и нематериальных активов по мере их морального или физического износа на стоимость производимой продукции (работ, услуг).

Таблица 4.11 – Амортизация

	Компьютер	Компрес- сор	Видео камера	Фото- аппарат	Источник света
Количество	2	1	2	1	1
Норма в год, %	20	20	20	20	20
Первичная стоимость	79980	16074	131678	63743	6430
Величина в год, руб.	3999	804	6584	3188	322
Количество работы оборудования в год, ч	242*8+ +5*7=1971	62*8=544	161*8= =1288	186*8= =1488	186*8= =1488
Амортизация в час, руб/час	2,03	1,48	5,11	2,14	0,22
Количество часов работы в проекте	1152	462	462	462	462
Сам	2337,3	682,8	2361,6	989,8	100
Итого: (Σ Сам)	6556				

Оплата работы руководителя ВКР (магистранта) почасовая. Норма времени на руководство ВКР магистранта составляет 22 часа. В соответствии с временным положением о порядке нормирования труда научно-педагогических работников, тариф на почасовую оплату работы доцента составляет 300 руб/час, а значит расходы на оплату труда определяются как:

$$C_{з.п.} = 22 \cdot 300 = 6600 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды $S_{с.н.} = 6600 \cdot 0,3 = 1980 \text{ руб.}$

Суммарные затраты составят: $C_{сум.} = 6600 + 3960 = 8580 \text{ руб.}$

Затраты на выполнение проекта приведены в таблице 20.

Таблица 4.12 - Затраты на выполнение проекта

Наименование	См, руб.	Сз.п., руб	Сам., руб	Ссум., руб
Выполнение проекта	196371	8580	6556	211507

Общие затраты на реализацию данного проекта составят 211507 рублей.

4.5 Ресурсоэффективность

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по трем вариантам исполнения приведено в таблице 31, где исполнение 2 включает в себя использование установки (стенд) уже собран и докупать оборудование не надо.

Таблица 4.13 – Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Исп.1	Исп.2
Материальные затраты проекта	196371	51396

продолжение таблицы 4.14

Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	8580	8580
Накладные расходы (16 % от суммы ст. 1-2)	32792	9596
Бюджет затрат проекта (Сумма ст. 1- 3)	237743	69572

Интегральные показатели финансовой эффективности научного исследования:

$$I^{\text{исп}} = \frac{196371}{237743} = 0,83; I^{\text{исп}} = \frac{51396}{237743} = 0,21$$

Таблица 4.15 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1.Скорость выполнения проекта		0,2	5	4
2.Финансовая возможность выполнения проекта		0,25	3	5
3.Точность результатов		0,25	5	4
4.Энергосбережение		0,10	2	2
5.Надежность		0,20	5	5
ИТОГО:		1		

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{учн1}^P = 5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 = 4,2 ;$$

$$I_{учн1}^P = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 = 4,25 .$$

Наиболее ресурсоэффективным оказалось исполнение 2. Так как отсутствовали затраты на специальное оборудование для экспериментов

4.6 Экономическая эффективность

В настоящей работе был проведен SWOT-анализ с исследованием внешней и внутренней среды проекта.

Определили структуру работ в рамках научного исследования, продолжительность и участников каждой работы. Построили график Ганта и диаграмму трудозатрат. График бюджета проекта не был построен, так как затраты были выполнены только в один день перед началом эксперимента. Продолжительность выполнения проекта 117 календарных дней.

Затраты на выполнение проекта были рассчитаны в смете и составляют 211507 рублей, учитывая, что оборудование не куплено и стенд не собран. Эти затраты включают в себя: материальные затраты (вместе с затратами на электроэнергию), затраты на выплату заработной платы руководителю, затраты на амортизацию.

Интегральный показатель ресурсоэффективности проекта составляет 4,25. Но наиболее эффективным оказалось исполнение проекта №2. Отсутствовали затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ, так как установка (стенд) уже был собран и докупать оборудование не было необходимости.

Актуальным вопросом в последнее время остается усовершенствование высокоинтенсивных теплообменных аппаратов.