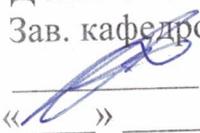


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АМГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы
Специальность 24.05.01 – Проектирование, производство и эксплуатация ракет
и ракетно-космических комплексов
Специализация – Эксплуатация стартовых и технических комплексов и систем
жизнеобеспечения

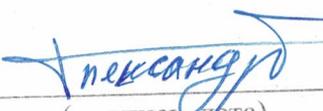
ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой


В.В. Соловьев
« » 2025г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

на тему: Модернизация системы термостатирования и кондиционирования с
помощью контурных тепловых трубок для транспортировочного контейнера
космического аппарата “Канопус-В”.

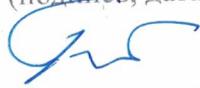
Исполнитель
студент группы 9111-ос



(подпись, дата)

А.А. Хватков

Руководитель
профессор, д-р техн. наук



(подпись, дата)

А.Д. Плутенко

Консультант
доцент



(подпись, дата)

К.А. Насуленко

Консультант по БЖД
доцент, канд. техн. наук



(подпись, дата)

А.В. Козырь

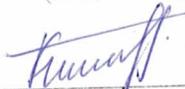
Нормоконтроль
старший преподаватель СИТРК



(подпись, дата)

М.А. Аревков

Рецензент



(подпись, дата)

А.Л. Кихай

Благовещенск 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АМГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

 В.В. Соловьев
« ___ » _____ 2025г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Хваткова Александра Александровича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Модернизация системы термостатирования и кондиционирования с помощью контурных тепловых трубок для транспортировочного контейнера космического аппарата "Канопус-В".
2. Срок сдачи студентом законченного проекта: 07.02.2025 г.
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: относительная влажность воздуха не более 75% при температуре плюс 20°C, чистота класса 100000.
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих к разработке вопросов): анализ системы термостатирования и кондиционирования; расчёт мощности системы термостатирования и кондиционирования; меры безопасности труда; экономический расчёт.
5. Перечень материалов приложения: графическая часть, содержащая в себе: титульный лист, КА "Канопус-В", контейнер транспортировочный, КА "Канопус-В" в КТ, КТ для транспортировки КА с СТС, крепление контейнера на тележке КТ-КА.9642-0, тележка КТ-КА.9642-0, принципиальная схема СТС, схема стропки, схема раскрепления ТК, балка КТ-КА.9640-1300, заключительный лист.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе: Насуленко К.А., доцент; консультант по БЖД Козырь А.В., доцент, канд. техн. наук.

7. Дата выдачи задания: 20.01.2025

Руководитель выпускного квалификационного проекта: Плутенко А.Д., д-р техн. наук.

Задание принял к исполнению (дата): 20.01.2025



РЕФЕРАТ

Настоящая дипломная работа содержит 86 страниц, 6 рисунков, 7 таблиц, 10 источников.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ, ТРАНСПОРТИРОВОЧНЫЙ КОНТЕЙНЕР,
СИСТЕМА ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ,
ВОЗДУШНАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА,
КОНТУРНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ТРУБКИ, ТЕПЛОВОЙ ПОТОК

В работе представлены результаты проектирования системы термостатирования и кондиционирования,

Цель работы – спроектировать и рассчитать систему термостатирования и кондиционирования с использованием контурных тепловых трубок.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) Провести анализ системы термостатирования и кондиционирования;
- 2) Рассчитать параметры системы термостатирования и кондиционирования;
- 3) Описать меры безопасности при работе с системой;
- 4) Провести экономический расчет.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	7
Введение.....	8
1 Теоретическая часть.....	9
1.1 Космический аппарат «Канопус-В»	9
1.2 Условия транспортирования	11
1.3 Система термостатирования.....	12
1.4 Активная система термостатирования	13
1.5 Классификация систем термостатирования	14
1.6 Работа системы термостатирования	17
2 Специальная часть.....	25
2.1 Расчёт мощности системы кондиционирования	25
2.1.1 Определение коэффициентов теплопроводности слоёв	26
2.1.2 Определение термического сопротивления	28
2.1.3 Определение коэффициента от внешней стенки к воздуху	29
2.1.4 Определение коэффициента теплопередачи от внутреннего воздуха к внешнему воздуху	31
2.1.5 Определение суммарной мощности нагревательных и охлаждающих элементов	32
2.1.6 Определение площади радиатора для системы терморегулирования с тепловыми трубками.....	32
2.2 Расчёт мощности системы термостатирования.....	36
2.2.1 Площадь средней поверхности ТК.....	37
2.2.2 Коэффициент теплопередачи стенки ТК.....	39
2.2.3 Тепловой поток через стенку ТК.....	42
2.2.4 Расчёт теплообмена на наружной поверхности ТК.....	43
2.2.5 Расчёт теплообмена на внутренней поверхности ТК.....	44
2.2.6 Коэффициент теплопередачи стенки ТК с учётом термического сопротивления на граничных поверхностях (второе приближение).....	45

3	Эксплуатационная часть	58
3.1	Разработка инструкции по эксплуатации контейнера транспортировочного с использованием системы термостатирования	58
3.2	Правила и меры безопасности при эксплуатации контейнера	58
3.3	Основные операции при использовании контейнера и его составных частей	60
3.3.1	Снятие крышки с контейнера с использованием подвески.....	60
3.3.2	Установка крышки на основания контейнера с использованием балки	61
3.3.3	Установка и закрепление контейнера на тележке	62
3.3.4	Снятие контейнера с тележки	63
3.4	Подготовка контейнера к использованию по назначению	65
3.5	Подготовка системы термостатирования к использованию по назначению	65
3.6	Заправка системы термостатирования фреоном	66
3.7	Использование системы термостатирования по назначению.....	67
3.8	Использование контейнера по назначению	68
4	Безопасность труда и экологичность производства	71
4.1	Требования, предъявляемые к помещению, где расположена фреоновая СТС	71
4.2	Техника безопасности оператора по работе с СТС	72
4.3	Действия оператора в нестандартных ситуациях	73
5	Экономическая часть	74
5.1	Оценка затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки	74
5.2	Расчёт экономической эффективности КТ	80
6	Заключение.....	82
7	Библиографический список.....	84

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

- ВСОТР – воздушная система обеспечения температурного режима;
ЖСОТР – жидкостная система обеспечения температурного режима;
ЖЖТТ – жидкостно жидкостный теплообменник термостатирования;
КА – космический аппарат;
КТ – контейнер транспортировочный;
КнТТ – контурные тепловые трубки;
НДС – налог на добавленную стоимость;
НХУ – нагревательно-холодильная установка;
НИОКР – научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа;
НИР – научно-исследовательская работа;
ОТ – объём термостатирования;
ПКХМ – парокompрессионная холодильная машина;
РТО – регеративный теплообменник;
СКВ – система кондиционирования воздуха;
СВ – система вентиляции;
СТС – система термостатирования;
СОТ – системы отвода теплоты;
ТН – тепло-носитель;
ТРВ – терморегулирующий вентиль;
ФГУП – федеральное государственное унитарное предприятие;
ЧДД – чистый дисконтированный доход.

ВВЕДЕНИЕ

В этом дипломном проекте будет спроектирована и рассчитана система поддержания постоянной температуры и кондиционирования воздуха с использованием тепловых труб специальной формы. Контейнер предназначен для транспортировки отечественного космического аппарата дистанционного зондирования земли "Канопус-В" с производственной площадки – предприятия АО «Корпорация “ВНИИЭМ”» в Москве – к месту запуска космического аппарата – космодрому Восточный.

Основной проблемой при транспортировке грузов на крупные расстояния является, в первую очередь, обеспечение сохранности перевозимых продуктов. Перед перевозкой изделия необходимо принять во внимание крупное количество факторов, таких как: оценка степени негабаритности груза, способ фиксации изделия к транспорту, перегрузка объекта и защита изделия от различных неблагоприятных факторов окружающей среды (машинного оборудования и климата).

В нашем случае объектом транспортировки является космический аппарат, и обеспечение требуемых условий транспортировки является наиболее трудоемкой задачей. Особые требования, предъявляемые к условиям эксплуатации данного устройства, делают невозможной его перевозку без специального транспортного контейнера.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Космический аппарат «Канопус-В»

Назначение:

- Получение панхроматических и многозональных изображений поверхности Земли;
- Регистрация аномальных физических явлений для прогнозирования землетрясений.

Область применения:

- Обеспечение оперативной информацией для решения следующих основных задач:
 - Мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, в том числе стихийных гидрометеорологических явлений;
 - Обнаружения очагов лесных пожаров, крупных выбросов загрязняющих веществ в природную среду;
 - Мониторинга сельскохозяйственной деятельности, природных (в том числе водных и прибрежных) ресурсов;
 - Землепользования;
 - Оперативного наблюдения заданных районов земной поверхности;
 - Регистрации аномальных физических явлений в атмосфере, ионосфере, магнитосфере и на поверхности Земли для прогнозирования землетрясений.

Общий вид КА «Канопус – В» представлен на рисунке 1.1.

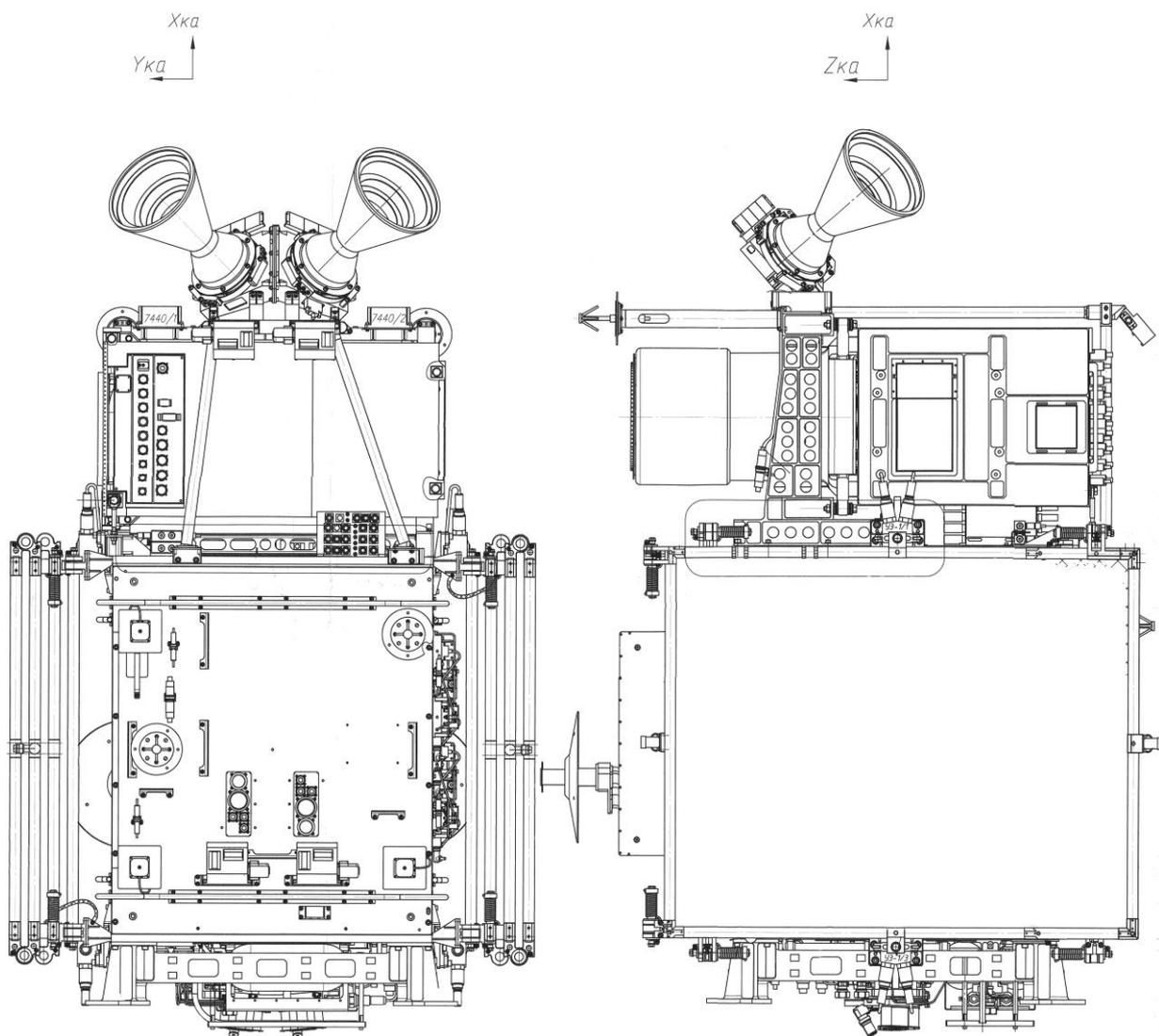


Рисунок 1.1 – Общий вид КА «Канопус – В»

1.2 Условия транспортирования

При транспортировании КА внутри транспортировочного контейнера должны поддерживаться следующие условия:

- Относительная влажность воздуха не более 75% при температуре плюс 20°С;
- Чистота класса 100000. Максимально допустимое число частиц в 1 м³ воздуха (частиц с размерами $\geq 0,5$ мкм) 100000.

Нагрузки, действующие на КА во время перевозки различными видами транспорта, представлены в таблице 1.1:

Таблица 1.1 – Коэффициенты перегрузок (безопасности)

Операции	Коэффициенты перегрузок, g			Коэффициент безопасности
	n_x	n_y	n_z	
1. Транспортировка автомобилем	$\pm 2,00$	-1 ± 2	$\pm 1,25$	См. примечание
	1,55	-3,19	-	
2.Авиационная транспортировка	-0,59	-3,58	-	1,5
	-	-4,0	-	1,5
	-	-3,07	$\pm 0,67$	1,5
	-	-3,76	-	1,65
3. Транспортировка по железной дороге	$\pm 3,00$	-1 ± 2	$\pm 1,00$	См. примечание
<p>Примечание – Коэффициент безопасности принимать при расчетах на прочность $\eta=2$ на динамическую составляющую перегрузки и $\eta=1,5$ на статическую;</p> <p>n_y – вертикальная перегрузка;</p> <p>n_x, n_z – боковые перегрузки.</p>				

1.3 Система термостатирования

Контроль температуры объекта в транспортном контейнере может осуществляться пассивно и активно. К пассивным средствам относятся теплоизоляция и воздушная изоляция. Размер слоя теплоизоляции ограничена узкими требованиями к массе и габаритам конструкции, а выбор его свойств является компромиссом при выборе активного устройства поддержания постоянной температуры — нагревательно–холодильной установки (НХУ).

Система контроля температуры должна обеспечивать заданное тепловое состояние объекта в распространённом диапазоне изменений условий перевозки: температуры, влажности, скорости ветра и солнечного излучения.

Ограничения, касающиеся теплового режима, включают максимальную и минимальную температуру и влажность воздуха в камере хранения, разницу температур между длиной и диаметром изделия и ограничение допустимого времени пребывания вне пределов экстремальной температуры. При выключении НХУ тепловое состояние устройства сохраняется в течение некоторого времени из-за сопротивления теплоизоляции. Если НХУ выходит из строя или не может быть подключен к источнику питания, мобильное устройство должно вернуться в систему отопления и вентиляции в течение времени, гарантированного пассивным режимом поддержания температуры.

При транспортировке изделия необходимо поддерживать определённые параметры воздуха внутри контейнера, поскольку транспортировка осуществляется на большие расстояния и пассивной системы контроля температуры недостаточно. Чтобы поддерживать необходимую температуру и влажность внутри контейнера во время транспортировки, необходимо разработать активную систему контроля температуры.

1.4 Активная система термостатирования

Системы термостатирования предназначены для обеспечения заданного температурного или температурно-влажностного режима.

Воздушные системы термостатирования отличаются от систем кондиционирования воздуха (СКВ) и систем вентиляции (СВ) следующим:

1. Составом термостатируемых изделий, источников холода и теплоносителей;
2. Размещением термостатируемых изделий, чаще всего вне помещений, и воздействием на них окружающей среды: нагрева, солнечной радиации, охлаждения, ветра, песка и пыли, дождя и снега; СКВ и СВ поддерживают состав и тепловлажностное содержание воздуха только в изолированных помещениях;
3. Значительным расстоянием между термостатируемыми изделиями и общим холодильным центром, достигающим сотни метров;
4. Использованием потоков воздуха не только при атмосферном давлении, но и при более высоких давлениях; в СКВ используется воздух только при атмосферном давлении;
5. Применением в качестве теплоносителей не только воздуха, но и жидкостей – антифризов, фреонов (R11, R30), водных растворов солей, воды, силиконовых жидкостей и др.;
6. Использованием автономных нагревательно – холодильных установок (НХУ), особенно на подвижных комплексах;
7. Высокими требованиями к температурным параметрам изделий по допустимым интервалам, перепадам и градиентам температур; к динамическим свойствам (характеристикам) СТ: малому времени выхода на рабочий режим термостатирования, переключения с одного режима на другой; например, с обогрева на охлаждение и обратно, с одного режима обогрева на другой режим обогрева и т.п.;
8. Сложностью выбора среды и способа отвода в нее избытков теплоты.

1.5 Классификация систем термостатирования

Системы термостатирования можно классифицировать по следующим основным признакам.

По степени мобильности различают стационарные и подвижные СТ. Стационарные СТ размещаются как на стартовых, так и на технических позициях. Подвижные СТ устанавливаются на подвижных пусковых установках и в железнодорожных специальных вагонах.

По способу термостатирования СТ подразделяются на активные, пассивные и комбинированные.

Активные СТ имеют в своем составе источники теплоты, холода и оборудование для подачи теплоносителя или хладоносителя к объекту термостатирования.

Пассивные СТ обеспечивают тепловой режим ОТ за счет использования тепловой изоляции. Например, емкости с компонентом топлива покрывают снаружи слоем тепловой изоляции, изделие в контейнере изолируют от окружающей среды воздушной прослойкой и теплоизоляционным материалом контейнера и т.п. Однако только одной пассивной защиты хватает на некоторое время. Далее наступает регулярный тепловой режим и ОТ либо нагревается, либо охлаждается.

В комбинированных СТ используются активные и пассивные способы термостатирования. Сюда относятся контейнеры с нагревательно-холодильными установками, электротермочехлы и т.п. Удачный выбор тепловой защиты и активных средств позволяет минимизировать СТ по массе, габаритам, экономичности и повысить надежность эксплуатации ОТ.

По применяемому теплоносителю СТ подразделяют на воздушные и жидкостные.

Системы, в которых нагрев и охлаждение ОТ осуществляется воздухом или другим газом (например, азотом), называются воздушными системами обеспечения температурного режима (ВСОТР).

Жидкостные системы обеспечения температурного режима (ЖСОТР) — это системы, в которых тепло передается с помощью жидкого теплоносителя, циркулирующего по замкнутому контуру. Такие системы широко применяются для управления тепловым режимом различных устройств, включая космические аппараты, электронное оборудование и промышленные установки. В первом случае такие системы называют СОТ – системы отвода теплоты. В ЖСОТР и СОТ подача теплоносителя производится по замкнутому контуру.

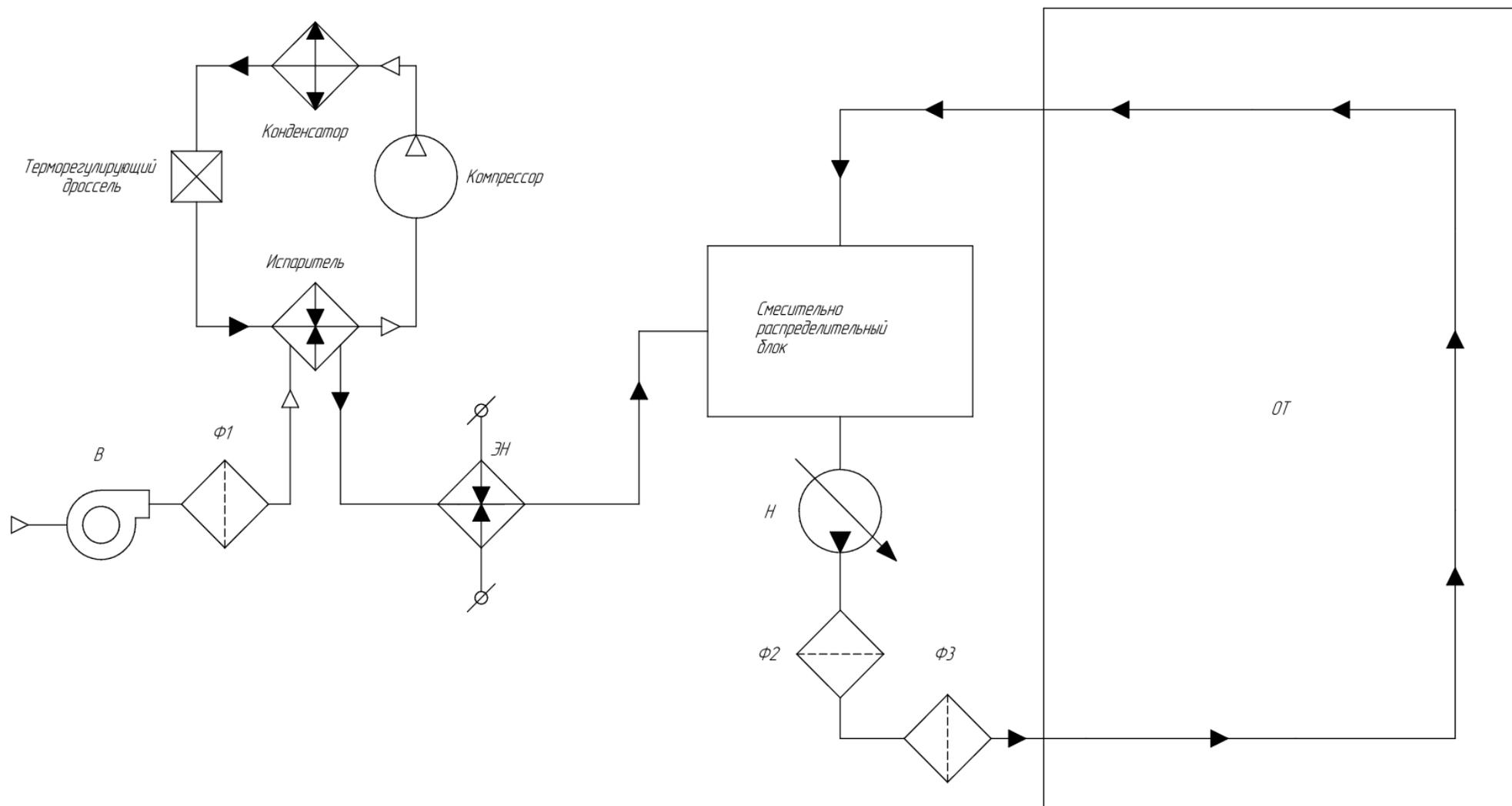


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема системы термостатирования

1.6 Работа системы термостатирования

Система, показанная на рисунке 1.2, представляет собой комплексное решение для поддержания установленных параметров микроклимата в контролируемом объеме, в котором находится продукт (например, космический аппарат). Основная задача системы-обеспечить температуру, влажность и чистоту воздуха, а также предотвратить образование застойных зон и накопление частиц пыли.

Система термостата обеспечивает подачу хладагента для поддержания заданного уровня температуры. Подача воздуха в контролируемого объема осуществляется таким образом, чтобы предотвратить образование застойных зон, где могут оседать и накапливаться частицы пыли. Воздух нагревается в соответствии с требованиями к температуре и влажности.

Система термостата обеспечивает очистку, предварительный нагрев, охлаждение и повторный подогрев хладагента.

Охлаждение циркулирующего материала происходит на ПК. Воздух подается в пространство трубами испарителя, а хладагент – в трубы. Хладагент циркулирует по замкнутому контуру с помощью герметичного компрессора. Конденсатор охлаждается наружным воздухом. После охлаждения в испарителе влага, содержащаяся в каплях, отделяется от воздуха и остается в каплеотделителе. Затем вещество нагревается с помощью электрического нагревателя (при необходимости) и поступает в смесительно-распределительный блок. После установки и распределения хладагент проходит через два фильтра тонкой очистки с циркуляционным насосом и поступает в контролируемый объем термостата.

В парокомпрессионной холодильной установке компрессор (К) всасывает рабочее тело (хладагент) из испарителя в виде сухого насыщенного пара. Хладагент сжимается под давлением (p_c), что приводит к повышению его температуры до значения (T_c). Затем сжатый хладагент поступает в теплообменник-конденсатор (К. С), где происходит процесс теплопередачи.

Тепло от хладагента передается окружающей среде, что приводит к его конденсации и переходу в жидкое состояние.

Конденсатор охлаждается терморегулируемым воздухом, который циркулирует в системе. Терморегулирующий клапан контролирует подачу хладагента в испаритель. Жидкий хладагент поступает в испаритель, где происходит процесс испарения. В хладагент поглощает тепло из охлаждаемого пространства, что приводит к снижению его температуры.

Испаренный хладагент поступает в компрессор, и цикл повторяется. Таким образом, парокомпрессионная холодильная обеспечивает охлаждение за счет циклического изменения агрегатного состояния хладагента и переноса тепла от охлаждаемого пространства к окружающей среде.

Рабочий орган холодильного двигателя — охлаждающий агент (хладагент) — в значительной степени определяет энергетические, технико-экономические и параметры, а также конструктивные особенности конкретного типа двигателя. Идеальный хладагент должен соответствовать требованиям, обеспечивать максимальную холодопроизводительность и эффективность холодильного цикла. Он должен быть химически стабильным во всём диапазоне рабочих температур, экономичным и недорогим, иметь высокую критическую температуру и низкую замерзания, быть химически инертным по отношению к строительным материалам. Большинство хладагентов при атмосферном и комнатной температуре в парообразном состоянии. Чтобы превратить пар в жидкость, его необходимо и охладить в конденсаторе холодильной системы. В хладагент находится в жидком или парообразном (газообразном) состоянии.

Большинство хладагентов при давлении и температуре окружающей среды находятся в парообразном состоянии. Для пара необходимо его сжатию и охлаждению в компрессорно-конденсаторном агрегате холодильной системы. В холодильной машине агент находится в виде жидкости или пара (газа).

Испаряющийся хладагент поглощает такое количество тепла, которое равно количеству энергии, необходимому для его превращения из жидкости в

пар. Каждый килограмм хладагента поглощает такое количество тепла, которое равно его скрытой теплоте парообразования.

Для нашей ПКХМ приведём параметры для хладона R12 и для хладона R410a. Далее выберем оптимальный вариант.

Хладон R12 (дифтордихлорметан) – это сжиженный под давлением бесцветный газ со слабым запахом четыреххлористого углерода (прелых яблок). При нормальных условиях он не горит и не взрывается, однако при температурах выше 400 °С и в присутствии открытого пламени разлагается, образуя высокотоксичные вещества, в том числе фосген.

Хладагент R12 относится к газам бесцветного типа. Он является хлорсодержащим фреоном. По соображениям экологической безопасности в отдельных сферах его использование ограничено. Вещество широко используется в холодильном оборудовании.

Основные свойства фреона марки R12:

- Растворим в маслах, слабая растворимость в воде;
- Невзрывоопасен. Это позволяет использовать вещество в промышленных условиях, на взрывоопасных производствах;
- Нейтрален относительно металлов, их соединений;
- Разлагается на несколько компонентов при температуре +330°С, в их числе газ фосген;
- Высокая текучесть;
- Не является проводником газа;
- Фреон данной марки считается сильным растворителем органических соединений (системы, в которых он функционирует, комплектуются прокладками из специальных видов резины).

Характеристика хладагента R12

Степень сжатия, МПа	4,08
Скрытая теплота парообразования при –15°С, кДж/кг	159,28
Холодопроизводительность нетто, Вт·ч/кг	32,3
Объем насыщенной жидкости при 30 °С, м ³ /кг	0,7748

Плотность насыщенного пара, кг/м ³	
при – 15°С	10,96
при 30 °С	42,08
Холодопроизводительность на 1 м ³ рабочего объема цилиндров компрессора, Вт	290,3
Теплота сжатия, кДж/кг	24,739
Температура нагнетания в компрессоре, °С	38,01
Мощность на 1000 Вт холодопроизводительности, кВт	0,212

Хладон. R410a представляет собой состав, содержащий гидрофторуглеродные соединения дифторметана R32 и пентафторэтана R125, смешанные в равных пропорциях. Химическая формула хладагента: CHF₂CF₃ + CH₂F₂. По физическим свойствам близкий к азеотропной смеси благодаря минимальному температурному скольжению (изменению температуры кипения) при переходе из жидкого или газообразного агрегатного состояния. Характеризуется экологической чистотой и безвредностью для человека.

Компоненты, входящие в состав фреона, не содержат хлор и не оказывают пагубного воздействия на озоновый слой. При образовании точек утечки состав не меняется и остаётся стабильным в процентном соотношении. Хладагент R410a разработан для замены озоноразрушающего R12, который не производится с 2010 года.

Преимущества и недостатки хладона R410a

Фреон R410a отличается от R12 рядом достоинств:

Не оказывает вредного воздействия на окружающую среду, имеет нулевой потенциал влияния на озон;

Характеризуется повышенной холодильной эффективностью;

Является нетоксичным и позволяет работать без ограничения при отсутствии источников открытого огня;

Химически стабильный;

При образовании точек утечки не происходит процентное изменение состава хладагента, поэтому систему достаточно дозаправить;

Пожаробезопасный, не поддерживает горение;

Высокие термодинамические свойства;

Для заправки системы требуется на 20 % меньше, поэтому предоставляется возможность устанавливать в холодильное оборудование более экономные компрессоры;

Дольше сохраняет эксплуатационные параметры.

Хладагент R410a характеризуется высоким индексом SEER глобального потепления, аналогичным R12. Но, поскольку оборудование работает более эффективно, считается, что парниковый эффект в результате оказывается меньший по причине уменьшения теплового выброса. Показатель температурного скольжения не превышает 0,15К. При практической эксплуатации такие отклонения практически не заметны.

Основной недостаток фреона R410a в высоком рабочем давлении. Для эффективной работы системы, заправленной R12, компрессором повышается давление в контуре до 1.6 атмосфер. Кондиционеры, работающие на R410a, при рабочей температуре требуют давление до 26 атмосфер, поэтому трубопровод должен отвечать требованиям по герметичности, особенно в местах соединения трубок с конденсатором, испарителем и прочими элементами. По этой причине требуется использование прочных деталей, обеспечивающих герметичную циркуляцию в контуре и работоспособность кондиционера. В устройствах применяются медные детали, которые повышают стоимость оборудования.

Характеристика хладагента R410a

Температура кипения °С	51,53
Теплота образования пара кДж/кг	263,3
Критическая температура °С	72,13
Критическое давление МПа	4,93
Температура конденсации °С	54

Выбираем фреон R410a.

Теплоноситель (хладоноситель) – это промежуточное вещество, предназначенное для отвода тепла от охлаждаемых объектов и передачи его хладагенту. Теплоносители подразделяются на жидкие и газообразные. К жидким относятся вода, рассолы (водные растворы солей), растворы этиленгликоля, глицерин и др. Газообразными теплоносителями являются воздух и другие газы.

К теплоносителям предъявляются следующие требования: низкая температура замерзания и незначительная вязкость при низких температурах; достаточно высокая теплоемкость; дешевизна, безвредность, негорючесть, нейтральность к конструкционным материалам; стабильность свойств.

Наиболее доступные теплоносители: воздух, вода и водные растворы солей.

В нашем случае теплоносителем является воздух.

В составе парокомпрессионных холодильных машин применяются компрессоры различных типов. Поршневые компрессоры имеют высокий холодильный коэффициент, однако для них характерна большая, чем для компрессоров других типов, вибрация и они менее надежны из-за наличия клапанов, которые гораздо чаще других деталей выходят из строя. Поршневые компрессоры очень хороши в холодильных машинах малой и средней холодопроизводительности и чересчур громоздки, тяжелы и менее энергетически эффективны в машинах большой холодопроизводительности.

Терморегулирующие вентили (ТРВ) предназначены для автоматического регулирования количества хладагента, поступающего в испаритель в зависимости от перегрева его паров, выходящих из испарителя (перегрев – это разность между температурой кипения хладагента в испарителе и температурой паров на выходе из него). Процесс регулирования сопровождается дросселированием хладагента от давления конденсации (жидкий хладон) до давления кипения, при котором хладон существует в жидком и парообразном состояниях. Для перехода хладагента в парообразное состояние требуется подвод тепла извне – так называемая скрытая теплота парообразования. Эта теплота подводится в

испарителе от циркулирующего воздуха и увеличивается при понижении температуры испарения.

При снижении температуры испарения снижается холодопроизводительность устройства, а при снижении температуры конденсации (чем холоднее хладагент, поступающий в регулятор, тем ниже температура конденсации) она повышается. Поэтому клапан регулирования температуры должен автоматически регулировать количество хладагента и реагировать на температуру испарения и температуру пара на входе в компрессор.

ТРВ — это регулятор прямого действия, то есть он работает без внешнего источника питания. Принцип работы ТРВ основан на зависимости перегрева паров хладагента, выходящих из испарителя, от тепловой нагрузки испарителя.

Если в испаритель подается определенное количество хладагента, то при увеличении тепловой нагрузки скорость кипения хладагента возрастает, и не вся площадь теплообмена принимает активное участие в работе, а перегрев на выходе из испарителя увеличивается.

По мере снижения нагрузки на испаритель процесс кипения замедляется, пары хладагента становятся перенасыщенными, и компрессор может «намокнуть» и выйти из строя, в то время как перегрев на выходе из испарителя снижается.

Вывод: в данной главе поставлены условия транспортирования, а именно относительная влажность воздуха не более 75% при температуре плюс 20°C и чистота класса 10000.

Описана система термостатирования и кондиционирования. Приведена принципиальная схема жидкостной системы обеспечения температурного режима и описан её принцип работы.

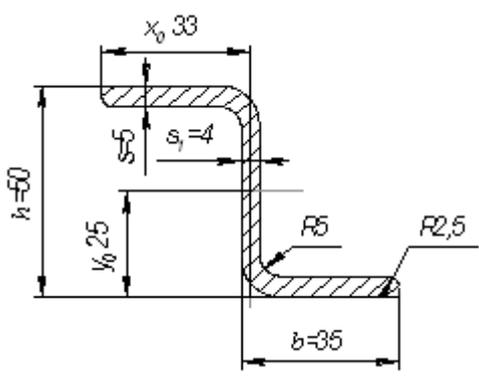
Так же выбран хладагент и описаны его характеристики. Выбран теплоноситель.

На этом теоретическая часть заканчивается, переходим к специальной части, где будем рассчитывать мощность системы термостаирования и кондиционирования.

2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Расчет мощности системы кондиционирования

Таблица 2.1 – Исходные данные

<p>Размеры профиля</p> 	Материал стенки	12X18Н10Т
	Толщина внешней стенки, D	1,5 мм
	Толщина внутренней стенки, d	1,0 мм
	Материал изоляции	Базальтовое волокно
	Высота контейнера	2700 мм
	Длина (ширина) контейнера	3300 мм
	Количество шпангоутов	42
	Температура внешней среды	223 – 313 К
	Температура внутри контейнера	293 – 298 К
	Скорость набегающего потока	0,1 м/с
	Скорость воздуха внутри контейнера	0,5 м/с

Разобьем продольное сечение стенки ТК на характерные слои:

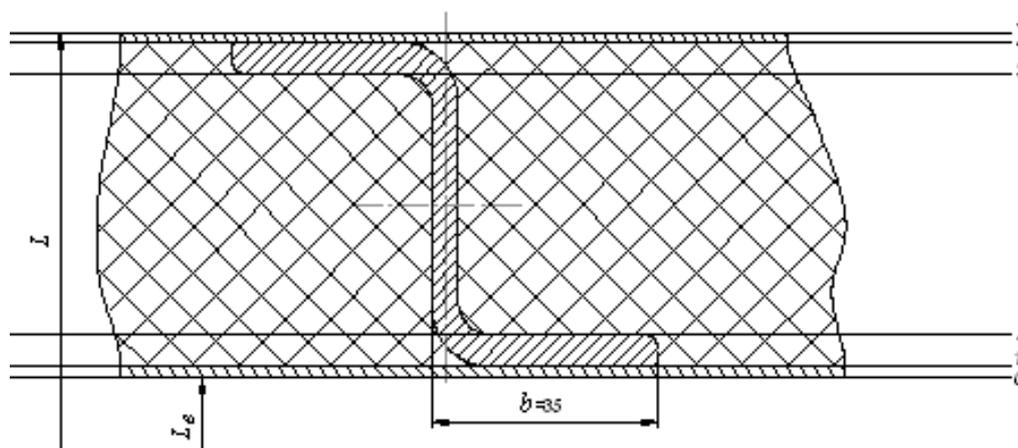


Рисунок 2.1 – Продольное сечение стенки ТК с указанием слоёв

2.1.1 Определение коэффициентов теплопроводности слоев

Коэффициенты определяются по следующей формуле:

$$k_L = \frac{\sum_1 \frac{\lambda_i}{\delta_i} \cdot F_i}{\sum_1 F_i}. \quad (2.1)$$

Слой 0–1

Теплопроводность сплава 12Х18Н10Т: $l_{12x} = 15 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$.

Коэффициент теплопроводности:

$$k_{01} = \frac{l_{12x}}{d} = \frac{15}{1 \cdot 10^{-3}} = 15000 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}. \quad (2.2)$$

Слой 1–2

Площадь шпангоутов:

$$F_{un1} = (H \cdot 24 + L \cdot 18) \cdot b; \quad (2.3)$$

$$F_{un1} = (2,7 \cdot 24 + 3,3 \cdot 18) \cdot 0,035 = 4,34 \text{ м}^2.$$

Площадь изоляции:

$$F_{us1} = 2 \cdot L^2 + L \cdot H \cdot 4 - F_{un1}; \quad (2.4)$$

$$F_{us1} = 2 \cdot 3,3^2 + 3,3 \cdot 2,7 \cdot 4 - 4,34 = 53,04 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопроводности:

$$k_{12} = \left(\frac{l_{12x} \cdot F_{un1}}{S} + \frac{l_{\text{б.с.}} \cdot F_{us1}}{S} \right) / (F_{un1} + F_{us1}), \quad (2.5)$$

где $l_{б.в.} = 0,041 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$ – теплопроводность базальтового волокна.

$$k_{12} = \left(\frac{15 \cdot 4,34}{0,005} + \frac{0,041 \cdot 53,08}{0,005} \right) / (4,34 + 53,08) = 234 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Слой 2–3

Площадь шпангоутов:

$$F_{un1} = (H \cdot 24 + L \cdot 18) \cdot s_1; \quad (2.6)$$

$$F_{un1} = (2,7 \cdot 24 + 3,3 \cdot 18) \cdot 0,004 = 0,49 \text{ м}^2.$$

Площадь изоляции:

$$F_{us2} = 2 \cdot L^2 + L \cdot H \cdot 4 - F_{un2}; \quad (2.7)$$

$$F_{us2} = 2 \cdot 3,3^2 + 3,3 \cdot 2,7 \cdot 4 - 0,49 = 56,93 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопроводности:

$$k_{23} = \left(\frac{l_{12x} \cdot F_{un2}}{H \cdot 2s} + \frac{l_{б.в.} \cdot F_{us2}}{H \cdot 2s} \right) / (F_{un2} + F_{us2}); \quad (2.8)$$

$$k_{23} = \left(\frac{15 \cdot 0,49}{0,04} + \frac{0,041 \cdot 56,93}{0,04} \right) / (0,49 + 56,93) = 4,2 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Слой 3–4

Площадь шпангоутов:

$$F_{un3} = (H \cdot 24 + L \cdot 18) \cdot b; \quad (2.9)$$

$$F_{un3} = (2,7 \cdot 24 + 3,3 \cdot 18) \cdot 0,0035 = 4,34 \text{ м}^2.$$

Площадь изоляции:

$$F_{uz3} = 2 \cdot L^2 + L \cdot H \cdot 4 - F_{um2}; \quad (2.10)$$

$$F_{uz3} = 2 \cdot 3,3^2 + 3,3 \cdot 2,7 \cdot 4 - 0,49 = 53,08 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопроводности:

$$k_{34} = \left(\frac{l_{12x} \cdot F_{um1}}{S} + \frac{l_{б.в.} \cdot F_{uz1}}{S} \right) / (F_{um1} + F_{uz1}); \quad (2.11)$$

$$k_{34} = \left(\frac{15 \cdot 4,34}{0,005} + \frac{0,041 \cdot 53,08}{0,005} \right) / (4,34 + 53,08) = 234 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Слой 4–5

Коэффициент теплопроводности:

$$k_{45} = \frac{l_{12x}}{D}; \quad (2.12)$$

$$k_{45} = \frac{15}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 10000 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

2.1.2 Определение термического сопротивления

Суммарное термическое сопротивление определяется по формуле:

$$R_s = e \cdot R_i = \frac{1}{k_i}. \quad (2.13)$$

Получим:

$$R_{01} = \frac{1}{k_{01}}; \quad (2.14)$$

$$R_{12} = \frac{1}{k_{12}}; \quad (2.15)$$

$$R_{23} = \frac{1}{k_{23}}; \quad (2.16)$$

$$R_{34} = \frac{1}{k_{34}}; \quad (2.17)$$

$$R_{45} = \frac{1}{k_{45}}; \quad (2.18)$$

$$R_{\Sigma} = R_{01} + R_{12} + R_{23} + R_{34} + R_{45}. \quad (2.19)$$

Рассчитываем:

$$R_{01} = \frac{1}{15000} = 0,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт};$$

$$R_{12} = \frac{1}{234} = 42,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт};$$

$$R_{23} = \frac{1}{4,2} = 0,24 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт};$$

$$R_{34} = \frac{1}{234} = 42,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт};$$

$$R_{45} = \frac{1}{10000} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт};$$

$$R_{\Sigma} = 0,66 \cdot 10^{-4} + 0,24 + 2 \cdot 42,7 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-4} = 0,249 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}.$$

2.1.3 Определение суммарного коэффициента теплопередачи от внешней стенки к внешнему воздуху

Коэффициент определяется как следующая сумма:

$$a_n = a_{нк} + a. \quad (2.20)$$

Конвективная составляющая $a_{нк}$.

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V_{ветра} \cdot L}{n_{нв}}, \quad (2.21)$$

где $V_{ветра} = 0,1 \text{ м/с}$ – скорость ветра;

$n_{нв} = 13,28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$ – кинематическая вязкость воздуха при температуре снаружи контейнера.

$$Re = \frac{0,1 \cdot 3,3}{13,28 \cdot 10^{-6}} = 2,5 \cdot 10^4.$$

При $Re > 1000$ критерий Нуссельта рассчитывается по формуле:

$$Nu_{нв} = 0,245 \cdot Re^{0,5}; \quad (2.22)$$

$$Nu_{нв} = 0,245 \cdot (2,5 \cdot 10^4)^{0,5} = 38,7.$$

Конвективный коэффициент теплопередачи

$$a_{нк} = \frac{Nu_{нв} \cdot l_{нв}}{L}, \quad (2.23)$$

где $l_{нв} = 2,44 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ – теплопроводность воздуха при температуре снаружи контейнера.

$$a_{нк} = \frac{38,7 \cdot 2,44 \cdot 10^{-2}}{3,3} = 2,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Лучистая составляющая $a_{нл}$.

Приведенная степень черноты: $e_{np} = 0,94$.

Перепад температур:

$$dT = t_{cmn} - t_n; \quad (2.24)$$

$$dT = 273 - 223 = 50 K.$$

Лучистый коэффициент теплопередачи:

$$a_{нл} = \frac{e_{np} \cdot c_0}{dT} \left(\left(\frac{t_{cmn}}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_n}{100} \right)^4 \right); \quad (2.25)$$

$$a_{нл} = \frac{0,94 \cdot 5,7}{90} \left(\left(\frac{273}{100} \right)^4 - \left(\frac{223}{100} \right)^4 \right) = 1,83 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Суммарный коэффициент теплопередачи от внешней стенки к внешнему воздуху:

$$a_n = 2,7 + 1,83 = 4,53 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

2.1.4 Определение коэффициента теплопередачи от внутреннего воздуха к внешнему воздуху

Искомый коэффициент ищется следующим образом:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_в} + R_\Sigma + \frac{1}{a_n}}; \quad (2.26)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8,48} + 0,249 + \frac{1}{4,53}} = 1,7 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

2.1.5 Определение суммарной мощности нагревательных и охлаждающих элементов

Площадь поверхности:

$$F_{нов} = 2 \cdot L^2 + L \cdot H \cdot 4; \quad (2.27)$$

$$F_{нов} = 2 \cdot 3,3^2 + 3,3 \cdot 2,7 \cdot 4 = 57,42 \text{ м}^2.$$

Необходимая для обогрева мощность:

$$Q = K \cdot F_{нов} (t_в - t_н); \quad (2.28)$$

$$Q = 1,7 \cdot 57,42 (298 - 223) = 7321 \text{ Вт}.$$

Мощность нагревательных элементов в киловаттах:

$$N_{нэ} = \frac{Q}{1000} = 7,321 \text{ кВт}. \quad (2.29)$$

Необходимая для охлаждения мощность:

$$Q = K \cdot F_{нов} (t_л - t_к); \quad (2.30)$$

$$Q = 1,7 \cdot 57,42 (313 - 293) = 1952 \text{ Вт}.$$

2.1.6 Определение площади радиатора для системы терморегулирования с тепловыми трубами

Регулирование отводимого теплового потока контурной тепловой трубой является ее характерным свойством. При увеличении тепловой нагрузки на испаритель повышается внутреннее давление в контуре и, следовательно, повышается уровень температур рабочего тела. Процесс конденсации в РТО

проходит при повышенном уровне температур, что сопровождается большим сбросом тепловой энергии с поверхности радиатора. При уменьшении тепловой нагрузки на испаритель наблюдается обратный процесс. Внутреннее давление в контуре падает, следовательно, снижается уровень температур рабочего тела контурных тепловых труб (КнТТ). Процесс конденсации в РТО проходит при более низких температурах, что сопровождается меньшим сбросом тепловой энергии с поверхности радиатора (рисунок 2.2).

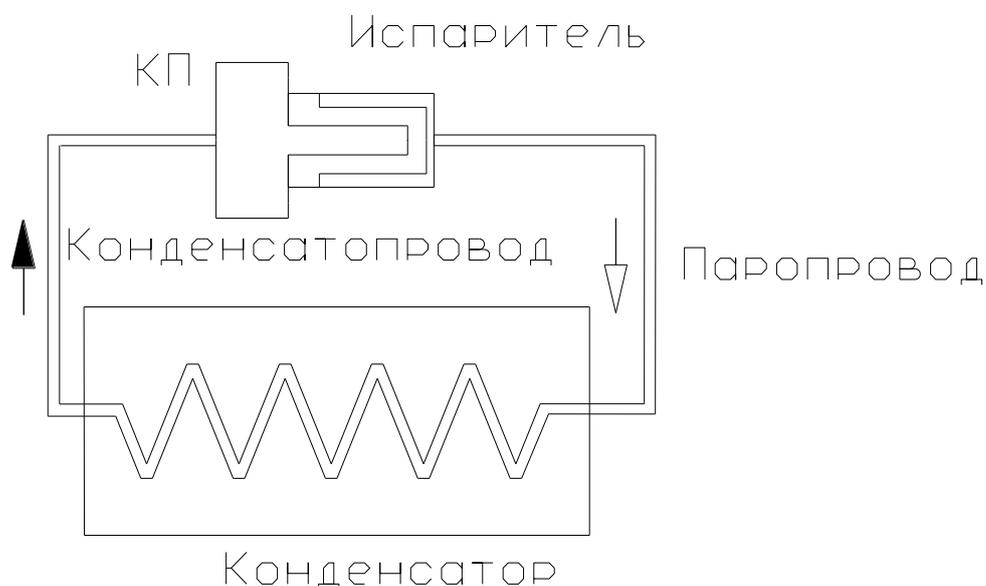


Рисунок 2.2 – КнТТ без РД и ТЭМХ

Несмотря на свойство КнТТ к саморегуляции своей производительности, это не всегда устраивает разработчиков, поскольку при работе КнТТ в относительно широком температурном диапазоне от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ возможно захлаживание аппаратуры, работающей обычно в температурном диапазоне от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для предотвращения захлаживания приборов при работе КнТТ применяют регуляторы давления (РД). Такие РД (рисунок 2.3) позволяют использовать КнТТ для обеспечения уровня температур на тепловыделяющем устройстве не ниже заданной величины.

В этом случае РД устанавливается непосредственно на выходе пара из испарителя и перенаправляет расход рабочего тела либо в конденсатор КнТТ

для сброса избыточной тепловой нагрузки оборудования в окружающее пространство, либо возвращает рабочее тело минуя конденсатор в компенсационную полость.

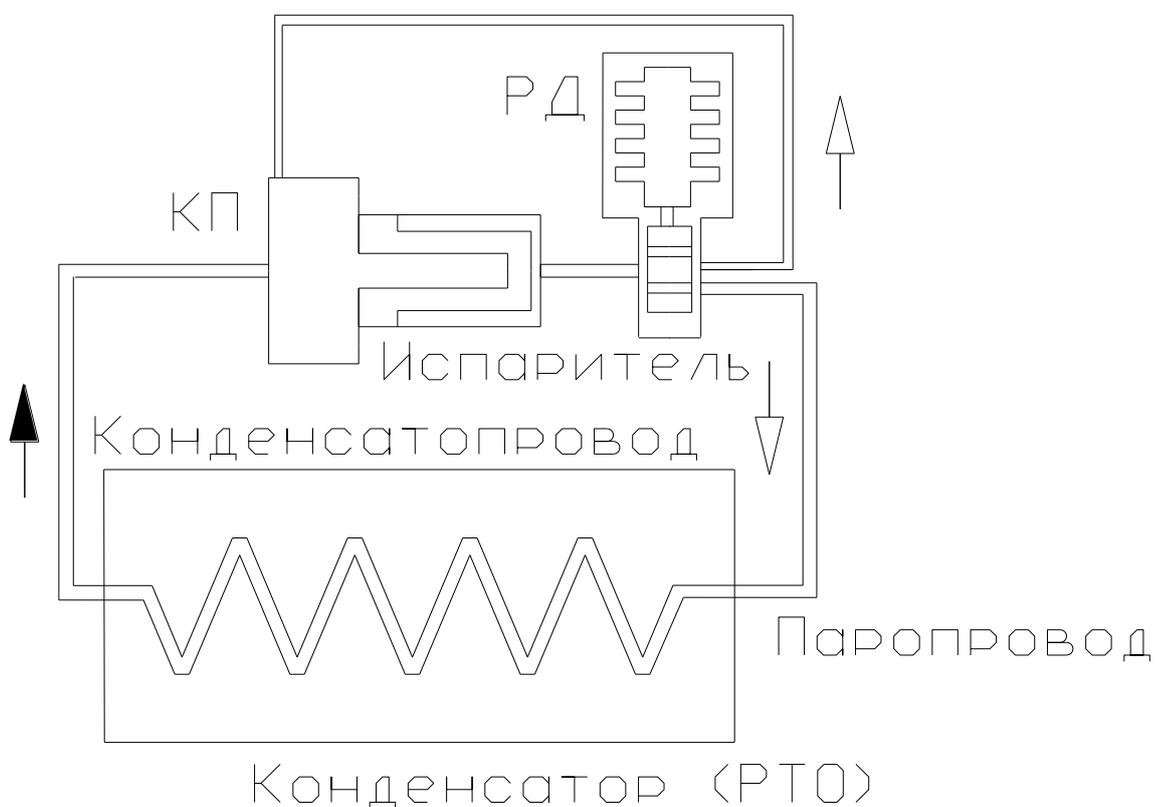


Рисунок 2.3 – КнТТ с РД

Регулятор давления настраивается на заданную температуру $T_{зад}$, которой однозначно соответствует давление $P_{зад}$. В том случае, если температура превышает заданное значение, то регулятор направляет поток рабочего тела в радиационный теплообменник (РТО) для сброса избыточного тепла. При температуре на испарителе меньше значения $T_{зад}$ РД перекрывает магистраль РТО и направляет поток рабочего тела по байпасной магистрали в КП, минуя РТО. Избыточная тепловая нагрузка контурной тепловой трубой в окружающее пространство в этом случае не отводится. Такой механизм регулирования позволяет поддерживать температуру регулирования с точностью $T_{зад} = \pm 3^\circ$.

Расчет:

$$Q = E \cdot \sigma \cdot T_w^4 + \alpha \cdot (T_w - T_f) \cdot F_{рад}, \quad (2.31)$$

где E – степень черноты, σ – постоянная Стефана-Больцмана, α – коэффициент теплоотдачи, T_f – температура внешней среды, T_w – температура стенки.

Отсюда:

$$F_{рад} = \frac{Q}{E \cdot \sigma \cdot T_w^4 + \alpha (T_w - T_f)}. \quad (2.32)$$

Расчет для Хладона R12:

$$F_{рад} = \frac{7321}{0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 295^4 + 4,53(295 - 313)} = 24 \text{ м}^2.$$

Расчет для Хладона R410a:

$$F_{рад} = \frac{7321}{0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 295^4 + 1,17(295 - 313)} = 11 \text{ м}^2.$$

Расчет основных трубопроводов.

Площадь поперечного сечения трубы можно определить по формуле:

$$f_{тр} = V_{жс} / \omega_{жс}, \quad (2.33)$$

где $f_{тр}$ – площадь поперечного сечения трубы, м^2 ;

$V_{жс} = V_6 \cdot d$ – количество жидкости, протекающей по трубе, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\omega_{жс}$ – расчетное значение скорости движения жидкости, $\text{м}/\text{с}$.

Из этой формулы можно получить внутренний диаметр трубы:

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{жс}}}{\pi \cdot \omega_{\text{жс}}}} = 1,13 \sqrt{\frac{V_{\text{жс}}}{\omega_{\text{жс}}}}; \quad (2.34)$$

$$d_{\text{вн}} = 1,13 \sqrt{\frac{3,72}{7,467}} \sim 0,0183 \text{ м.}$$

Выбираем внутренний диаметр трубы 20 мм. Толщину стенки трубы берём 4 мм.

Следовательно, внешний диаметр трубы будет 28 мм.

Длина трубок вычисляется по формуле

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{ср}} \cdot n_m}, \quad (2.35)$$

где F – поверхность нагрева теплообменного аппарата м^2 ;

$d_{\text{ср}}$ – средний диаметр трубки, м ($d_{\text{ср}} = 0,024 \text{ м}$);

n_m – число тепловых трубок (берём $n_m = 12$).

$$L = \frac{7,2}{3,14 \cdot 0,024 \cdot 12} = 7,961 \text{ м.}$$

Длину трубок подбираем 8 м.

2.2 Расчет мощности системы термостатирования

Исходные данные:

1. $t_1 = 0^\circ\text{C}$ – температура наружного воздуха;
2. $t_2 = t_{\text{макс}} + 25^\circ\text{C}$ – максимально допустимая температура воздуха в

кольцевом канале при работе системы термостатирования;

3. $t_1 = t_{\text{мин}} + 15^\circ\text{C}$ – минимально допустимая температура воздуха в

кольцевом канале при работе системы термостатирования;

4. $(t_L)_{\text{дон}} = t_2 - t_1 = 10^\circ\text{C}$ – допустимый перепад температуры воздуха

по длине;

5. $b_{TK} = 2 м$ – ширина транспортировочного контейнера;
 $a_{TK} = 2 м$ – длина транспортировочного контейнера;
 $h = 2 м$ – высота транспортировочного контейнера;
6. $b_{OT} = 1 м$ – ширина объекта транспортирования;
 $a_{OT} = 1 м$ – длина объекта транспортирования;
7. $\delta_{ззз} = 0,5 м$ – ширина воздушного зазора (между ТК и ОТ);
8. $\delta_{cm} = 0,0025 м$ – толщина стенки ТК;
9. $\delta_{из1} = 0,016 м$ – толщина 1-го слоя изоляции;
10. $\delta_{из2} = 0,019 м$ – толщина 2-го слоя изоляции;
11. $\delta_{из3} = 0,019 м$ – толщина 3-го слоя изоляции;
12. $\delta_{из4} = 0,025 м$ – толщина 4-го слоя изоляции;
13. Размеры шпангоута: $\delta_{ш} = 0,002 м$ – толщина стенки;
 $b_1 = b_2 = 0,002 м, b_3 = 0,08 м$;
14. Коэффициенты теплопроводности:
 $\lambda_{cm} = 88 Вт / м \cdot К$ – материала стенки и шпангоута (АМГ 6);
 $\lambda_{из} = 0,034 Вт / м \cdot К$ – материал тепловой изоляции (каучук вспененный).

Решение:

2.2.1 Площадь средней поверхности ТК

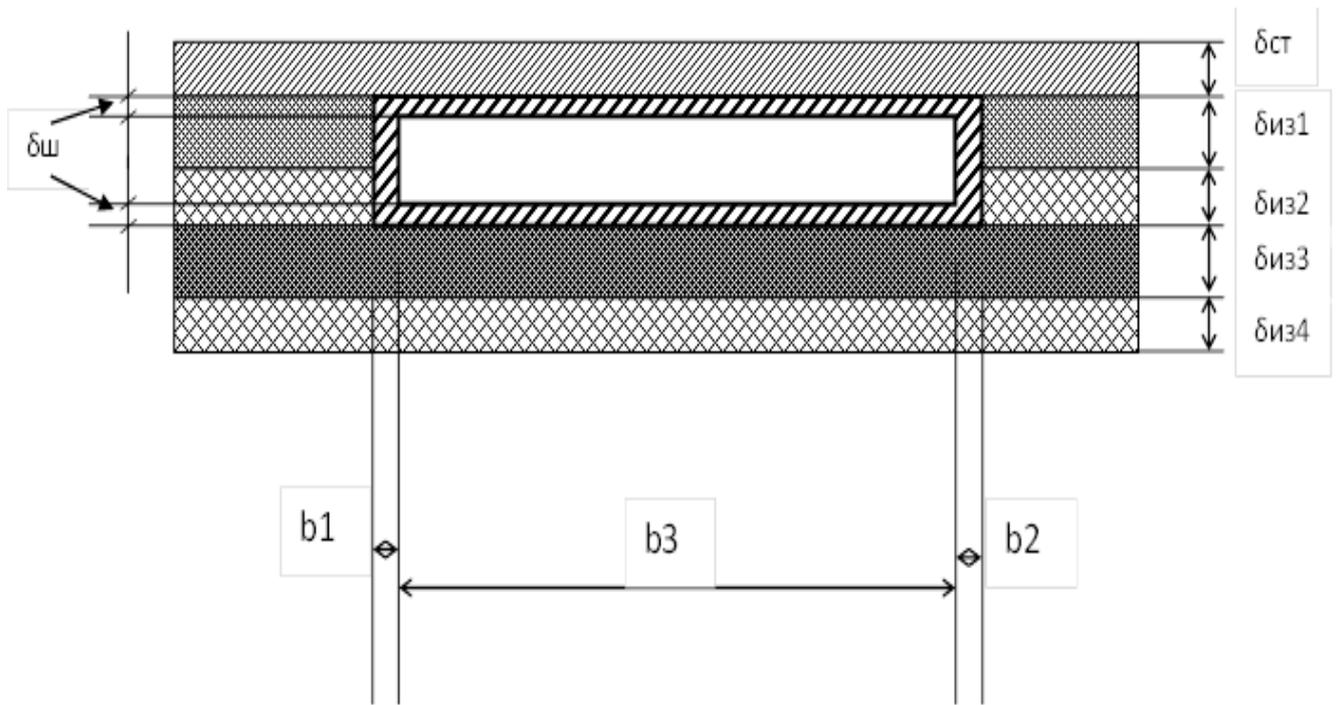


Рисунок 2.4 – Поперечное сечение стенки ТК

Площадь наружной поверхности ТК:

$$F_{\text{н}} = a_{\text{мк}} \cdot b_{\text{мк}} \cdot n_{\text{см}}; \quad (2.36)$$

$$F_{\text{н}} = 2 \cdot 2 \cdot 6 = 24 \text{ м}^2.$$

Площадь внутренней поверхности ТК

$$F_{\text{вн}} = (a_{\text{мк}} - (\delta_{\text{см}} + \sum \delta_{\text{из}})) \cdot (b_{\text{мк}} - (\delta_{\text{см}} + \sum \delta_{\text{из}})); \quad (2.37)$$

$$F_{\text{вн}} = 22,1 \text{ м}^2.$$

Расчетное среднее значение поверхности ТК:

$$F_{\text{ТК}} = \sqrt{F_{\text{н}} \cdot F_{\text{вн}}}; \quad (2.38)$$

$$F_{\text{ТК}} = \sqrt{24 \cdot 22,1} = 23,02 \text{ м}^2.$$

2.2.2 Коэффициент теплопередачи стенки ТК

1. Термическое сопротивление стенки ТК в зоне 1 без учета теплообмена на наружной и внутренней поверхностях:

$$R_1' = \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\sum \delta_{uz}}{\lambda_{uz}}; \quad (2.39)$$

$$R_1' = \frac{0,0025}{88} + \frac{0,016+0,019+0,019+0,025}{0,034} = 2,32 \frac{m^2 \cdot K}{Вт}.$$

Тогда коэффициент теплопередачи многослойной стенки в первом приближении:

$$K_1' = 1 / R_1'; \quad (2.40)$$

$$K_1' = 1 / 2,32 = 0,43 \text{ Вт} / m^2 \cdot K.$$

2. Коэффициент теплопередачи через зону шпангоута в первом приближении.

Термическое сопротивление шпангоута на участках длиной b_1, b_2, b_3 :

на участках b_1 и b_2 :

$$R_1' = R_2' = \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_{uz1} + \delta_{uz2}}{\lambda_{uz}} + \frac{\delta_{uz3} + \delta_{uz4}}{\lambda_{uz}}; \quad (2.41)$$

$$R_1' = R_2' = \frac{0,0025}{88} + \frac{0,016+0,019}{0,034} + \frac{0,019+0,025}{88} = 1,03 \frac{m^2 \cdot K}{Вт}.$$

на участке b_3 :

$$R_3' = \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{2 \cdot \delta_{uz}}{\lambda_{uz}} + \frac{\delta_{uz1} + \delta_{uz2}}{\lambda_{uz}} + \frac{(\delta_{uz3} + \delta_{uz4}) - 2 \cdot \delta_{uz}}{\lambda_{возд}}; \quad (2.42)$$

$$R_3' = \frac{0,0025}{88} + \frac{2 \cdot 0,002}{88} + \frac{0,016 + 0,019}{0,034} + \frac{(0,019 + 0,025) - 2 \cdot 0,002}{0,021} =$$

$$= 2,95 \frac{m^2 \cdot K}{Bm}.$$

Коэффициенты теплопередачи на участках b_1, b_2, b_3 :

$$K_1' = K_2' = 1/R_1'; \quad (2.43)$$

$$K_1' = 1/1,03 = 0,97 \text{ Bm} / m^2 \cdot K;$$

$$K_3' = 1/R_3'; \quad (2.44)$$

$$K_3' = 1/2,95 = 0,33 \text{ Bm} / m^2 \cdot K.$$

Среднее значение коэффициента теплопередачи в направлении теплового потока \bar{q} :

$$K_m' = \frac{K_1' \cdot b_1 + K_2' \cdot b_2 + K_3' \cdot b_3}{b_1 + b_2 + b_3}; \quad (2.45)$$

$$K_m' = \frac{2 \cdot 0,97 \cdot 0,002 + 0,33 \cdot 0,08}{2 \cdot 0,002 + 0,08} = 0,37 \text{ Bm} / m^2 \cdot K.$$

Среднее значение коэффициента теплопередачи в направлении, перпендикулярном тепловому потоку \bar{q} .

Средний коэффициент теплопроводности по зоне II шпангоута в направлении вдоль стенки ТК λ_3 :

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_{uu} \cdot b_1 + \lambda_{uu} \cdot b_2 + \lambda_{\epsilon} \cdot b_3}{b_1 + b_2 + b_3}; \quad (2.46)$$

$$\lambda_3 = \frac{2 \cdot 88 \cdot 0,002 + 0,021 \cdot 0,08}{2 \cdot 0,002 + 0,08} = 4,21 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К};$$

$$K_n = \frac{1}{\frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{2 \cdot \delta_{ui}}{\lambda_{ui}} + \frac{\delta_{uz1} + \delta_{uz2}}{\lambda_{uz}} + \frac{\delta_{uz3} + \delta_{uz4}}{\lambda_3}}; \quad (2.47)$$

$$K_n = \frac{1}{\frac{0,0025}{88} + \frac{2 \cdot 0,002}{88} + \frac{0,016 + 0,019}{0,034} + \frac{\delta_{uz3} + \delta_{uz4}}{\lambda_3} + \frac{0,019 + 0,025}{4,21}} =$$

$$= 0,96 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Средний коэффициент теплопередачи для зоны II шпангоута:

$$K_{II}' = \frac{K_m' + 2 \cdot K_n'}{3}; \quad (2.48)$$

$$K_{II}' = \frac{0,37 + 2 \cdot 0,96}{3} = 0,77 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

По значениям коэффициентов K_I' и K_{II}' находится коэффициент теплопередачи стенки ТК без учета термических сопротивлений на граничных поверхностях:

$$K' = \frac{K_I' \cdot F_I + K_{II}' \cdot F_{II}}{F_I + F_{II}}; \quad (2.49)$$

$$F_I = 4 \cdot (l_k \cdot h_k - 4 \cdot l_{ui} \cdot h_{ui}); \quad (2.50)$$

$$F_{II} = 4 \cdot l_{ui} \cdot h_{ui}; \quad (2.51)$$

$$F_I = 4 \cdot (2 \cdot 2 - 4 \cdot 2 \cdot 0,08) = 13,44 \text{ м}^2;$$

$$F_{II} = 4 \cdot 2 \cdot 0,08 = 2,56 \text{ м}^2;$$

$$K' = \frac{0,43 \cdot 13,44 + 0,77 \cdot 2,56}{13,44 + 2,56} = 0,48 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

2.2.3 Тепловой поток через стенку ТК

в первом приближении

$$Q_T' = K_{T.M.} \cdot K' \cdot F_{cp} \cdot (\tilde{t}_g - t_n); \quad (2.52)$$

$$\tilde{t}_g = 0,5 \cdot (t_1 - t_2); \quad (2.53)$$

$$\tilde{t}_g = 0,5 \cdot (15 - 25) = 20^\circ \text{C}.$$

где \tilde{t}_g – средняя ожидаемая температура воздуха по длине канала;

$K_{T.M.} = 1,10 \dots 1,14$ – коэффициент, учитывающий тепловые потоки через не рассматриваемые здесь тепловые мосты, которые всегда имеют место в реальных конструкциях. Здесь принимаем $K_{T.M.} = 1,12$.

$$Q_T' = 1,12 \cdot 23,02 \cdot 0,48 \cdot (20 - 0) = 249,5 \text{ Вт} = 898,1 \text{ кДж} / \text{ч}.$$

Потребный массовый расход теплого воздуха через ТК может быть определен как:

$$G_T' = \frac{Q_T'}{c_p \cdot (t_{ex} - t_{вых})}, \quad (2.54)$$

где $c_p = 1,005 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}$.

$$G_T' = \frac{898,1}{1,005 \cdot 10} = 89,4 \text{ кг} / \text{ч}.$$

Объемный расход теплого воздуха при 20°C :

$\rho_{20} = 1,205 \text{ кг} / \text{м}^3$ – плотность воздуха при 20°C .

$$V_T^1 = \frac{G_T'}{P_{20}}; \quad (2.55)$$

$$V_T^1 = \frac{89,4}{1,205} = 74,2 \text{ м}^3 / \text{ч} = 0,021 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Площадь зазора канала:

$$F_{\text{заз}} = a_{\text{мк}} \cdot b_{\text{мк}} - a_{\text{ом}} \cdot b_{\text{ом}}; \quad (2.56)$$

$$F_{\text{заз}} = 2 \cdot 2 - 1 \cdot 1 = 3 \text{ м}^2.$$

Скорость воздуха:

$$v_6' = \frac{V_T^1}{F_{\text{заз}}}; \quad (2.57)$$

$$v_6' = \frac{0,021}{3} = 0,007 \text{ м/с}.$$

2.2.4 Расчет теплообмена на наружной поверхности ТК

Лучистый теплообмен между ТК и наружным воздухом в расчетах не учитывается, в виду того, что контейнер находится на открытом пространстве столь короткий промежуток времени, что данной составляющей теплообмена можно пренебречь.

При $t_n = 0^\circ\text{C}$ коэффициент кинематической вязкости воздуха:

$$\nu_n = 13,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}, Pr_n = 0,707, \lambda_n = 0,021 \text{ Вт/м}.$$

Число Рейнольдса для поперечного (наихудший вариант) обтекания:

$$Re_n = \frac{v_n \cdot a_{\text{мк}}}{\nu_n}; \quad (2.58)$$

$$Re_n = \frac{0,1 \cdot 2}{13,3 \cdot 10^{-6}} = 15037,6.$$

Число Нуссельта:

$$Nu_n = 0,226 \cdot Re_n^{0,6} \cdot Pr_n^{0,43}; \quad (2.59)$$

$$Nu_n = 0,226 \cdot 15038^{0,6} \cdot 0,707^{0,43} = 62,4.$$

Конвективный коэффициент теплообмена:

$$\alpha_n = Nu_n \cdot \frac{\lambda_n}{a_{mk}}; \quad (2.60)$$

$$\alpha_n = 62,4 \cdot \frac{0,021}{2} = 0,65 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Термическое сопротивление на наружной поверхности ТК в зонах 1 и 2:

$$R_n = \frac{1}{\alpha_n}; \quad (2.61)$$

$$R_n = \frac{1}{0,65} = 1,53 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}.$$

2.2.5 Расчет теплообмена на внутренней поверхности ТК

Эквивалентный размер зазора:

$$L_3 = 2 \cdot \delta_{\text{зз}}; \quad (2.62)$$

$$L_3 = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ м}.$$

При $\tilde{t}_g = 20^\circ\text{C}$:

$$c_p = 1,005 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}, \lambda_g = 0,025 \text{ Вт} / \text{м}, \nu_g = 15,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}, Pr_g = 0,7.$$

Число Рейнольдса:

$$Re_{\epsilon} = \frac{v_{\epsilon} \cdot L_{\epsilon}}{\nu_{\epsilon}} ; \quad (2.63)$$

$$Re_{\epsilon} = \frac{0,007 \cdot 1}{15,1 \cdot 10^{-6}} = 463,6 .$$

Число Нуссельта:

$$Nu_{\epsilon} = 0,66 \cdot Re_{\epsilon}^{0,5} \cdot Pr_{\epsilon}^{0,33} ; \quad (2.64)$$

$$Nu_{\epsilon} = 0,66 \cdot 463,6^{0,5} \cdot 0,7^{0,33} = 12,6 .$$

Коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции:

$$\alpha_{\text{вк}} = Nu_{\epsilon} \cdot \frac{\lambda_{\epsilon}}{L_{\epsilon}} ; \quad (2.65)$$

$$\alpha_{\text{вк}} = 12,6 \cdot \frac{0,025}{1} = 0,316 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К} .$$

Коэффициент теплообмена на внутренней поверхности ТК:

$$\alpha_{\text{вн}} = \alpha_{\text{вк}} = 0,316 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К} .$$

2.2.6 Коэффициент теплопередачи стенки ТК с учетом термического сопротивления на граничных поверхностях (второе приближение)

Термическое сопротивление на внутренней поверхности ТК:

$$R_{\text{вн}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} ; \quad (2.66)$$

$$R_{\text{вн}} = \frac{1}{0,316} = 3,16 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} .$$

Коэффициент теплопередачи через зону 1:

$$K_1 = \frac{1}{R_{вн} + R_{см} + R_{н}}; \quad (2.67)$$

$$K_1 = \frac{1}{3,16 + 2,32 + 1,53} = 0,143 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Далее определяется коэффициент теплопередачи через зону шпангоута.

На участках b_1 и b_2 :

$$K_1 = K_2 = \frac{1}{R_{вн} + R'_1 + R_{н}}; \quad (2.68)$$

$$K_1 = K_2 = \frac{1}{3,16 + 1,03 + 1,53} = 0,175 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К};$$

$$K_3 = \frac{1}{R_{вн} + R'_3 + R_{н}}; \quad (2.69)$$

$$K_3 = \frac{1}{3,16 + 2,95 + 1,53} = 0,13 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Среднее значение коэффициента теплопередачи в направлении теплового потока \bar{q} :

$$K_m = \frac{K_1 \cdot b_1 + K_2 \cdot b_2 + K_3 \cdot b_3}{b_1 + b_2 + b_3}; \quad (2.70)$$

$$K_m = \frac{2 \cdot 0,175 \cdot 0,002 + 0,13 \cdot 0,08}{2 \cdot 0,002 + 0,08} = 0,145 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Коэффициент теплопередачи через зону 2:

$$K_{II} = \frac{K_m + 2 \cdot K_n}{3}; \quad (2.71)$$

$$K_{II} = \frac{0,145 + 2 \cdot 0,96}{3} = 0,69 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Полный коэффициент теплопередачи через стенку контейнера:

$$K = \frac{K_I \cdot F_I + K_{II} \cdot F_{II}}{F_I + F_{II}}; \quad (2.72)$$

$$K = \frac{0,143 \cdot 13,44 + 0,69 \cdot 2,56}{13,44 + 2,56} = 0,2304 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Тепловой поток через стенку ТК во втором приближении:

$$Q_T = K_{Т.М.} \cdot K \cdot F_{cp} \cdot (\tilde{t}_в - t_n); \quad (2.73)$$

$$Q_T = 1,12 \cdot 0,2304 \cdot 23,02 \cdot (20 - 0) = 119,7 \text{ Вт} = 431 \text{ кДж} / \text{ч}.$$

Потребный массовый расход воздуха:

$$G_T = \frac{Q_T}{c_p \cdot (t_{ex} - t_{вых})}; \quad (2.74)$$

$$G_T = \frac{431}{1,005 \cdot 10} = 42,9 \text{ кг} / \text{ч}.$$

Объемный расход теплого воздуха:

$$V_T = \frac{G_T}{\rho_{20}}; \quad (2.75)$$

$$V_T = \frac{42,9}{1,205} = 35,6 \text{ м}^3 / \text{ч} = 0,01 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Скорость воздуха:

$$v_T = \frac{V_T}{F_{\text{воз}}}; \quad (2.76)$$

$$v_T = \frac{0,01}{3} = 0,003 \text{ м} / \text{с}.$$

Полезная мощность электронагревателя для нагрева охлажденного воздуха в зимнее время на величину Δt и компенсации потери теплоты Q находятся из выражения:

$$N_{\text{эH}} = c_p \cdot G \cdot \Delta t; \quad (2.77)$$

$$\Delta t = t_{\text{ex}} - t_{\text{вых}}; \quad (2.78)$$

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{н}} + (t_{\text{ex}} - t_{\text{н}}) \cdot \exp(-m_1 \cdot a_{\text{mk}}); \quad (2.79)$$

$$m_1 = \frac{K \cdot K_{\text{T.М.}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ТК.вн}}}{c_p + G}. \quad (2.80)$$

Получаем:

$$m_1 = \frac{0,23 \cdot 1,12 \cdot 3,14 \cdot 2}{1,005 + 42,9} = 0,04 \frac{1}{\text{м}};$$

$$t_{\text{вых}} = 0 + (25 - 0) \cdot \exp(-0,04 \cdot 2) = 23^\circ \text{C};$$

$$\Delta t = 25 - 23 = 2^\circ \text{C};$$

$$N_{\text{эH}} = 1,005 \cdot 42,9 \cdot 2 = 86,23 \text{ кДж} / \text{ч} = 23,95 \text{ Вт}.$$

Произведем расчёт мощности электронагревательной установки при наружной температуре воздуха $t_n = -50^\circ\text{C}$.

Решение:

1. Площадь средней поверхности ТК: $F_{\text{ТК}} = 23,02 \text{ м}^2$.

2. Коэффициент теплопередачи стенки ТК.

2.1. Термическое сопротивление стенки ТК в зоне 1 без учета теплообмена на наружной и внутренней поверхностях: $R'_1 = 2,32 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$.

Коэффициент теплопередачи многослойной стенки в первом приближении: $K'_1 = 0,43 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$.

2.2. Коэффициент теплопередачи через зону шпангоута в первом приближении.

Термическое сопротивление шпангоута на участках длиной b_1, b_2, b_3 :

на участках b_1 и b_3 :

$$R'_1 = R'_2 = 1,03 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

на участке b_3 :

$$R'_3 = 2,95 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Коэффициенты теплопередачи на участках b_1, b_2, b_3 :

$$K'_1 = K'_2 = 0,97 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К};$$

$$K'_3 = 0,33 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Среднее значение коэффициента теплопередачи в направлении теплового потока \bar{q} : $K'_m = 0,37 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$.

Среднее значение коэффициента теплопередачи в направлении, перпендикулярном тепловому потоку \bar{q} .

Средний коэффициент теплопроводности по зоне II шпангоута в направлении вдоль стенки ТК λ_3 :

$$\lambda_3 = 4,21 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К};$$

$$K_n = 0,96 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Средний коэффициент теплопередачи для зоны II шпангоута:

$$K_{II}' = 0,77 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

По значениям коэффициентов K_I' и K_{II}' находится коэффициент теплопередачи стенки ТК без учета термических сопротивлений на граничных поверхностях:

$$K' = 0,48 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

3. Тепловой поток через стенку ТК.

в первом приближении:

$$Q_T'' = K_{Т.М.} \cdot K' \cdot F_{cp} \cdot (t'_g - t_n); \quad (2.81)$$

$$\tilde{t}'_g = 0,5 \cdot (t_1 - t_2), \quad (2.82)$$

где \tilde{t}'_g – средняя ожидаемая температура воздуха по длине канала;

$K_{Т.М.} = 1,10 \dots 1,14$ – коэффициент, учитывающий тепловые потоки через не рассматриваемые здесь тепловые мосты, которые всегда имеют место в реальных конструкциях. Здесь принимаем $K_{Т.М.} = 1,12$.

$$\tilde{t}'_g = 0,5 \cdot (15 + 50) = 32,5^\circ \text{C};$$

$$Q_T'' = K_{Т.М.} \cdot K' \cdot F_{cp} \cdot (\tilde{t}'_g - t_n) = 873,16 \text{ Вт} = 3143,38 \text{ кДж} / \text{ч}.$$

Потребный массовый расход теплого воздуха через ТК может быть определен как:

$$G_T'' = \frac{Q_T''}{c_p \cdot (t_{ex} - t_{вых})}, \quad (2.83)$$

где $c_p = 1,005 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}$.

$$G_T'' = \frac{3143,38}{1,005 \cdot 10} = 312,8 \text{ кг} / \text{ч} .$$

Объемный расход теплого воздуха при $20 \text{ }^\circ\text{C}$:

$\rho_{20} = 1,205 \text{ кг} / \text{м}^3$ – плотность воздуха при $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$V_{T'}^1 = \frac{G_T''}{\rho_{20}}; \tag{2.84}$$

$$V_{T'}^1 = \frac{3143,38}{1,205} = 259,6 \text{ м}^3 / \text{ч} = 0,07 \text{ м}^3 / \text{с} .$$

Площадь зазора канала: $F_{\text{заз}} = 3 \text{ м}^2$.

Скорость воздуха:

$$v_6'' = \frac{V_{T'}^1}{F_{\text{заз}}}; \tag{2.85}$$

$$v_6' = \frac{0,07}{3} = 0,024 \text{ м} / \text{с}.$$

4. Расчет теплообмена на наружной поверхности ТК.

При $t_n = -50 \text{ }^\circ\text{C}$ коэффициент кинематической вязкости воздуха:

$$\nu_n = 9,23 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}, Pr_n = 0,728, \lambda_n = 0,0204 \text{ Вт} / \text{м}.$$

Число Рейнольдса для поперечного (наихудший вариант) обтекания:

$$Re_n' = \frac{v_n \cdot a_{mk}}{\nu_n}; \tag{2.86}$$

$$Re_n' = \frac{0,1 \cdot 2}{9,23 \cdot 10^{-6}} = 21669.$$

Число Нуссельта:

$$Nu'_n = 0,226 \cdot Re'_n{}^{0,6} \cdot Pr'_n{}^{0,43}; \quad (2.87)$$

$$Nu'_n = 0,226 \cdot 21669^{0,6} \cdot 0,728^{0,43} = 78,8.$$

Конвективный коэффициент теплообмена:

$$\alpha'_n = Nu'_n \cdot \frac{\lambda_n}{a_{mk}}; \quad (2.88)$$

$$\alpha'_n = 78,8 \cdot \frac{0,0204}{2} = 0,8 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Термическое сопротивление на наружной поверхности ТК в зонах 1 и 2:

$$R'_n = \frac{1}{\alpha'_n}; \quad (2.89)$$

$$R'_n = \frac{1}{0,8} = 1,25 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}.$$

5. Расчет теплообмена на внутренней поверхности ТК.

Эквивалентный размер зазора $L_3 = 1 \text{ м}$.

При $\tilde{t}_g = 20^\circ\text{C}$:

$$c_p = 1,005 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}, \lambda_g = 0,025 \text{ Вт} / \text{м}, \nu_g = 15,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}, Pr_g = 0,7.$$

Число Рейнольдса:

$$Re'_g = \frac{v_g \cdot L_3}{\nu_g}; \quad (2.90)$$

$$Re'_e = \frac{0,024 \cdot 1}{15,1 \cdot 10^{-6}} = 1589,4.$$

Число Нуссельта:

$$Nu'_e = 0,66 \cdot Re'^{0,5} \cdot Pr'^{0,33}; \quad (2.91)$$

$$Nu'_e = 0,66 \cdot 1589,4^{0,5} \cdot 0,7^{0,33} = 23,4.$$

Коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции:

$$\alpha'_{вк} = Nu'_e \cdot \frac{\lambda'_6}{L_3}; \quad (2.92)$$

$$\alpha'_{вк} = 23,4 \cdot \frac{0,025}{1} = 0,6 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Коэффициент теплообмена на внутренней поверхности ТК:

$$\alpha'_{вн} = \alpha'_{вк} = 0,6 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

6. Коэффициент теплопередачи стенки ТК с учетом термического сопротивления на граничных поверхностях (второе приближение).

Термическое сопротивление на внутренней поверхности ТК:

$$R'_{вн} = \frac{1}{\alpha'_{вн}}; \quad (2.93)$$

$$R'_{вн} = \frac{1}{0,6} = 1,67 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}.$$

Коэффициент теплопередачи через зону 1:

$$K'_I = \frac{1}{R'_{вн} + R'_{ст} + R'_н}; \quad (2.94)$$

$$K'_I \frac{1}{1,67 + 2,32 + 1,25} = 0,193 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Далее определяется коэффициент теплопередачи через зону шпангоута.

На участках b_1 и b_2 :

$$K_1 = K_2 = \frac{1}{R'_{\text{вн}} + R_1 + R'_H}; \quad (2.95)$$

$$K_1 = K_2 = \frac{1}{1,67 + 2,32 + 1,25} = 0,178 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К};$$

$$K_3 = \frac{1}{R'_{\text{вн}} + R_3 + R'_H}; \quad (2.96)$$

$$K_3 = \frac{1}{1,67 + 2,95 + 1,25} = 0,13 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Среднее значение коэффициента теплопередачи в направлении теплового потока \bar{q} :

$$K'_m = \frac{K_1 \cdot b_1 + K_2 \cdot b_2 + K_3 \cdot b_3}{b_1 + b_2 + b_3}; \quad (2.97)$$

$$K'_m = \frac{2 \cdot 0,178 \cdot 0,002 + 0,17 \cdot 0,08}{2 \cdot 0,002 + 0,08} = 0,17 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Коэффициент теплопередачи через зону 2:

$$K''_{II} = \frac{K'_m + 2 \cdot K_n}{3}; \quad (2.98)$$

$$K_{II}' = \frac{0,17 + 2 \cdot 0,96}{3} = 0,7 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Полный коэффициент теплопередачи через стенку контейнера:

$$K' = \frac{K_I' \cdot F_I + K_{II}' \cdot F_{II}}{F_I + F_{II}}; \quad (2.99)$$

$$K' = \frac{0,19 \cdot 13,44 + 0,7 \cdot 2,56}{13,44 + 2,56} = 0,2716 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Тепловой поток через стенку ТК во втором приближении:

$$Q_T' = K_{T.M.} \cdot K' \cdot F_{cp} \cdot (\tilde{t}'_e - t_n); \quad (2.100)$$

$$Q_T' = 1,12 \cdot 0,2716 \cdot 23,02 \cdot 70 = 490,2 \text{ Вт} = 1764,7 \text{ кДж} / \text{ч}.$$

Потребный массовый расход воздуха:

$$G_T' = \frac{Q_T'}{c_p \cdot (t_{ex} - t_{вых})}; \quad (2.101)$$

$$G_T' = \frac{1764,7}{1,005 \cdot 10} = 175,6 \text{ кг} / \text{ч}.$$

Объемный расход теплого воздуха:

$$V_T' = \frac{G_T'}{\rho_{20}}; \quad (2.102)$$

$$V_T' = \frac{175,6}{1,205} = 145,73 \text{ м}^3 / \text{ч} = 0,04 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Скорость воздуха:

$$v_T' = \frac{V_T'}{F_{\text{воз}}}; \quad (2.103)$$

$$v_T' = \frac{0,04}{3} = 0,013 \text{ м/с.}$$

Полезная мощность электронагревателя для нагрева охлажденного воздуха в зимнее время на величину Δt :

$$N_{\text{эН}}' = c_p \cdot G' \cdot \Delta t; \quad (2.104)$$

$$\Delta t' = t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}'; \quad (2.105)$$

$$t_{\text{вых}}' = t_{\text{н}} + (t_{\text{вх}} - t_{\text{н}}) \cdot \exp(-m_1 \cdot a_{\text{мк}}); \quad (2.106)$$

$$m_1' = \frac{K' \cdot K_{\text{Т.М.}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ТК.вН}}}{c_p + G'}. \quad (2.107)$$

Получаем:

$$m_1' = \frac{0,2716 \cdot 1,12 \cdot 3,14 \cdot 2}{1,005 + 175,6} = 0,01 \frac{1}{\text{м}};$$

$$t_{\text{вых}}' = -50 + (25 + 50) \cdot \exp(-0,01 \cdot 2) = 23,5^\circ\text{C};$$

$$\Delta t' = 25 - 23,5 = 1,5^\circ\text{C};$$

$$N_{\text{эН}}' = 1,005 \cdot 175,6 \cdot 1,5 = 953 \text{ кДж/ч} = 262,717 \text{ Вт.}$$

Вывод: в данной главе осуществлён расчёт мощности системы кондиционирования и термостатирования.

Произведён расчёт пассивной системы термостатирования. А именно, определены коэффициент теплопроводности слоёв обшивки контейнера ($k_{01} = 15000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, $k_{12} = k_{34} = 234 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, $k_{23} = 4,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$,

$k_{45} = 10000 \text{ Bm} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$.) и определено суммарное термическое сопротивление ($R_{\Sigma} = 0,249 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{Bm}$). Найден суммарный коэффициент теплопередачи от внешней стенки к внутреннему воздуху ($a_n = 4,53 \text{ Bm} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$).

Произведён расчёт активной системы термостатирования. А именно, определена суммарная мощность нагревательных ($N_{нэ} = 7,321 \text{ KBm}$) и охладительных элементов ($Q = 1952 \text{ Bm}$), и площадь радиаторов для системы с тепловыми трубками ($F_{рад} = 11 \text{ m}^2$).

На этом специальная часть заканчивается, переходим к эксплуатационной части, где будем описывать порядок действий при работе с контейнером с использованием системы термостатирования.

3 ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ЧАСТЬ

3.1 Разработка инструкции по эксплуатации контейнера транспортировочного с использованием системы термостатирования

В эксплуатационной части дипломного проекта необходимо разработать инструкцию по эксплуатации транспортировочного контейнера учитывая его модернизацию разработанной системой терморегулирования. За основу взято руководство по эксплуатации КТ-КА.9640-0.

Общие указания:

Контейнер предназначен для хранения и транспортирования КА «Канопус-В» (массой до 550 кг).

За исправное состояние контейнера и его составных частей несёт ответственность лицо, за которым закреплен контейнер.

К эксплуатации контейнера допускаются лица, изучившие материальную часть, правила эксплуатации контейнера, изложенные в настоящем руководстве по эксплуатации, и допущенные к работе в установленном порядке.

Перед началом работ с контейнером необходимо проверить отметки о проведении технического освидетельствования, аттестации контрольно-измерительных приборов и аппаратуры, действие гарантийных сроков на составные части контейнера. Замена, переаттестация или продление гарантийных сроков осуществляется силами и средствами предприятия, эксплуатирующего контейнер.

3.2 Правила и меры безопасности при эксплуатации контейнера

Ответственность за правильную и безопасную эксплуатацию контейнера возлагается на руководителя работ. Перечень опасных работ при эксплуатации контейнера:

- Работа с грузоподъёмным оборудованием;
- Работа с хладагентом;
- Работа с горюче-смазочными материалами.

К работам с грузоподъемным оборудованием допускаются лица, имеющие допуск к проведению грузоподъемных работ.

При работах с легковоспламеняющимися жидкостями руководствоваться инструкциями пожарной безопасности, действующими на месте проведения работ.

При выполнении работ с контейнером и его составными частями дополнительно руководствоваться инструкциями по технике безопасности, действующими на участке выполнения работ.

При работе с контейнером ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- Начинать работы без команды руководителя работ;
- Допускать к работе, не прошедшие техническое освидетельствование и с просроченным сроком переосвидетельствования;
- При работе с ГПС находиться под поднимаемым грузом;
- Присутствовать посторонним лицам на месте проведения работ;
- Пользоваться при работах неисправным инструментом;
- Оставлять контейнер или его составляющие в подвешенном состоянии.

Контейнер обеспечивает транспортирование в нем КА авиационным видом транспорта, а именно самолетом ИЛ-76. Учитывая стоимость перевозки, а также состояние авиационного парка данного типа самолетов (из-за устаревания выводятся из эксплуатации), предлагается пересмотреть приоритеты транспортирования от авиационного к железнодорожному и автомобильному виду транспорта. Автомобильный транспорт рекомендуется использовать на средних расстояниях (в пределах региона). Также допускается рассмотреть транспортировку другими видами самолетов, которые превосходят ИЛ-76 по надежности, грузоподъемности, экономичности и другим параметрам.

При транспортировании железнодорожным транспортом, железнодорожные пути нормальной и узкой колеи вместе с их устройствами должны отвечать требованиям специальных правил по технике безопасности,

установленных Министерством путей сообщения России.

На площадках для погрузки и выгрузки, а также на выездах, въездах и разворотах не должно быть захламленности, снежного покрова и льда. В случае необходимости эти площадки следует посыпать песком. В темное время места погрузки и разгрузки должны быть хорошо освещены. Руководители работ обязаны осуществлять строгий контроль технического состояния оборудования, машин, креплений грузов.

3.3 Основные операции при использовании контейнера и его составных частей по назначению

3.3.1 Снятие крышки с основания контейнера с использованием подвески

Исходное положение:

- Контейнер находится на месте проведения работ;
- Выполнено заземление контейнера проводом заземления к контуру заземления помещения;
- Подвеска подготовлена к работе и находится на месте проведения работ.

Подготовить инструмент из комплекта ЗИП и принадлежности из комплекта швартовочного:

1) Кусачки	1 шт.;
2) Ключ 8х10	1 шт.;
3) Ключ 22х24	1 шт.;
4) Фал	2 шт..

Отсоединить две перемычки от основания контейнера, отвинтив гайки и сняв шайбы.

Удалить проволоку и ослабить гайки откидных болтов по всему контуру контейнера. Отвести откидные болты от крышки контейнера.

Закрепить фалы на кронштейнах, используя отверстия.

Навесить подвеску на крюк крана.

Установить с помощью крана подвеску над крышкой контейнера и подсоединить ее стропы к петлям.

Микроподачей крана поднять крышку, отвести и поставить на отведенное для нее место. Под крышку подложить технологические опоры.

При подъеме крышки контролировать перемещение ее кронштейнов по штырям. Подклинивание штырей в кронштейнах не допускается. При отведении крышки страховать ее фалами от раскачивания и вращения на крюке крана.

Ослабить натяжение строп подвески и отсоединить их от петель. Отсоединить фалы от кронштейнов. Подвеску, фалы и инструмент уложить на отведенное для них место.

По окончании работ, необходимо визуально проверить состояние системы терморегулирования, в частности – тепловых труб, радиаторов и трубопроводов. Особое внимание обратить на отсутствие царапин, вмятин, трещин и сколов на поверхности, а также целостность лакокрасочного покрытия.

3.3.2 Установка крышки на основание контейнера с использованием балки

Исходное положение:

- Контейнер находится на месте проведения работ;
- Основание контейнера заземлено;
- Крышка контейнера снята с основания после выполнения работ и находится на отведенном месте рядом с основанием контейнера;
- Балка находится на месте проведения работ.

Примечание. Заземление основания контейнера допускается не выполнять при работе с порожним контейнером.

Подготовить инструмент из комплекта ЗИП и принадлежности из комплекта швартовочного:

- | | |
|--------------|--------|
| 1) Кусачки | 1 шт.; |
| 2) Ключ 8x10 | 1 шт.; |

- | | |
|---------------|--------|
| 3) Ключ 22х24 | 1 шт.; |
| 4) Фал | 2 шт.. |

Навесить балку на крюк крана.

Установить с помощью крана балку на крышку контейнера таким образом, чтобы пазы отверстия совпали с соответствующими резьбовыми отверстиями в крышке контейнера.

Вывинтить болты из крышки контейнера и ввинтить их с шайбами в корпус балки согласно инструкции.

Отвести краном балку от крышки контейнера и уложить на отведенное для нее место. Отсоединить от крышки фалы.

Ввинтить заглушки с шайбами в соответствующие резьбовые отверстия в крышке контейнера.

По окончании работ, необходимо визуально проверить состояние системы терморегулирования, в частности – тепловых труб, радиаторов и трубопроводов. Особое внимание обратить на отсутствие царапин, вмятин, трещин и сколов на поверхности, а также целостность лакокрасочного покрытия.

3.3.3 Установка и закрепление контейнера на тележке

Исходное положение:

- Контейнер в собранном состоянии (крышка установлена и закреплена на основании контейнера) и тележка находятся на месте проведения работ;
- Выполнено заземление тележки проводом заземления (из состава тележки) к контуру заземления помещения;
- Подвеска подготовлена к работе и находится на месте проведения работ.

Примечание. Заземление тележки допускается не выполнять при работе с порожним контейнером.

Подготовить инструмент из комплекта ЗИП и принадлежности из комплекта швартовочного:

- | | |
|---------------|--------|
| 1) Ключ 8x10 | 1 шт.; |
| 2) Ключ 22x24 | 1 шт.; |
| 3) Фал | 2 шт.. |

Поставить на тормоз ролики тележки.

Ослабить крепежные детали кронштейнов и переместить кронштейны по пазам платформы в крайнее от места установки контейнера положение.

Подсоединить фалы к петлям. Навесить подвеску на крюк крана.

Установить с помощью крана подвеску над контейнером и подсоединить ее стропы к рым-болтам.

Поднять краном контейнер, подвести и установить над тележкой. При перемещении контейнера страховать его фалами от раскачивания и вращения на крюке крана.

Сориентировать положение контейнера над тележкой таким образом, чтобы вершины треугольных знаков на контейнере и тележке, направленные навстречу друг другу, совпадали по вертикали. Микроподачей крана опустить контейнер на тележку.

Ослабить натяжение строп подвески и отсоединить их от рым-болтов. Отсоединить фалы от контейнера. Подвеску и фалы уложить на отведенное для них место. Вывинтить из кронштейнов болты.

Перемещая кронштейны по собственным пазам и пазам платформы, подвести их вплотную к основанию контейнера, при этом совместив пазы в кронштейнах с резьбовыми отверстиями втулок. Ввинтить до упора болты с шайбами во втулки. Крепежные детали затянуть до упора.

Закрепить провод заземления на свободной шпильке крепежными деталями.

Примечание. Металлизацию контейнера с тележкой допускается не выполнять при работе с порожним контейнером.

3.3.4 Снятие контейнера с тележки

Исходное положение:

- Контейнер закреплен на тележке и находится на месте проведения

работ;

- Выполнено заземление тележки и металлизация контейнера с тележкой;

- Подвеска КТ-КА. 9644-0 подготовлена к работе согласно КТ-КА.9644-0ТО и находится на месте проведения работ.

Примечание. Металлизацию контейнера с тележкой и заземление тележки допускается не выполнять при работе с порожним контейнером.

Подготовить инструмент из комплекта ЗИП КТ-КА.9641-0 и принадлежности из комплекта швартовочного КТ-КА.9645-0:

- | | |
|----------------------|--------|
| 1) Ключ 8x10 | 1 шт.; |
| 2) Ключ 22x24 | 1 шт.; |
| 3) Фал КТ-КА.9645-70 | 2 шт.. |

Поставить на тормоз ролики тележки.

Ослабить крепежные детали кронштейнов.

Вывинтить болты из втулок.

Переместить кронштейны по пазам платформы тележки в крайнее от контейнера положение.

Отсоединить провод заземления от тележки, отвинтив со шпильки гайки и сняв шайбы. Провод заземления свернуть в бухту и закрепить на основании контейнера по месту. Подсоединить фалы к петлям. Навесить подвеску на крюк крана.

Установить с помощью крана подвеску над контейнером и подсоединить ее стропы к рым-болтам.

Поднять краном контейнер, отвести от тележки и поставить на отведенное для него место. При перемещении контейнера страховать его фалами от раскачивания и вращения на крюке крана.

Ослабить натяжение строп подвески и отсоединить их от рым-болтов. Отсоединить фалы от контейнера.

Подвеску и фалы уложить на отведенное для них место.

Крепежные детали затянуть до упора.

Ввинтить болты с установкой шайб в соответствующие резьбовые отверстия кронштейнов согласно инструкции.

3.4 Подготовка контейнера к использованию по назначению

Исходное положение:

- Контейнер находится на месте упаковки КА в помещении с классом чистоты не ниже 8 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1-2002;
- Проведено техническое обслуживание контейнера;
- Основание контейнера заземлено, на основании контейнера установлена и закреплена опора с КА;
- Крышка снята с основания контейнера и находится рядом с основанием;
- Подвеска КТ-КА.9644-0 подготовлена к работе согласно КТ-КА.9644-0ТО и находится на месте проведения работ или балка КТ-КА.9640-1300 находится на месте проведения работ.

Подготовить инструмент из комплекта ЗИП КТ-КА.9641-0:

- | | |
|----------------|--------|
| 1) Плоскогубцы | 1 шт.; |
| 2) Ключ 8x10 | 1 шт.; |
| 3) Ключ 22x24 | 1 шт.. |

Подготовить два фала КТ-КА.9645-70 из комплекта швартовочного КТ-КА.9645-0.

Установить крышку контейнера на основание и закрепить согласно п.3.3.1 или 3.3.3.

3.5 Подготовка системы термостатирования к использованию по назначению

Оборудование термостатирования включает в себя стационарную жидкостную систему обеспечения теплового режима (ЖСОТР), предназначенную для поддержания заданной температуры в области термостатирования;

Основное оборудование холодильного центра ЖСОТР расположено на боковой стенке контейнера, и трубопроводами объединено в систему

первичного контура. Жидкостный блок обеспечивает подачу в жидкостно жидкостный теплообменник термостатирования (ЖЖТТ) охлажденного (нагретого) теплоносителя вторичного контура и автоматическое поддержание необходимой температуры на входе в ЖЖТТ.

Подготовка к работе:

- Ознакомится с инструкцией: внимательно изучить инструкцию по эксплуатации установки. Особое внимание уделите разделам, посвященным безопасности и правилам работы;
- Проверить комплектацию: убедиться, что установка укомплектована всеми необходимыми элементами: нагревательный элемент, насос, датчик температуры, соединительные трубки, зажимы и т.д.;
- Подготовить рабочее место: убедиться, что рабочее место достаточно освещено;
- Подготовьте жидкость: подходящую жидкость для термостатирования проверить на наличие примесей и соблюдение норм хранения.

3.6 Заправка системы термостатирования фреоном

Заправка и дозаправка хладагентом один из наиболее важных элементов в пуско-наладочных. Количество заправленного в кондиционер фреона необходимо узнать из технической документации на систему термостаирования.

Заправленное количество хладагента предназначено для фреоновой трассы определенной длины (стандартная), которая указана в монтажной или сервисной инструкции. Длина трассы, на которую рассчитано заправленное количество хладагента для наших условий составляет 8 м.

Заправка новых фреонов производится только в жидком состоянии, т.к. состав в газообразном состоянии не постоянен. При определении температуры перегрева и переохлаждения не забывайте учитывать температурное скольжение насыщенного состояния хладагента.

При заправке хладагента после монтажа выполняют следующие

процедуры:

1. Проверяют стыки фреоновой магистрали на утечку. При испытании магистралей на плотность используют азота или сухой воздух (точка росы минус 40 °С).

2. Удаляют вакуумным насосом из фреоновой магистрали оставшегося после монтажа воздуха. Вакууммируют магистраль приблизительно 10 ~ 15 минут. Остаточное давление воздуха после вакуумирования должно составлять не более 0.1 МПа (-76 смНг). Держите это состояние в течение 1~2 минут, и убедитесь, что уровень вакуума остался прежним.

3. Дополнительный хладагент, заряжают в требуемом количестве с помощью электронных весов и обязательно в жидком состоянии. После заправки открывают запорные вентили на наружном блоке.

Предостережение. Убедитесь, что не подали сразу большого количества жидкого хладагента в газовую магистраль. По окончании подзарядки хладагента в системе в обязательном порядке накручивайте герметизирующие заглушки на вентили наружного блока с дальнейшей проверкой на утечку.

3.7 Использование системы термостатирования по назначению

1. Подключение установки:

- Подключите установку к электросети: убедитесь, что напряжение в сети соответствует требованиям установки. Подключить шнур питания к розетке и заземлите установку;

- Подключите датчик температуры.

2. Настройка и запуск установки:

- Включить установку;
- Установить требуемую температуру;
- Запустить циркуляцию жидкости: включить насос, чтобы обеспечить циркуляцию жидкости через объект термостатирования.

3. Работа с установкой:

- Контролировать температуру: убедитесь, что температура стабильна и соответствует заданной;

- Регулировать мощность нагрева или охлаждения: при необходимости регулировать мощность, чтобы поддерживать стабильную температуру.

4. Остановка работы:

- Выключить насос: после завершения работы выключить насос;
- Выключить нагреватель: выключите нагреватель, для избегания перегрева жидкости;
- Выключить установку;
- Отключить установку от электросети;
- Очистить установку: после использования очистить установку и провести дренаж системы, следуя инструкции по эксплуатации.

3.8 Использование контейнера по назначению

Транспортирование контейнера с упакованным в нем КА допускается производить:

а) Авиационным транспортом – самолетом ИЛ-76 в негерметичной кабине без ограничения высот, скорости, дальности полета при следующих условиях окружающей среды:

- Температура от минус 50 до плюс 50 °С;
- Относительная влажность до 100%;
- Атмосферное давление, соответствующее высоте полета (150 мм рт.ст. соответствует высоте полета 11800 м).

б) Автомобильным транспортом – на расстояние до 1200 км (за один цикл) со скоростью до 60 км/ч по дорогам с твердым покрытием и до 500 км (за один цикл) со скоростью до 20 км/ч по улучшенным грунтовым дорогам при следующих условиях окружающей среды:

- Температура от минус 50 до плюс 50 °С;
- Относительная влажность до 100%;
- Атмосферное давление (760 + 50) мм рт.ст. [(101,325+6,666) кПа].

в) Железнодорожным транспортом – на агрегате 11Т732 на расстояние до 16000 км (за один цикл) со скоростями, допустимыми для железнодорожного

транспорта при следующих условиях окружающей среды:

- Температура от минус 50 до плюс 50 °С;
- Относительная влажность до 100%;
- Атмосферное давление (760 ± 50) мм рт.ст. [(101,325±6,666) кПа].

В производственных помещениях транспортирование контейнера осуществлять на тележке КТ-КА.9642-0 вручную или с помощью автомобиля со скоростью не более 3 км/ч.

Перегрузку контейнера в процессе транспортирования осуществлять за рым-болты:

- Подвеской КТ-КА.9644-0 при транспортировании железнодорожным или автомобильным транспортом;
- Средствами самолета при транспортировании авиационным транспортом.

Схема строповки с использованием подвески КТ-КА.9644-0 при перегрузке контейнера приведена в приложении.

Раскрепление контейнера на железнодорожном или автомобильном транспорте производить за петли с помощью комплекта швартовочного КТ-КА.9645-0, в самолете – за втулки средствами самолета.

Схемы раскрепления контейнера на транспортных средствах приведены в приложении.

Ноутбук из состава транспортировать автономно с обеспечением его целостности.

Перегрузку тележки КТ-КА.9642-0 в процессе транспортирования осуществлять за четыре проушины:

- Подвеской КТ-КА.9644-0 при транспортировании железнодорожным или автомобильным транспортом;
- Средствами самолета при транспортировании авиационным транспортом.

Схема строповки с использованием подвески КТ-КА.9644-0 при перегрузке тележки приведена в приложении.

Раскрепление тележки КТ-КА.9642-0 на железнодорожном или автомобильном транспорте производить за петли ремнями с натяжным устройством КТ-КА.9640-1200, в самолете – за втулки средствами самолета. Схема раскрепления тележки приведена в приложении.

Подвеску КТ-КА.9644-0 транспортировать на крышке контейнера. Допускается стропы подвески отсоединить от балки и транспортировать в ящике комплекта швартовочного КТ-КА.9645-0.

Комплект швартовочный КТ-КА.9645-0 транспортировать автономно в универсальном ящике К470 (из состава комплекта).

Регистрацию условий транспортирования КА в контейнере осуществлять, руководствуясь требованиями эксплуатационной документации из состава АРУТ.

По окончании транспортирования КА перед перемещением контейнера в «чистое» помещение, произвести работы по очистке контейнера и тележки КТ-КА.9642-0.

Вывод: в эксплуатационной части дипломного проекта была разработана инструкция по эксплуатации контейнера транспортировочного для космического аппарата «Канопус-В» с использованием системы термостатирования. На основе анализа руководства по эксплуатации КТ-КА.9640-0 дополнен раздел по правилам и мерам безопасности.

Описан порядок действий при работе с фреоном и системой термостатирования.

В целом, введение системы терморегулирования с использованием тепловых труб привело к некоторым изменениям в способах транспортирования. Данный факт является существенным, так как на переобучение персонала понадобятся дополнительные материальные средства.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

Так как в данной выпускной квалификационной работе рассматривается работа с системой термостатирования, работающая на хладагенте: фреон R410a, следует рассмотреть меры безопасности при эксплуатации системы.

Использование данного типа оборудования требует соблюдения жестких мер и строгих правил эксплуатации, обслуживания и ремонта. Персонал, работающий с фреоновыми установками, должен быть специально обучен по охране труда, потому что в случае аварийных ситуаций существует угроза стихийного бедствия ввиду специфических химических и физических свойств материала (согласно ГОСТ Р ИСО 17584-2015 «Свойства хладагентов»). Также необходим тщательный контроль над помещением, где расположена фреоновая СТС и за рабочим местом оператора по обслуживанию системы.

Соблюдение предписанных правил безопасности сведет к минимуму возможность травм на рабочем месте и потенциальных стихийных бедствий, что немаловажно при работе.

4.1 Требования, предъявляемые к помещению, где расположена фреоновая СТС

Особые требования предъявляются и к помещениям, где расположены СТС, потому как от этого напрямую зависит правильная работа и безопасность эксплуатации оборудования (согласно ГОСТ 34891.3—2022 «Системы холодильные и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды часть 3. Размещение оборудования и защита персонала»). Так, рассмотрим основные и важнейшие из этих требований:

- Помещения где расположена СТС по пожарной опасности следует относить к категории Д, если в помещениях отсутствуют материалы (смазочное масло, горючая тара в камерах и т.д.), которые приводят к более высокой категории пожарной опасности;
- Объем помещения, где находится СТС, должен быть не менее 1 м^3 на каждые 0,5 кг фреона, содержащегося в системе;

- Полы должны быть ровными, из негоряемого материала, не подвергающимся быстрому износу, маслоустойчивыми и нескользкими;
- Температура помещения, где размещается вся система, должна быть не ниже 5 и не выше 40°C;
- Освещение в помещениях холодильных установок должно выполняться согласно требованиям СНиП 23-05;
- Необходима налаженная система вентиляции помещения. Приемные отверстия воздуховодов для удаления воздуха должны размещаться на уровне 0,3 м от пола помещения или от пола канала, если канал имеет глубину 0,5 м и более. В каналах глубиной менее 0,5 м вентиляция не предусматривается.

Удаляемый воздух может выбрасываться в атмосферу без очистки.

- Следует предусмотреть санитарно-бытовые помещения для персонала и склад для баллонов с хладагентом;
- В помещения требуется система пожарной сигнализации;
- Также необходимо наличие инструкции по технике безопасности и журнал инструктажей по технике безопасности, в котором все сотрудники обязаны расписаться.

4.2 Техника безопасности на рабочем месте оператора по работе с СТС

Перед началом работ по обслуживанию оборудования (согласно ГОСТ 32968-2014 «Оборудование холодильное. Агенты холодильные. Требования по применению и извлечению»), оператор должен:

- Осмотреть спецодежду и убедиться в ее исправности. Надеть спецодежду, застегнуть ее на все пуговицы, волосы убрать под головной убор;
- Проверить свое рабочее место. Убедиться, что оно освещено и не загромождено посторонними предметами;
- Проверить исправность обслуживаемого оборудования;
- Убедиться, что оборудование заземлено;
- Проверить работу телефонной связи и аварийной сигнализации.

Также следует соблюдать требования безопасности во время работы, основными опасными факторами при определенных обстоятельствах могут быть:

- Узлы фреоновых установок;
- Электроток;
- Наличие масла и воды на полу;
- Повышенный шум и вибрация.

По окончании работы оператор должен:

- Привести в порядок рабочее место. Приспособления и инструмент убрать в специально отведенное для этого место. Промасленную ветошь во избежание самовозгорания убрать в металлическую тару с крышкой;
- Обо всех имевших место недостатках сообщить начальству;
- Снять и убрать в специально отведенное место (шкаф) спецодежду;
- Тщательно вымыть руки и лицо. По возможности принять душ.

4.3 Действия оператора в нештатных ситуациях

При возникновении нештатной ситуации в работе с СТС, необходимо придерживаться определенных действий для обеспечения безопасности и минимизации возможных рисков (согласно ГОСТ Р 22.0.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях»). Основные рекомендации:

1. Остановка работы системы:

- Немедленно остановить работу системы, если обнаружены утечки фреона, повышение давления, понижение температуры или другие аномальные явления;
- Отключить электропитание системы для предотвращения возможных аварий.

2. Оповещение:

- Уведомить ответственных лиц (начальника расчёта, главного инженера) о возникшей проблеме.

3. Эвакуация и защита органов дыхания:

- Если обнаружена утечка фреона, эвакуировать персонал из зоны возможного воздействия газа;

- Использовать защитную маску или респиратор, если есть риск вдыхания фреона.

4. Оценка ситуации:

- Определить причину нештатной ситуации (утечка, перегрев, механическое повреждение);

- Проверить датчики и системы контроля, чтобы получить точную информацию о состоянии системы.

5. Локализация утечки:

- Если утечка фреона подтверждена, необходимо локализовать место утечки.

6. Предотвращение дальнейшей утечки:

- Закрыть клапаны на линии с утечкой, чтобы минимизировать потери фреона.

7. Обеспечение вентиляции:

- Если фреон вытек в закрытое помещение, обеспечить интенсивную вентиляцию для уменьшения концентрации газа;

- Избегайте возгорания или искр, так как фреон легковоспламеняемый.

8. Контроль состояния людей:

- Если кто-то из персонала подвергся воздействию фреона, немедленно выведите его на свежий воздух;

- При необходимости оказать первую помощь (при удушье или отравлении).

9. Сохранение данных:

- Зафиксировать все параметры системы (давление, температура, уровень фреона) и другие данные, которые могут быть полезны для анализа причин аварии.

Вывод: На основе всего вышесказанного, можно заключить, что выполнение всех предписанных требований к безопасности на рабочем месте оператора по работе с СТС является обязательным условием успешной работы предприятия, гарантом безопасности и здоровья персонала, а также неотъемлемой частью правильного руководства.

Несоблюдение настоящих правил может повлечь за собой серьезные последствия в виде производственных травм различного характера, техногенных катастроф и стихийных бедствий, ввиду особенностей используемых оборудования и химических веществ.

Руководство предприятия несет непосредственную ответственность за обеспечение всех вышеперечисленных инструктажей, обучение персонала и контроль над выполнением предписанных правил персоналом.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

5.1 Оценка затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки

Рассчитаем себестоимость НИОКР по созданию контейнера, которую будем складывать по следующим статьям калькуляции:

$$C_{\text{НИОКР}} = C_{\text{МАТ}} + C_{\text{СПЕЦ.ОБР}} + Z_{\text{П}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{ПР}} + C_{\text{НАКЛ}}; \quad (5.1)$$

где $C_{\text{НИОКР}}$ – себестоимость научно – исследовательских и опытно – конструкторских разработок;

$C_{\text{МАТ}}$ – затраты на сырье и материалы;

$C_{\text{СПЕЦ.ОБР}}$ – затраты на спецоборудование для научных работ;

$Z_{\text{П}}$ – основная и дополнительная заработная плата инженерно-технического персонала;

$C_{\text{СОЦ}}$ – отчисления на социальное страхование;

$C_{\text{ПР}}$ – прочие основные затраты;

$C_{\text{НАКЛ}}$ – накладные расходы.

1. Затраты на материалы.

$$C_{\text{МАТ}} = \sum_{i=1}^n Ц_i; \quad (5.2)$$

где $Ц_i$ – цены i – го материального ресурса.

На основании данных приведенных в таблице 5.1 рассчитываем затраты на сырье и материалы:

$$C_{\text{МАТ}} = 29600 + 10250 + 499 + 23100 + 56052 + 22000 + 8320 + 12000 + 4000 + 4000 + 3000 = 172821 \text{ у.е.}$$

Таблица 5.1 – Затраты на материалы

№	Наименование материала	Количество шт.	Цена за у.е.	Стоимость, у.е.
1	Стальные листы 12X18Н10Т 1,0x1000x2000 мм	160	185	29600
2	Уголок нержавеющей стальной	50	205	10250
3	Проволока М1 Ф1	1	499	499
4	Труба нержавеющая	60	385	23100
5	Стальные листы 08X18Н10 1,5x1000x2000 мм	324	173	56052
6	Квадрат 30 12X18Н10Т	100	220	22000
7	Теплоизоляция 1000x600x130	20	416	8320
8	Картриджи для принтера	10	1200	12000
9	Бумага для принтера	20	200	4000
10	Канцелярские принадлежности	20	200	4000
11	Ватман	100	30	3000
Итого:				172821

2. Затраты на спецоборудование.

$$C_{\text{СПЕЦ.ОБР}} = \sum_{i=1}^n C_i, \quad (5.3)$$

где C_i – цена оборудования i – го вида.

Из таблицы 5.2 рассчитываем затраты на спецоборудование для научных работ:

$$C_{\text{СПЕЦ.ОБР}} = 14235 + 20760 + 345 + 1554 + 38 + 26060 + 462 + 375 + 2860 + 11490 = 78179 \text{ у.е.}$$

Таблица 5.2 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Цена за един., у.е.	Стоимость, у.е.
1	Насос F 32-200ВН	1	14235	14235
2	Датчик давления	3	6920	20760
3	Манометр	3	115	345
4	Фильтр тонкой очистки	1	1554	1554
5	Фильтр грубой очистки	1	38	38
6	Пневмоклапан	2	13 030	26060
7	Обратный клапан	2	231	462
8	Вентиль	3	125	375
9	Термопреобразователь сопротивления	10	286	2860
10	Воздухоохладитель	1	11490	11490
Итого:				78179

3. Основная и дополнительная заработная плата.

Затраты на оплату труда определяются по формуле:

$$Z_{\text{П}} = C_{\text{з.П}}^{\text{осн}} + C_{\text{з.П}}^{\text{доп}}, \quad (5.4)$$

где $C_{\text{з.П}}^{\text{осн}}$ – затраты окладного (тарифного) фонда оплаты труда, у.е.;

$C_{\text{з.П}}^{\text{доп}}$ – дополнительные выплаты исполнителям за производственные результаты, у.е., 20 % от $C_{\text{з.П}}^{\text{осн}}$.

Затраты окладного фонда заработной платы рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{з.П}}^{\text{осн}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{сут}} \cdot Q_i \cdot M, \quad (5.5)$$

где n – количество должностей или профессий окладчиков, включаемых в расчет;

$C_{сут}$ – дневной оклад (тарифная ставка) исполнителя i -ой должности или категории, у.е.;

Q_i – численность исполнителей i -ой должности или категории, чел.;

M – число дней работы исполнителя в рассматриваемом периоде, сут..

Суммы премиальных выплат составляют определенный процент от окладного (тарифного) фонда заработной платы.

Для расчета затрат на заработную плату специалистов необходимо определить какие работы выполняет каждый из них, сколько они продолжаются и в соответствии с его окладом рассчитать заработную плату каждого работника.

На основании данных приведенных в таблице 5.3 рассчитываем затраты на оплату труда:

$$Z_{\Pi} = 419500 + 84000 = 503400 \text{ у.е.}$$

Таблица 5.3 – Перечень затрат на оплату труда

Наименование должности	Кол-во сотрудников.	Месячный оклад, у.е.	Дневной оклад, у.е.	Занятость, дней,	$C_{з.п.}^{осн}$, у.е.	$C_{з.п.}^{доп}$, у.е.	Затраты на з/п, у.е.
Руководитель проекта	1	50000	2500	22	55000	11000	66000
Ведущий инженер	1	40000	2000	41	82000	16400	98400
Инженер I категории	1	30000	1500	91	136500	27300	163800
Инженер II категории	1	25000	1250	60	75000	15000	90000
Инженер III категории	1	20000	1000	71	71000	14200	85200
Итого:	5						503400

4. Затраты на социальное страхование определим по формуле:

$$C_{\text{СОЦ}} = Z_{\text{П}} \cdot k_{\text{СС}}, \quad (5.6)$$

где $Z_{\text{П}}$ – заработная плата;

$k_{\text{СС}}$ – ставка взносов на соц. страхование ($k_{\text{СС}} = 0,27$).

Тогда:

$$C_{\text{СОЦ}} = 503400 \cdot 0,27 = 135918 \text{ у.е.}$$

5. Накладные расходы.

К накладным расходам относят расходы, затраты, сопровождающие, сопутствующие основному производству, но не связанные с ним напрямую, не входящие в стоимость труда и материалов. Это затраты на содержание и эксплуатацию основных средств, на управление, организацию, обслуживание производства, на командировки, обучение работников и так называемые непроизводительные расходы (потери от простоев, порчи материальных ценностей и др.). Накладные расходы включаются в себестоимость продукции, издержки ее производства и обращения. Данные затраты составляют 80% от затрат на оплату труда:

$$C_{\text{НАКЛ}} = Z_{\text{П}} \cdot 0,8; \quad (5.7)$$

$$C_{\text{НАКЛ}} = 503400 \cdot 0,8 = 402720 \text{ у.е.}$$

6. Прочие расходы.

Будем считать, что оставшиеся прочие расходы составляют 3% от общей суммы затрат, включаемых в себестоимость научно-технической продукции их величина составила:

$$C_{\text{ПР}} = 0,03 \cdot (C_{\text{МАТ}} + C_{\text{СПЕЦ.ОБР}} + Z_{\text{П}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{НАКЛ}}); \quad (5.8)$$

$$C_{\text{ИР}} = 0,03 \cdot (172821 + 78179 + 503400 + 135918 + 402720) = 38791 \text{ у.е.}$$

Смета затрат на проведение исследований приведена в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Результаты проведенного расчета затрат

№	Статья калькуляции	Сумма	Удельный вес в себестоимости, %
1	Затраты на материалы	172821	12,98
2	Затраты на спецоборудование	78179	5,87
3	Затраты на оплату труда	503400	37,80
4	Затраты на социальное страхование	135918	10,21
6	Накладные расходы	402720	30,24
7	Прочие расходы	38791	2,91
Итого:		1331829	

Как видно из таблицы 5.4, основную часть затрат составляют затраты на оплату труда, и наиболее перспективным путём снижения себестоимости разработки является уменьшение времени работы над проектом.

Стоимость разработки складывается из себестоимости, величины прибыли, а также налога на добавленную стоимость (НДС), если организация выполняет работы по коммерческим договорам. Работы, производимые за счёт государственного бюджета, НДС не облагаются.

Величина прибыли определяется исходя из себестоимости НИР и уровня рентабельности. Нормальная величина рентабельности в аэрокосмической отрасли составляет, как правило, 15–35% от себестоимости научно-технической продукции и устанавливается предприятием.

Оценка стоимости разработки представлена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Стоимость разработки

Наименование	Сумма, у.е.
Себестоимость	1331829
Прибыль (20%)	266365
Итоговая стоимость	1598194

Итоговая стоимость разработки контейнера для транспортировки КА составила 1 598 194 у.е., размер прибыли оценивается в 266 365 у.е.

5.2 Расчет экономической эффективности КТ

Сравнительная оценка экономической эффективности.

Для оценки эффективности используем ЧДД. Чистый дисконтированный доход – текущая себестоимость будущих доходов (разности поступлений и затрат) за минусом затрат текущего периода.

Стоимость старого контейнера – 2,5 млн. у.е., следовательно:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (P_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{\Delta_t}{(1+E)^t}; \quad (5.9)$$

где P_t – результаты (доходы), достигаемые на t –м шаге расчета;

Z_t – затраты на t –м шаге расчета;

T – продолжительность расчетного периода.

$$\text{ЧДД} = \frac{1,3}{(1+0,15)^0} + \frac{1,7}{(1+0,15)^1} + \frac{1,7}{(1+0,15)^2} + \frac{1,7}{(1+0,15)^3} = 2,58 \text{ млн у.е..}$$

$\text{ЧДД} > 0$, а значит, проект эффективен.

ЧДД через 3 года составляет 2,58 млн. у.е.

Оценка абсолютной экономической эффективности.

Абсолютная экономическая эффективность – показатель за определенный промежуток времени, характеризующий общую величину экономического эффекта в сопоставлении с размером затрат и ресурсов в отдельности и

совокупности.

$$E = \frac{\text{ЧД}}{З}, \quad (5.10)$$

где ЧД – чистый доход (ЧД = 6,3);

З – затраты (З = 3,7).

$$E = \frac{6,3}{3,7} = 1,7.$$

Вывод: в данном разделе была проведена оценка затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки. Итоговая стоимость разработки равна 1 598 194 у.е.

В цене наибольший удельный вес имеют затраты на оплату труда, это во многом зависит от того, что работа отличается высокой трудоемкостью.

Проект эффективен, абсолютная эффективность равна 1,7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе дипломного проектирования проведен анализ вариантов технических решений по разработке системы термостатирования с использованием контурных тепловых трубок, с целью выполнения поставленных задач на дипломный проект.

По заданным условиям транспортирования была выбрана и описана система термостатирования и кондиционирования для транспортировочного контейнера космического аппарата «Канопус-В». Для используемой СТС выбран хладагент: R410a.

В специальной части дипломного проекта произведён анализ пассивной системы термостатирования. Так же были рассчитаны основные характеристики СТС с использованием контурных тепловых трубок. Суммарная мощность нагревательных элементов равна 7,321 кВт, охладительных 1952 Вт соответственно. Площадь радиаторов для системы составила 11 м². Система будет располагаться на боковой стенке крышки ТК.

В эксплуатационной части дипломного проекта разработана инструкция по эксплуатации контейнера с СТС. Описан подробный порядок действий при работе с контейнером.

В четвёртой части работы описаны требования, предъявляемые к помещению, где расположена фреоновая СТС. А так же составлена техника безопасности на рабочем месте оператора по работе с системой. Представлены действия оператора в нештатных ситуациях. На основе проделанной работы в данной части, можно заключить, что выполнение всех предписанных требований к безопасности на рабочем месте является обязательным условием успешной работы предприятия, гарантом безопасности и здоровья персонала, а также неотъемлемой частью правильного руководства.

В заключающей главе дипломного проектирования рассчитана итоговая стоимость разработки проекта, она составила 1 598 194 у.е.

При анализе эффективности была подтверждена экономическая целесообразность разработки СТС. Абсолютная эффективность составила 1,7.

При разработке дипломного проекта использовались современные методы проектирования и анализа данных. Так же использовался весь опыт и знания, полученные за время обучения на кафедре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хлыбов, В.Ф. Основы теории и разработки заправочного оборудования и систем термостатирования: учебное пособие. / В.Ф. Хлыбов. – Москва, 1994. – 276 стр.
2. Автоматизация СКВ: учебное пособие. / Е.С. Бондарь [и др.]; под ред. Е.С. Бондарь. – Киев: ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим», 2005. – 560 с.
3. Быков, А.В. Малые холодильные установки и холодильный транспорт: справочник. / А.В. Быков. – Москва: Пищевая промышленность, 1978. – 242 стр.
4. Пигарев, В.Е. Холодильные машины и установки кондиционирования воздуха: учебное пособие. / В.Е. Пигарев, П.Е. Архипов. – Москва, 2003. – 424 стр.
5. Агрегаты систем термостатирования: учебное пособие. / В.В. Буренин [и др.]; под ред. В.В. Буренина. – Москва: Московский автомобильно-дорожный институт, 1989. – 110 стр.
6. Буренин, В.В. Системы термостатирования. Теоретические основы, способы получения тепла и холода: учебное пособие. / В.В. Буренин. – Москва: Б. и., 1984. – 96 стр.
7. Катков, А.Г. Системы термостатирования наземных комплексов ЛА: учебное пособие. / А.Г. Катков. – Москва: Издательство МАИ, 1996. – 83 стр.
8. Ивановский, М.Н. Физические основы тепловых труб / М.Н. Ивановский, В.П. Сорокин, И.В. Ягодкин. – Москва: Атомиздат, 1978. – 256 стр.
9. Федотова, А.Е. Чистые помещения / А.Е. Федотова. – Москва: «Асинком», 2015. – 512 стр.
10. Куталадзе, С.С. Справочник по теплопередаче: справочник / С.С. Куталадзе, В.М. Боришанский. – Москва: «Госэнергоиздат», 1959. – 414 стр.