

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт  
Межинститутская базовая кафедра  
«Прикладная физика и космические технологии»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.Е. Косенко  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Особенности комплектующих систем терморегулирования  
космических аппаратов»  
тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
код и наименование направления подготовки

15.04.05.02 «Технология космических аппаратов»  
код и наименование программы

Научный руководитель	_____	профессор МБК ПФиКТ, д-р техн. наук, профессор	<u>В.В. Двирный</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>М.С. Кузнецова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	начальник сектора АО «ИСС», д-р тех. наук	<u>В.А. Смирнов</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	профессор МБК ПФиКТ, д-р техн. наук, доцент	<u>В.Е. Чеботарев</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2020 г.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт  
Межинститутская базовая кафедра  
«Прикладная физика и космические технологии»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.Е. Косенко  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме магистерской диссертации**

Студенту: Кузнецовой Марии Сергеевне,  
группа МТ18-04М.

Направление 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Магистерская программа подготовки: 15.04.05.02 «Технология космических аппаратов».

Тема магистерской диссертации (МД): «Особенности комплектующих систем терморегулирования космических аппаратов».

Утверждена приказом по университету № от 06.05.2020 г. №5591/с

Руководитель МД: В.В. Двирный, д-р техн. наук, проф., профессор МБК ПФиКТ

Перечень разделов МД:

- 1 Общие сведения о системе терморегулирования космического аппарата.
- 2 Типы систем терморегулирования, их состав, особенности.
- 3 Комплектующие системы терморегулирования.
- 4 Обеспечение надежной работы агрегатов системы терморегулирования.

Перечень графического материала: слайды презентации в количестве 15 штук.

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_  
подпись

В.В. Двирный  
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
подпись

М.С. Кузнецова  
инициалы и фамилия студента

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме: «Особенности комплектующих систем терморегулирования космических аппаратов» содержит 80 страниц текстового документа, 25 рисунков, 3 таблицы, 22 использованных источника.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ, СИСТЕМА ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ, ТЕПЛОВАЯ ТРУБА, МАЛОРАСХОДНЫЙ ВЕНТИЛЯТОР ГАЗА, НАСОС, ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЬ.

Объект исследования – система терморегулирования космических аппаратов.

Целью данной работы является разработка методических рекомендаций по обеспечению длительного ресурса работы СТР с перспективой дальнейшего увеличения (при САС 15 лет и более).

Задачи ВКР:

- исследовать основные типы систем терморегулирования КА;
- проанализировать основные комплектующие систем терморегулирования (насосы, тепловые трубы, электрообогреватели, клапаны);
- разработать методические рекомендации по обеспечению надежной работы агрегатов при проектировании систем терморегулирования КА.

В результате выполнения ВКР были проанализированы основные типы систем терморегулирования КА, а также агрегаты СТР на борту КА.

Практическая значимость заключается в использовании методики расчета надежной работы агрегатов при реализации технически сложных проектов освоения космоса.

Актуальность работы в системе терморегулирования широко используются теплопередающие устройства с капиллярной прокачкой теплоносителя (тепловые трубы) различного типа в частности, контурные тепловые трубы, не требующие заметных затрат электроэнергии.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	7
1 Общие сведения о системе терморегулирования космического аппарата.....	8
1.1 Назначение системы терморегулирования .....	9
1.2 Требования, предъявляемые к системе терморегулирования.....	10
1.3 Основные этапы проектирования системы терморегулирования .....	121
1.4 Способы обеспечения теплового режима .....	15
1.5 Тепловой режим КА при наземных испытаниях .....	18
1.6 Выводы по главе 1 .....	20
2 Типы систем терморегулирования, их состав, особенности.....	21
2.1 Газожидкостная система терморегулирования.....	21
2.2 Система терморегулирования с тепловыми трубами .....	24
2.3 Система терморегулирования с жалюзи .....	26
2.4 Жидкостная СТР с регулятором расхода жидкости .....	30
2.5 Жидкостная СТР без регулятора расхода жидкости .....	38
2.6 Выводы по главе 2 .....	40
3 Комплектующие системы терморегулирования.....	42
3.1 Электронасосный агрегат .....	42
3.2 Компенсатор объема .....	443
3.3 Электрообогреватели .....	465
3.4 Терморегулирующие покрытия.....	48
3.5 Экранно-вакуумная тепловая изоляция .....	532
3.6 Панели-радиаторы.....	576
3.7 Тепловые трубы.....	59
3.8 Выводы по главе 3 .....	632
4 Обеспечение надежной работы агрегатов системы терморегулирования .....	65
4.1 Параметр совершенства комплектующих системы терморегулирования	65
4.2 Состав системы терморегулирования .....	67
4.3 Малорасходные вентиляторы газа.....	73
4.4 Выводы по главе 4.....	76
Заключение .....	77
Список сокращений .....	78
Список использованных источников .....	79

## ВВЕДЕНИЕ

В современных КА, обеспечивающих связь, навигацию и геодезию, используются приборы с большим тепловыделением. Данное обстоятельство приводит к необходимости отвода тепла от теплонагруженного прибора к излучательному радиатору [1 - 7]. Поставленная задача решается с помощью системы терморегулирования КА при помощи активных, а также пассивных.

Высокий уровень надежности к рабочему ресурсу, а также ограниченные по массе и энергопотреблению в системах терморегулирования определили широкое применение теплопередающего устройства с капиллярной прокачкой теплоносителя (тепловые трубы) различного типа, в частности, контурные тепловые трубы, и это не требует высоких затрат электроэнергии на функционирование и обладающие высокой надежностью [8].

Тема диссертационной работы: «Особенности комплектующих систем терморегулирования космических аппаратов».

Целью данного исследования является разработка методических рекомендаций по обеспечению длительного ресурса работы СТР с перспективой дальнейшего увеличения (при САС 15 лет и более).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующий ряд задач:

- 1 Исследовать основные типы систем терморегулирования КА.
- 2 Проанализировать основные комплектующие систем терморегулирования (насосы, тепловые трубы, электрообогреватели, клапаны).
- 3 Разработать методику определения надежности комплектующих при проектировании систем терморегулирования КА.

## **1 Общие сведения о системе терморегулирования космического аппарата**

Типовой состав КА разработки АО «ИСС» определяется следующими бортовыми системами и элементами [1]:

- полезная нагрузка (ПН);
- бортовой комплекс управления (БКУ);
- система ориентации и стабилизации (СОС);
- система энергопитания (СЭП);
- система терморегулирования (СТР);
- система коррекции (СК);
- механические устройства (МУ);
- конструкция;
- кабельная сеть.

Полезная нагрузка и бортовые системы, в свою очередь, состоят из функциональных узлов, агрегатов, приборов в состав которых входят различные, по характеру работы, элементы.

Принципы построения КА реализованные в АО «ИСС» включают в себя разбиение КА на два модуля: модуль полезной нагрузки (МПН), который комплектуется, исходя из требований заказчика, а также модуль служебных систем (МСС). Типовой состав космического аппарата представлен на рисунке 1.1.

Бортовая система, выполняющая главную функцию всего проекта, и считается полезной нагрузкой. Другие бортовые системы считаются служебными. Они обеспечивают штатные обстановку для работы КА и выполнения самой главной функции. Как правило, эти модули находятся поочередно друг за другом.

Таким образом, наличие и функционирование служебных бортовых систем направлены на обеспечение работы полезной нагрузки.

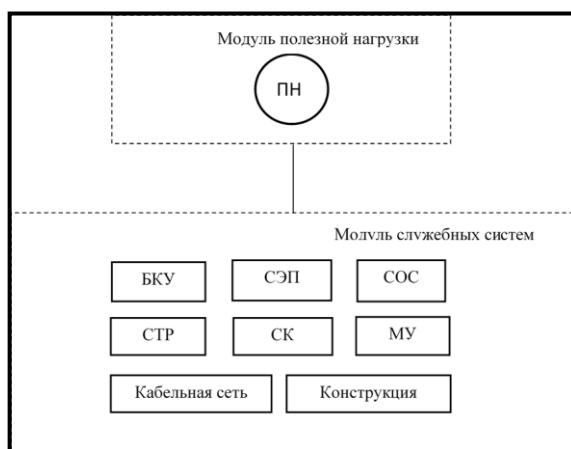


Рисунок 1.1 – Состав космического аппарата

Темой магистерской диссертации является система терморегулирования КА, поэтому рассмотрим подробнее данную систему, способы обеспечения тепловых режимов, а также существующие системы терморегулирования и их особенности.

### 1.1 Назначение системы терморегулирования

Система терморегулирования предназначена для поддержания определенной температуры оборудования, конструкции и раскрываемых элементов КА в пределах гарантированных диапазонов во всех режимах работы [1 - 6]:

- в процессе наземных испытаний совместно с наземным оборудованием на ЗИ;
- при подготовке КА к пуску на техническом и стартовом комплексе;
- при выведении КА на орбиту и в начальных режимах ориентации;
- в процессе штатной эксплуатации КА на орбите;



– в режимах обеспечения живучести КА.

Данные требования выполняться в любое время:

1) при худших показателях, а также внешние воздействия и деградация, которым подвергаются составные части космического аппарата в течение всего срока эксплуатации;

2) не стоит забывать про эксплуатацию как с работающим, так и неработающим оборудованием целевой аппаратуры;

Систему терморегулирования необходимо разработать так, чтобы не накладывались никакие ограничения на космический аппарат и его системы в любом режиме эксплуатации в любое время. Построение СТР и его оборудования должны быть совместимы с требованиями автоматизированных испытаний, сбора и оценки информации

## **1.2 Требования, предъявляемые к системе терморегулирования**

Основным требованием, которое предъявляется к СТР, является поддержание температуры каждой составной части КА в течение всего времени активного существования в заданном рабочем диапазоне. Данное требование должно учитывать влияние многих факторов:

– условия функционирования в глубоком вакууме космического пространства;

– наличие различных видов излучений (тепловое и видимое излучение Солнца, тепловое излучение Земли и отраженное от нее солнечное излучение).

Определяющий момент - это время полета является ориентация космического аппарата по отношению к падающему излучению. При ультрафиолетовом и корпускулярном излучении можно изменить отражательные и поглощательные свойства поверхности космического аппарата. Все изменения необходимо сводить к минимуму, а остаточный эффект должно компенсироваться. Кроме внешних факторов необходимо измерять

тепловыделения электронного оборудования при его работе в соответствии с программой полета.

Некоторые условия необходимо связать с программой работой и наземным обслуживанием. Конструкция системы терморегулирования необходимо быть надежной, воспроизводимой и не слишком трудозатратной в изготовлении.

Конструкция СТР должна предоставлять собой прочную конструкцию на различных этапах испытаний, монтажа, наземных перевозок; полученные повреждения должны быстро устраняться. Во время выведения КА на орбиту, СТР должна выдерживать вибронагрузки и аэродинамический нагрев. Включившуюся в работу, система обязана сохранять работоспособность на длительных расстояниях от Земли в течение длительного времени.

Завершающая категория требований содержит необходимость разработки и создания СТР, в которых есть весьма малый вес и употребляют при работе совсем малую энергию, и все это при меньшей стоимости.

Требования к СТР разделяются на общие и специальные [1 - 6]:

К общим требованиям относятся:

- надёжность в работе;
- минимальные масса и габариты;
- минимальное энергопотребление;
- безопасность в работе;
- небольшая стоимость изготовления;
- ремонтпригодность;
- возможно большая унификация элементов.

Специальные требования представлены в виде:

- функциональных;
- физико-технических;
- эксплуатационных.

Функциональные требования имеют специальными теплотехническими требованиями и находят номинальными значениями температуры элементов  $T_i$  и допустимыми отклонениями  $\Delta T_i$ .

Физико-технические требования нацелены на обеспечение полноценной работы СТР в реальных условиях космического пространства, отличных от наземных.

Они определяются:

- термостойкостью;
- влагостойкостью;
- коррозионной стойкостью;
- механической прочностью;
- отсутствием вредного влияния на другие объекты

Эксплуатационные требования:

- рациональное размещение;
- автоматизация работы;
- блокировка и сигнализация;
- быстрота приведения системы в рабочее состояние;
- автономность.

Учесть при проектировании СТР все требования крайне затруднительно. Поэтому если соотнести зависимость цели функционирования системы и задачи полета, также особенности оборудования, энергетические установки и окружающие условия и т.п.

### **1.3 Основные этапы проектирования системы терморегулирования**

Проектирование СТР включает этапы разработки проектной документации, математических моделей СТР, конструкторской документации на оборудование и программ испытаний [1 - 6].

На этапе разработки проектной документации по СТР выпускается:

- ТЗ на разработку СТР;
- ТЗ на вновь разрабатываемые составные части СТР (агрегаты);
- ИД на составные части СТР;
- ПОН и КПЭО на СТР;
- ПОН и КПЭО на вновь разрабатываемые составные части СТР;
- решения о заимствовании элементов СТР;
- ТЗ на фрагменты оборудования КА для термовакуумных испытаний.

На этапе создания эскизного проекта, необходимо разработать техническую документацию.

На этапе создания рабочего проектирования, производитель может создать несколько комплектов конструкторской документации, в который можно найти чертежи сборочных единиц рабочие чертежи агрегатов, спецификации, деталей.

Этап разработки математических моделей СТР включает:

- разработку предварительной тепловой модели КА на стадии выпуска эскизного проекта;
- на стадии выпуска КД на КА – разработку тепловой модели КА, гидравлической модели ЖК СТР;
- на стадии изготовления первого КА – уточнение тепловой модели КА по результатам отработочных испытаний КА и разработку прогноза температурного режима КА для штатной эксплуатации.

На этапе разработки КД оборудования выпускаются чертежи на термостатируемые приборные панели с гидротрактом, чертежи на панели радиаторы СТР с ЭО и ТРП, чертежи на конструкцию ЖК в приборных отсеках КА, чертежи на ЭВТИ и т.д.

Надежность и качество КА закладывается на стадии проектирования, поэтому разработчику (конструктору) необходимо:

- обосновать конструктивное решение агрегата для каждого его механизма и элемента, исходя из эксплуатационных и специальных требований, технологии изготовления на данном производстве, расходования материалов при обеспечении требуемых тактико-технических характеристик и прочности изделия;
- обеспечить простоту изготовления изделий, удобство сборки и регулировки;
- предусмотреть в необходимых случаях надежную автоматическую смазку трущихся поверхностей, исключив применение периодической связи;
- разработать мероприятия по предупреждению коррозии деталей, исходя из условий эксплуатации и применяемых материалов;
- исключать попадание грязи, влаги, пыли на трущиеся и вращающиеся поверхности;
- предусмотреть меры для предотвращения самопроизвольного отвинчивания крепежных элементов;
- предусмотреть блокирующие и предохранительные устройства;
- обеспечить удобство испытаний и проверки выходных параметров.

Когда завод-изготовитель собирает и испытывает агрегаты по разработанной космической документации. То качество и надежность агрегата видна на этапе его экспериментальной отработки, поэтому методология отработки включает следующие этапы [1 - 8]:

- лабораторно-отрабочные испытания (ЛОИ);
- конструкторско-доводочные испытания (КДИ);
- чистовые доводочные испытания (ЧДИ) или приемочные испытания (ПРИ);
- ресурсные испытания (РИ);
- испытания в составе систем и отработочных изделий.

Этапы обработки представлены на рисунке 1.2.

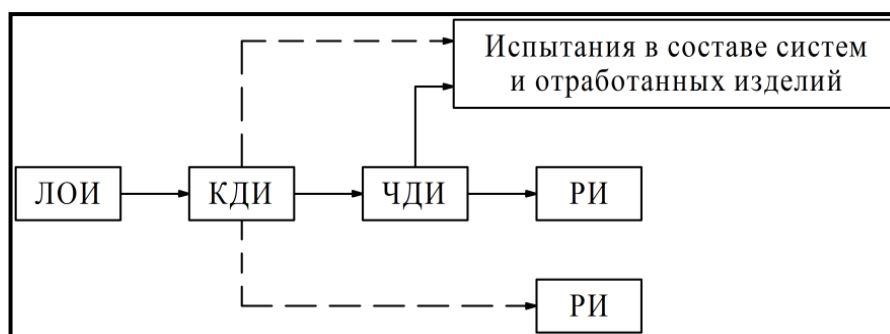


Рисунок 1.2 – Блок-схема экспериментальной обработки агрегатов

По результатам отработочных испытаний разработчиком агрегата делает итоговый отчет, в котором пишется заключение о передаче агрегата в серийное производство.

Проектирование системы терморегулирования заканчивается этапом выпуска программ испытаний оборудования системы, фрагментов оборудования при ТВИ, а также программы электроиспытаний системы в составе летного изделия 11Л.

#### 1.4 Способы обеспечения теплового режима

Тепловой режим космического аппарата создается при воздействии внешнего и внутреннего температурного поля и зависит от особенностей разработанного варианта системы терморегулирования. С учетом типа космического аппарата, режима его полета и выполнения его рабочих программ спектр тепловых нагрузок может изменяться, что предопределяет большое число возможных типов системы терморегулирования [9]. Необходимый тепловой режим на космический аппарат поддерживается с помощью пассивных и активных способов.

Пассивные средства теплового обеспечения применяются при малом внутреннем тепловыделении и непродолжительном существовании КА на орбите.

К пассивным способам относится тепловая защита. Для защиты КА применяются покрытия на внешней поверхности, обеспечивающие необходимое отношение коэффициентов поглощения  $A_s$  и излучения  $\varepsilon$  материала. Широкое применение для теплового режима обеспечивает экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ) [10].

ЭВТИ применяется для минимизации нерегулируемого теплообмена между элементами конструкции КА и внешней средой.

ЭВТИ обладает коэффициентом поглощения солнечного излучения  $A_s$  и степенью черноты  $\varepsilon$ . Эти важно для используемых терморегулирующих покрытий в конце САС приведены в таблице 1.1.

Экранно-вакуумная теплоизоляция представляет собой набор экранов (полиамидных и полиэтилентерефталатных пленок с двухсторонним напылением алюминия), разделенных прокладками. Экраны перфорированы отверстиями  $\varnothing = 2$  мм с расстоянием между ними 10 мм. В составе ЭВТИ в качестве верхнего слоя используется стеклоткань ТСОН-СОТМ «бац», а также покрытие СОТ4-А-100 на основе фторопластовой плёнки Ф4МБ, металлизированной алюминием и дублированной стеклотканью.

Вся ЭВТИ конструктивно должна быть из отдельных сборок, соединяемых между собой и с элементами конструкции.

В тоже самое время ЭВТИ в качестве терморегулирующих покрытий применяются как химическое полирование и анодное оксидирование алюминиевых деталей, а также применяются эмали типов АК-512 и КО-859 с наполнителем из алюминиевой пудры.

Таблица 1.1 – Основные характеристики покрытий

Покрытие	Коэффициент поглощения солнечного излучения $A_s$	Степень черноты $\varepsilon$
Эмаль АК-512	<0,7	>0,85
Эмаль КО-859	<0,7	>0,35
ТСОН-СОТМ «бац»	<0,7	0,8...0,9
СОТ2-А-100	<0,45	>0,78
Химическое полирование	<0,45	<0,2
Анодное оксидирование	<0,2	>0,8

Полупассивные способы применяют при внутреннем тепловыделении и высоком уровне, при стабильном тепловом режиме, которые состоятся из переменной теплопроводности, переменного излучения, в основу входят изменения агрегатного состояния вещества.

Подвижные жалюзи и экраны –это одни из способов стабилизации температуры космического аппарата в условиях переменной тепловой нагрузки и переменной величины падающего на поверхность излучения [11 -12].

В системах с расходуемыми хладагентами жидкость или твердое тело поглощают тепло, а затем пары хладагентов выбрасываются за борт. Реализация такой схемы требует больших массовых затрат.

Такие системы, основанны на конвекциях в замкнутых контурах и получили широкое распространение. Излучение тепла -единственный способ, с помощью которого можно отвести хладагента в космос без потерь. Применяются газы и жидкости в качестве теплоносителя. Газообразные теплоносители использоваться только в гермоконтейнерах и совмещаются с теплоотдающей поверхностью.

К пассивным способам относятся:

- целесообразное расположение приборов и оборудования;
- поглощение тепла, выделяемого внутри КА, самими приборами, элементами конструкции, компонентами топлива и специальными теплопоглотителями;
- поверхностей путем применения покрытий или соответствующей обработки и окраски участков поверхности;



- выбор формы и ориентации аппарата в целом;
- применение тепловых труб для отвода тепла от теплонагруженных приборов и равномерного его распределения по поверхности.

Электрообогреватели (ЭО) предназначены для обеспечения нижнего уровня температур посадочных мест приборов или термостатированных плат при отключении или понижении потребления энергии бортовой аппаратуры (БА). Мощность ЭО выбрана для наиболее критичных условий, реализуемых в режиме “Закрутка”, при этом основным условием является поддержание температуры вышеуказанных элементов не ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Управление работой каждого нагревателя осуществляется по информации, поступающей с температурного датчика (платинового термометра ТП110–11), установленного в контрольной точке зоны действия обогревателя. В соответствии с точками настройки температурных датчиков, ЭО включается при понижении температуры посадочных мест до критической отметки, при повышении температуры на некоторую заданную величину обогреватели отключаются. Точность срабатывания температурной автоматики составляет  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  при обеспечении температуры посадочных мест  $0...40^{\circ}\text{C}$ .

### **1.5 Тепловой режим КА при наземных испытаниях**

При автономных испытаниях БА и на входном контроле тепловой режим приборов и блоков, требующих специальное охлаждение, обеспечивается[9]:

- воздушным агрегатом термостатирования типа установки 15Г55, обеспечивающим расход подаваемого воздуха  $1500-3000\text{ м}^3/\text{с}$ ;
- средствами поддержания и контроля требуемого гигрометрического режима окружающей КА среды с системой подвода сухого сжатого воздуха;
- ТБК, оборудованной специальной системой имитации внешних потоков на радиационные панели изделия с мощностью до  $400\text{ Вт}/\text{м}^2$ .

Тепловой режим расстыкованного изделия обеспечивается принудительным обдувом приборных плат и радиационных поверхностей воздухом с температурой окружающей среды [10].

Тепловой режим состыкованного изделия обеспечивается за счёт подачи охлаждающего воздуха по технологическим воздуховодам на радиационные поверхности изделия с температурой, не превышающей точку росы окружающего воздуха. При этом испытания проводятся в сухом помещении с относительной влажностью менее 70% при температуре 25°C (точка росы не превышает 20°C).

Необходимость принудительного обдува радиационных поверхностей приборного отсека при испытаниях состыкованного изделия объясняется тем, что при подаче охлаждающего воздуха с температурой окружающей среды 20°C на радиационных поверхностях необходимо обеспечить коэффициент теплоотдачи  $\alpha=15$  Вт/м<sup>2</sup>·град, что достигается лишь при организации принудительного обдува (коэффициент теплоотдачи при естественной конвекции воздуха на радиаторных поверхностях  $\alpha=6$  Вт/ м<sup>2</sup>·град).

Для обеспечения работоспособности ТТ изделия в процессе испытаний необходима большая точность и определённая ориентация его установки на испытательном стапеле, поэтому расстыкованное и состыкованное изделие при испытаниях устанавливается вертикально осью ОХ с точностью 0,5°.

Изменение и поддержание температурного состояния КА при электрических испытаниях в ТБК на верхнем и нижнем температурных уровнях обеспечивается изменением внешних тепловых потоков.

В период предстартовой подготовки КА на СК требуемый температурный режим обеспечивается термостатированием элементов его конструкции путём продувки через полость головного обтекателя РН воздуха с температурой на входе в обтекатель 10...40°C с возможностью поддержания её на любом уровне с точностью  $\pm 2^\circ\text{C}$ , расход воздуха не меньше 10000 м<sup>3</sup>/ч. Термостатирование ведётся при выходе температуры окружающей среды из диапазона 15...25°C.

## **1.6 Выводы по главе 1**

1 Определено назначение системы терморегулирования.

2 Выявлены требования, предъявляемые к СТР, общие и специальные.

3 Указаны основные этапы проектирования СТР и входящих в систему комплектующих. Проектирование СТР заканчивается этапом выпуска программ испытаний оборудования системы, фрагментов оборудования при ТВИ, а также программы электроиспытаний системы в составе летного изделия 11Л.

4 Рассмотрены пассивные и активные способы обеспечения тепловых режимов КА.

## **2 Типы систем терморегулирования, их состав, особенности**

Рассмотрим более подробно применяемые типы систем терморегулирования на борту КА [10 - 15].

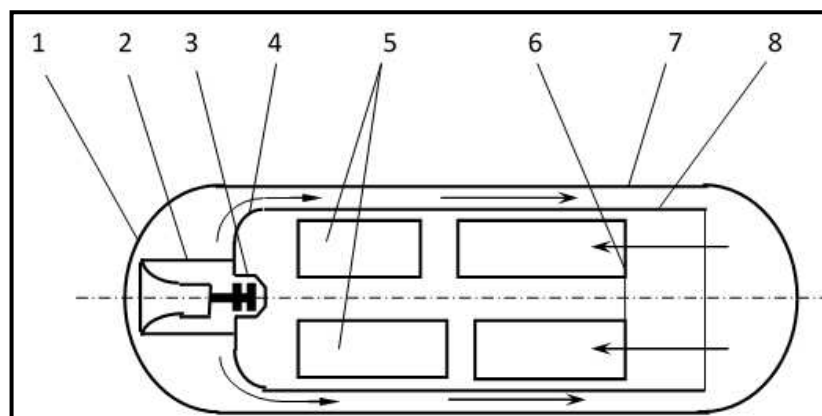
### **2.1 Газожидкостная система терморегулирования**

Принцип работы газожидкостной СТР заключается в следующем. Выделяется тепло за счет приборов и помещается в герметичный контейнер, который переносит газ в газожидкостный теплообменник, где затем передается охлаждающая жидкость [12 ; 14].

Можно сделать выводы, устройства размещены в жидкостном контуре, воспринимают жидкостью непосредственно. Аккумулированное тепло переносится на радиатор с помощью жидкости. В каналах радиатора выбрасывается тепло от жидкого теплоносителя стенкам каналов, вследствие, теплопроводностью к излучающей поверхности радиатора и его в космическое пространство.

Регулировка тепла, производится от спутника в КП, в данном случаи используется изменение расхода теплоносителя через излучательный радиатор с поддержкой терморегулятора, состоящий из механизма которого определяется температурой чувствительного элемента терморегулятора, его устанавливают в потоке теплоносителя (жидкости) на выходе из газожидкостного теплообменника.

Схема газожидкостной системы терморегулирования представлена на рисунке 2.1.



1 – нижнее днище; 2 – теплообменник; 3 – вентилятор; 4 – газовод конический;  
5 – приборы; 6 – диафрагма; 7 – корпус; 8 – газовод

Рисунок 2.1 - Схема газовой контуры СТР

Комбинированная активная газожидкостная циркуляционная СТР содержит в своем составе следующие основные элементы:

- газовый контур;
- жидкостный контур;
- блок управления СТР (БУСТР);
- тепловая изоляция, экраны радиатора;
- электрообогреватели (ЭО);
- программное обеспечение СТР (ПО СТР);

В состав газовой контуры входят такие элементы, как:

- вентилятор;
- газовод;
- продольные перегородки;
- переходник.

Состав жидкостного контура:

- электронасосный агрегат (ЭНА),
- терморегулятор;

- клапаны-регуляторы;
- компенсатор объема;
- газожидкостный теплообменник (ГЖТ);
- теплоноситель.

В состав жидкостного контура также входят коллекторы АБ, соединительные трубопроводы, трубопроводы гибкие, вентили, клапаны обратные, клапан заправочный, гидровводы, трубка Вентури с системой измерения перепада давления.

Вентилятор предназначен для создания расхода и напора газа на выходе из него и обеспечивает циркуляцию газа в газовом контуре СТР. Вентилятор состоит из корпуса, двух защитных сеток, двух электроприводов, на валу каждого из которых установлена крыльчатка со свободно поворачивающимися лопастями.

Диафрагма предназначена для обеспечения гарантированного расхода газа через приборы гермоконтейнера (ГК). Конструктивно диафрагма представляет собой плоскую перегородку, с соответствующими вырезами и отверстиями, изготовленную из газонепроницаемого материала.

Газовод конический предназначен для организации направленного движения газа вдоль нижнего днища ГК при выходе его из газожидкостного теплообменника. Газовод выполняется из алюминиевого листа, с помощью бобышек устанавливается на нижнее днище и плотно стыкуется с ГЖТ и газоволом, образуя газовый канал.

Газовод предназначен для организации направленного движения газа вдоль внутренней цилиндрической части корпуса ГК после выхода его из конического газовода. Газовод выполняется из газонепроницаемого материала, натянутого на каркас, образованный шпангоутами и стрингерами. Газовод устанавливается вдоль цилиндрической части ГК.

Продольная перегородка предназначена для формирования потока газа в квадрантах (от диафрагмы до нижнего среза рамы) приборного отсека.

Выполняется перегородка газонепроницаемого материала и плотно стыкуется с приборной рамой.

ГЖТ предназначен для теплообмена между газом и жидким теплоносителем в процессе их циркуляции через теплообменник обеспечивая тем самым отвод избыточного тепла, снимаемого газом с приборов в ГК, в жидкий теплоноситель, циркулирующий в жидкостном контуре СТР.

## **2.2 Система терморегулирования с тепловыми трубами**

Основным элементом данной СТР является комплект газорегулируемых тепловых труб (ГРТТ), осуществляющих перенос тепла на излучательные радиаторы [1; 14].

СТР работает следующим образом. Тепловой поток от приборов, расположенных в контейнере, передается посредством лучистого теплообмена по узлам крепления, на оболочку контейнера.

Далее, основная часть теплового потока с контейнера тепловыми трубами передается на радиаторы ГРТТ и с них излучается в окружающую среду. Другая часть теплового потока излучается в окружающую среду через радиационные окна на цилиндрической части контейнера.

Регулирование теплового потока тепловыми трубами осуществляется следующим образом.

При понижении температуры испарителей (посадочных мест ГРТТ на нижнем днище контейнера) до 0 °С тепловые трубы «закрываются» и ограничивают отвод теплового потока из контейнера (в это время неконденсирующийся газ занимает весь объем зоны конденсации). При этом отвод теплового потока от КА осуществляется через радиационные окна на цилиндрической части контейнера. С повышением температуры испарителей тепловые трубы постепенно «открываются» что приводит к увеличению отводимого теплового потока.

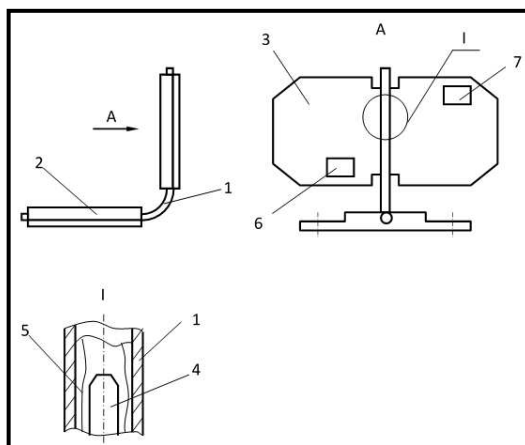
Для предотвращения переохлаждения КА при работе с тепловыделениями аппаратуры в контейнере менее 22 Вт предусмотрен электрообогреватель, управляемый автоматически и по РК.

Состав СТР следующий:

- газорегулируемая тепловая труба (ГРТТ) с излучательными радиаторами;
- ЭВТИ;
- электрообогреватель;
- управляющие датчики температуры.

Газорегулируемая тепловая труба (ГРТТ) предназначена для регулируемого отвода теплового потока с поверхности контейнера в окружающее пространство.

ГРТТ устанавливается на наружной поверхности конической части нижнего днища контейнера через эластосил 137-182 ТУ 6-02-1-015-89 и крепится к контейнеру болтами. Общий вид ГРТТ представлен на рисунке 2.2.



- 1-труба; 2-испаритель; 3-радиатор; 4-центральный стержень;  
5- фитильная структура; 6-зона установки телеметрического датчика температуры;  
7-зона установки технологического датчика температуры

Рисунок 2.2 – Общий вид ГРТТ



Конструктивно ГРТТ состоит из трубы 1, испарителя 2, радиатора 3, и центрального стержня 4. Элементы ГРТТ, контактирующие с рабочей жидкостью – аммиаком, выполнены из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Материал испарителя – алюминиевый сплав АК6. Материал радиатора – алюминиевый сплав АМг3. Поверхность радиатора, обращенная в космос, покрыта ТРП ОСО-Ф4 МБА.

Труба, то есть герметичный корпус с фитильной структурой 5, выполненный из сетки, наполнена теплоносителем – аммиаком и неконденсирующимся газом. К трубе с помощью пайки присоединены испаритель 2 и радиатор 3.

Принцип работы ГРТТ заключается в следующем: под действием теплового потока, поступающего в испаритель с контейнера, происходит испарение рабочей жидкости из фитиля испарителя. Пар по паровому каналу трубы 1 перемещается в зону конденсации, конденсируется там и по фитилю под действием капиллярных сил возвращается в зону испарения. Выделившееся при конденсации тепло поступает на радиатор, с которого излучается в космическое пространство.

Электрообогреватель предназначен для обеспечения минимального уровня тепловыделений в контейнере при энергопотреблении аппаратуры от 22 до 30 Вт. ЭО расположен на приборной плате контейнера.

### **2.3 Система терморегулирования с жалюзи**

В данной газовой системе терморегулирования с жалюзи, используется наружная поверхность гермоконтейнера за счет, радиационной поверхности. Газ, циркулирующий в гермоконтейнере, он отдает тепло от рабочего прибора к радиационной поверхности. Циркуляция газа происходит с помощью вентилятора, также происходит обдув приборов, но не в АБ и БАС, за исключением АБ и БАС, соответствующий уровню естественной конвекции в

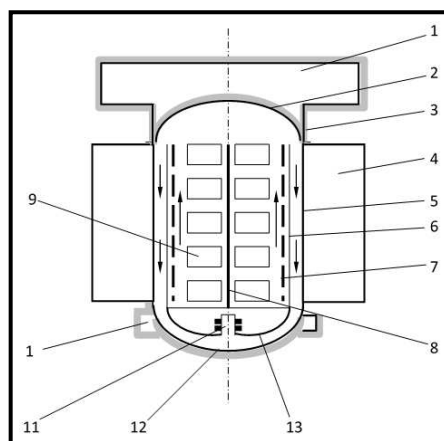
наземных условиях, происходит в зазоре между внутренней стенкой газо-вода и внешним контуром приборов [1 ; 8].

Направление газа в гермоконтейнере таково: сначала, вентилятор, затем диафрагма, после приборный отсек, газовод и снова вентилятор. Регулировка количества тепла, гермоконтейнере осуществляется с помощью жалюзи, а они в или открываются, или закрываются в радиационной поверхности в зависимости от температуры газа. Для уменьшения частоты открытия-закрытия створок жалюзи поставлен специальный электрообогреватель газа, и он или подключен, или отключен в зависимости от температуры газа в гермоконтейнере.

Схема обеспечения терморегулирования СТР с жалюзи представлена на рисунке 2.3.

Основные элементы СТР с жалюзи:

- вентилятор;
- створки жалюзи основные;
- створки жалюзи дополнительные;
- привод жалюзи;
- чувствительный элемент;
- диафрагма;
- перегородки;
- комплект ЭВТИ;
- ПО СТР;
- кабели СТР.



1-антенный блок; 2-верхнее днище; 3-ЭВТИ; 4 -створка жалюзи;  
 5-радиационная поверхность; 6-створка газоведа; 7 – электрообогреватель;  
 8-перегородка; 9- прибор; 10-привод жалюзи; 11- вентилятор;  
 12-нижнее днище; 13-газовод конический

Рисунок 2.3 – Схема обеспечения терморегулирования СТР с жалюзи

Вентилятор обеспечивает циркуляцию газа через приборный отсек.

Жалюзи служат для регулировки тепла, отводимого, от приборного отсека в окружающую среду.

Жалюзи состоят из четырех створок: двух основных и двух дополнительных, двух приводов, четырех элементов поворота створок, четырех тяг и двенадцати замков зачековки створок в транспортировочном положении.

Створки жалюзи основные и дополнительные представляют собой криволинейную раму, выполненную из труб и уголков. Основанием створки является трубчатый каркас, внутри которого натянуты две струны с пружинами, предназначенные для крепления мата ЭВТИ. На каждой створке закреплен мат ЭВТИ. Створки крепятся шарнирными узлами к шпангоутам ГК. Каждая створка в транспортировочном положении зачекована тремя замками зачековки. Замки соединены тросовой системой тяг. Жалюзи расчековываются при отделении КА от СО с помощью тросовой системы.

Привод жалюзи необходим для улучшения положения створок жалюзи. В привод корпуса входит, предохранительная муфта и выходной вал. Привод осуществляется электродвигателем.

Газовод предназначен для организации направленного движения газа в ГК и установлен вдоль внутренней поверхности контейнера. Газовод состоит:

- из четырех створок, жестко закрепленных на раме приборного блока и образующих цилиндр, внутри которого расположен приборный блок;
- из газовода конического, который состоит из пластины, обечайки и шпангоутов.

Диафрагма гарантирует распределение расхода газа через приборный отсек.

Электрообогреватель газа необходим для компенсации изменений тепловыделения внутри гермоконтейнера и уменьшения частоты открытия или закрытия створок жалюзи. Электрообогреватель газа представляет собой проволоку, наклеенную на створку газовода через два слоя стеклоткани клеем БФ-4.

Электрообогреватели трубопроводов ДУ служат для обеспечения теплового режима межблочных трубопроводов ДУ. Представляет собой проволочную спираль, намотанную на защищенный стеклолентой трубопровод.

БУСТР выполняет следующие функции:

- коммутирует питание исполнительных элементов СТР;
- формирует телеметрические цифровые параметры;
- преобразует сопротивления чувствительных элементов в цифровые параметры;
- формирует цифровые параметры, характеризующие мощность включенных обогревателей ГК;
- передает в последовательный магистральный интерфейс параметры, необходимые ПО СТР;

– принимает по инициативе ПО СТР из магистрального интерфейса информацию управления.

Кабельная сеть СТР предназначена для обеспечения электрической связи между элементами СТР и другими системами КА.

ПО СТР выполняет следующие функции:

- управление температурой газа в ГК;
- управление температурой трубопроводов ДУ;
- управление вентиляторами;
- формирование телеметрических параметров СТР;
- управление температурой приборов;
- формирование признака «не норма УОБ» (управление обогревателями ДУ) для прерывания режима коррекции.

#### **2.4 Жидкостная система терморегулирования с регулятором расхода жидкости**

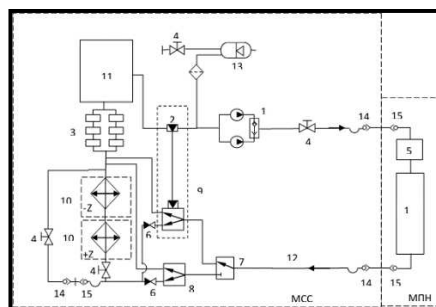
Рассмотрим жидкостную СТР с регулятором расхода жидкости. Отличительной особенностью от газожидкостной СТР является то, что тепло от приборов непосредственно воспринимается жидкостью, циркулирующей в жидкостных коллекторах приборных панелей [15].

С помощью жидкости переносится аккумулированное тепло на радиатор. В радиаторе происходит оттек тепла от жидкого теплоносителя стенкам каналов, после от теплопроводности к излучательной поверхности радиатора.

В жидкостном контуре данного типа СТР регулирование количества тепла, отводимого в КП, происходит плавное изменение расхода теплоносителя через радиатор с помощью терморегулятора, которого изменяется в зависимости от температуры теплоносителя в месте установки чувствительного элемента термопривода. Схема жидкостной СТР с регулятором расхода жидкости представлена на рисунке 2.4.

Состав жидкостного контура с регулятором расхода жидкости:

- электронасосный агрегат (ЭНА);
- терморегулятор;
- клапаны-регуляторы;
- компенсатор объема;
- радиатор с ТРП и ЭО;
- коллекторы АБ;
- жидкостные коллекторы приборных панелей;
- разъемы гидравлические;
- трубопроводы гибкие;
- соединительные трубопроводы;
- теплоноситель;
- блок управления СТР (БУСТР);
- тепловая изоляция, экраны радиатора;
- программное обеспечение СТР (ПО СТР).



- 1-ЭНА; 2-чувствительный элемент терморегулятора; 3-жидкостный коллектор АБ;  
4-вентиль; 5-жидкостный тракт астроплаты; 6-клапан обратный; 7,8-клапаны-регуляторы; 9-  
терморегулятор; 10-радиатор; 11-жидкостные коллекторы термостатируемых приборных  
панелей платформы; 12-соединительные трубопроводы;  
13-компенсатор объема; 14, 15-разъемы гидравлические; 16-жидкостный тракт МПН

Рисунок 2.4 – Гидравлическая схема жидкостной СТР с регулятором расхода

Рассмотрим подробнее применяемые агрегаты в СТР данного типа.

Электронасосный агрегат (ЭНА) 1 необходим для циркуляции теплоносителя в жидкостном контуре СТР.

ЭНА включает в себя корпус, в котором находятся 2 центробежных насоса с обратным клапаном. Крыльчатка для каждого насоса закреплена с помощью вала. Электродвигатель объединён с помощью кабеля с коммутатором.

Терморегулятор 9 предназначен для распределения поступающего в него потока жидкого теплоносителя по двум его выходным каналам и обеспечивает в СТР регулирование расхода теплоносителя через радиатор и мимо него в зависимости от температуры теплоносителя в месте установки чувствительного элемента термопривода.

Терморегулятор состоит из термопривода, чувствительный элемент которого заполнен рабочей жидкостью, распределителя, содержащего мембрану со штоком и сдвоенным клапаном и датчика линейных перемещений индукционного типа, для телеметрического контроля положения клапана распределителя.

При изменении температуры рабочей жидкости чувствительного элемента терморегулятора 2, который установлен в потоке теплоносителя в жидкостном контуре на выходе из контура жидкостных коллекторов приборных панелей, изменяется объем рабочей жидкости в термоприводе, что приводит к изменению положения штока с клапаном распределителя, то есть изменяется степень открытия выходных каналов и, следовательно, распределение потока теплоносителя на выходе терморегулятора.

В условиях эксплуатации по целевому назначению терморегулятор работает непрерывно.

Датчик линейных перемещений терморегулятора электрически связан с БУСТР с помощью кабеля, по которому блок управления коммутирует электропитание на датчик линейных перемещений и с датчика в БУСТР транслируется сигнал о положении штока с клапаном терморегулятора.

Клапан-регулятор (электромеханический регулятор расхода) предназначен для распределения поступающего в него потока жидкости, по двум его выходным каналам.

Клапан-регулятор состоит из распределителя, содержащего мембрану со штоком и сдвоенным клапаном, и привода, содержащего электродвигатель, концевые и телеметрические контакты.

При подаче электропитания на электродвигатель привода, вал его начинает вращаться, что приводит к изменению положения штока и сдвоенного клапана, то есть изменяется степень открытия выходных каналов и, следовательно, степень распределения потока теплоносителя на выходах клапана-регулятора.

В составе СТР устанавливается два клапана-регулятора, идентичных по конструкции.

Клапан-регулятор 7 обеспечивает подачу всего потока жидкого теплоносителя либо на вход терморегулятора, либо на вход клапана-регулятора 8 в соответствии с принятой логикой работы СТР.

Клапан-регулятор 8 обеспечивает регулирование расхода теплоносителя в резервной схеме, в случае выхода из строя терморегулятора, направляя теплоноситель через радиатор и мимо него в зависимости от температуры теплоносителя в жидкостном контуре СТР на выходе из приборных коллекторов по заложенному в ПО СТР алгоритму.

Клапан-регулятор электрически связан БУСТР с помощью кабеля, по которому блок управления коммутирует электропитание соответствующей полярности. Длительность импульса напряжения электропитания и его полярность формируются в зависимости от температуры теплоносителя в контролируемых точках жидкостного контура СТР.

При коммутации электропитания положение клапана изменяется, и, если клапан достигнет крайнего положения, происходит размыкание соответствующего концевого контакта и снятие напряжения питания с клапана-регулятора.



Так как в СТР отсутствует газовый контур, с помощью которого можно поддерживать рабочее давление в жидкостном тракте, соединив полость ГК, при помощи газовой полости, для необходимого рабочего давления в гидромагистральной при необходимом объеме жидкости, давление в газовой полости компенсатора объема меняется с помощью управляемого электрообогревателя, входящего в состав его конструкции.

Радиатор нужен чтобы излучать тепло в космическом пространстве, с помощью жидкостного тракта радиатора.

Радиатор - это система с вваренными в них трубчатыми профилями. Конструктивно каналы трубчатого профиля находятся во внутренней стороны панелей. В итоге внешняя поверхность радиатора обклеена терморегулирующее покрытие ОСО-С.

Жидкостные коллекторы АБ предназначены для поддержания температуры блоков АБ в требуемом диапазоне.

Жидкостные коллекторы приборных панелей (МСС, МПН, астроплаты) предназначены обеспечения гарантированной температуры посадочных мест приборов.

Разъемы нужны для того чтобы соединить или разъединить жидкостный тракт, в котором они стоят.

Разъемы гидравлические содержат в себе подпружиненные обратные клапана, герметично закрывающие их жидкостные тракты.

Клапан обратный 6 предназначен для пропускания потока теплоносителя только в одном направлении на том участке жидкостного тракта СТР, где он установлен.

Конструктивно клапан обратный представляет собой подпружиненный затвор, открываемый потоком теплоносителя. При перемене направления потока теплоносителя или отсутствии его затвор закрывается и перекрывает жидкостный тракт, тем самым, предотвращая течение жидкого теплоносителя в обратном направлении.

Вентили предназначены для соединения или разъединения жидкостного контура СТР с заправочным агрегатом при сливе и заправке его теплоносителем, для соединения с жидкостным трактом съемного оборудования СТР, а также для перекрытия определенных участков жидкостного тракта и обеспечения движения жидкого теплоносителя при наземных испытаниях через съемное оборудование.

Конструктивно вентиль включает в себя сильфонный узел, клапан с которым связан с помощью маховика, при помощи вращения вентиль используется положение «открыто» или «закрыто».

Фильтр необходим, чтобы предотвращать попадание механических частиц в жидкостный контур СТР.

Фильтр – это металлическая сетка в два слоя.

Гибкий трубопровод предназначен для обеспечения разъединения и соединения гидравлических разъемов в составе собранного спутника без слива теплоносителя из жидкостного контура СТР.

Конструктивно гибкий трубопровод представляет собой стальной сильфон с металлической оплеткой.

Соединительный трубопровод нужен для соединения элементов жидкостного контура в системе терморегулирования. Соединение между концами трубопровода и элементами жидкостного контура герметичны.

В качестве жидкого теплоносителя в СТР используется жидкость ЛЗ-ТК-2 ТУ 38-101.388-79 на основе изооктана с ингибирующими добавками для придания смазывающих свойств и повышения устойчивости к ионизирующему излучению.

БУСТР предназначен для управления и контроля работы агрегатов СТР при орбитальном функционировании и при наземных испытаниях для обеспечения электрических связей с другими системами спутника.

ЭВТИ предназначена для минимизации нерегулируемого теплообмена между элементами конструкции КА и окружающей средой. ЭВТИ представляет

собой набор экранов (полиимидных и полиэтилентерефталатных пленок с двухсторонним напылением алюминия), разделенных между собой прокладками. Экраны перфорируются отверстиями диаметром 2 мм с расстоянием между ними 10 мм. Вся ЭВТИ конструктивно состоит из отдельных сборок, соединяемых между собой и с элементами конструкции.

Съемное оборудование СТР представляет собой теплообменное устройство и предназначено для отвода тепла от теплоносителя, циркулирующего в жидкостном контуре СТР, к холодоносителю системы обеспечения теплового режима при наземных электрических испытаниях спутника.

ПО СТР является частью бортового программного обеспечения и предназначено для выполнения следующих задач:

- управление электромеханическим регулятором расхода при работе резервной схемы СТР;
- управление переключением на резервный электропривод ЭНА;
- управление включением и отключением электрообогревателей межблочных трубопроводов ДУОС.

Принцип регулирования отводимого от приборов теплового потока состоит в следующем. Электромеханический регулятор расхода 7 направляет весь расход теплоносителя на терморегулятор 9 или на клапан-регулятор 8.

При снижении температуры теплоносителя на входе в терморегулятор до определенного уровня ( $7^{\circ}\text{C}$ ), весь расход направлен в терморегулятор, останавливая тем самым отвод тепла.

При повышении температуры теплоносителя на входе в терморегулятор до  $15^{\circ}\text{C}$  весь расход теплоносителя направлен на терморегулятор на излучательный радиатор, который необходим для максимального отвода тепла.

Внутри температурного диапазона часть расхода теплоносителя направлена на излучатель радиатор, а часть – мимо него в соответствии с температурой теплоносителя.

Регулировка тепла, излучаемого в КП, осуществляется за счет расхода жидкого теплоносителя через излучательный радиатор при электромеханического клапана расхода 8.

В случае выхода из строя терморегулятора, при достижении температуры жидкого теплоносителя на выходе из контура жидкостных коллекторов пороговых значений  $(5\pm 1,5)^{\circ}\text{C}$  или  $(24\pm 1,5)^{\circ}\text{C}$  осуществляется переход на резервную схему регулирования.

При этом БУСТР переводит регулятор расхода 7 в положение, которое направлено на движения жидкости на клапан-регулятор 8. Одновременно с началом перевода исполнительного механизма регулятора 7 в положение «закрыт», БУСТР выдает сигнал в БКУ на включение программного блока управления клапаном-регулятором 8 (блок УКР).

Переход на резервную схему и управление работой клапана 13 может осуществляться с НКУ.

Управление работой клапана 8 осуществляется ПО СТР. Для этого на выходе из контура жидкостных коллекторов приборных панелей, на поверхности жидкостного трубопровода, установлены термометры сопротивления. Сигналы от термометров сопротивления преобразуются в БУСТР в напряжение, которое поступает в БКУ и трансформируется в код.

Блок УКР запрашивает информацию с термодатчиков и значение телеметрического параметра значения температуры на выходе из радиатора и формирует команды на изменение положения исполнительного механизма клапана-регулятора 8 в зависимости от значений этих температур.

Команды, сформированные блоком УКР в УИВК поступают из него в БУСТР, который в соответствии с выданными командами, коммутирует питание электродвигателя клапана-регулятора 8, обеспечивая необходимое изменение положения его исполнительного механизма.

## 2.5 Жидкостная система терморегулирования без регулятора расхода жидкости

Это жидкостная циркуляционная СТР, сочетающая средства пассивного регулирования, замещающий электрообогрев и локально управляемые электрообогреватели [1; 16].

Принципиальная схема жидкостной СТР без регулятора расхода представлена на рисунке 2.5.

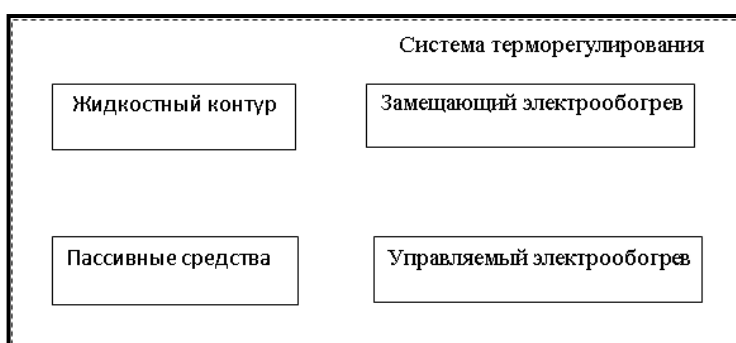


Рисунок 2.5 - Принципиальная схема жидкостной СТР без регулятора расхода

Тепло от оборудования, расположенного на термостатируемых панелях приборного блока платформы и МПН принимается с помощью жидкостью. Жидкость переходит аккумулированное тепло на всю поверхность панелей (+Z), (-Z) (представлено на рисунке. 2.6), а затем теплопроводностью через сотовый наполнитель и переизлучением между обшивками панелей тепло передается к наружной излучающей поверхности панелей, а с них излучается в космическое пространство.

Назначение и принцип действия оборудования СТР аналогичен описанному для жидкостной СТР с регулятором расхода.

Состав жидкостной СТР без регулятора расхода:

– ЭНА с коммутаторами;

- компенсатор объема с ЭО;
- вентили;
- соединительные трубопроводы жидкостного контура;
- фильтр;
- ЭО межблочных трубопроводов ДУОС;
- ЭО панелей приборного блока замещающие;
- теплоноситель;
- рабочее тело в газовой полости компенсатора объема;
- съемное оборудование СТР.

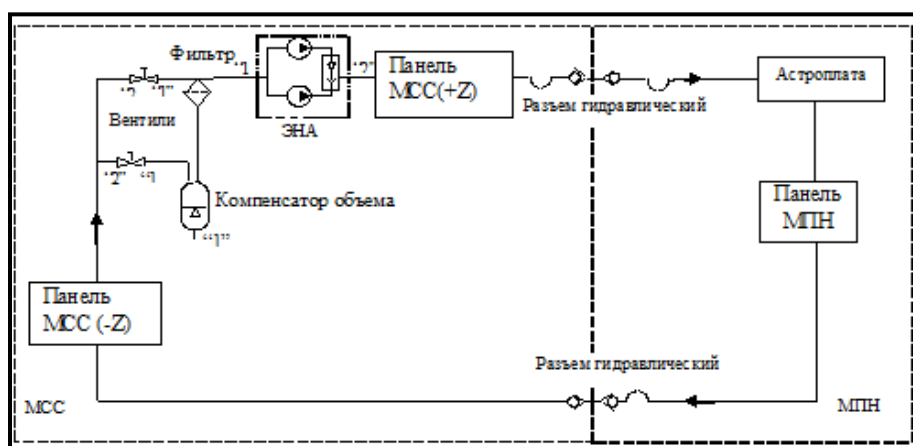


Рисунок 2.6 - Гидравлическая схема жидкостной СТР без регулятора расхода

Особенностью такого типа СТР является то, что в ее жидкостном контуре отсутствуют активные способы регулирования количества тепла, отводимого от КА. Поэтому для поддержания определенного уровня температуры жидкости при снижении тепловыделения в МПН используются замещающие электрообогреватели мощностью не менее 85% от тепловыделения отключенных стволов. При отключении ствола, включается соответствующий замещающий электрообогреватель. Соответственно, по мере включения стволов БРТК, обогреватели будут отключаться. При штатной эксплуатации СТР работает

постоянно, в автоматическом режиме. Контроль за работой ЭНА осуществляет БУН и ПО СТР.

Электрообогреватели работают по заложенным алгоритмам от ПО СТР и от ПО БКУ.

Отсутствие регулирования отводимого от спутника тепла при переменных внешних тепловых потоках требует относительно постоянного внутреннего тепловыделения для обеспечения сравнительно узкого гарантированного температурного диапазона посадочных мест для оборудования платформы. Восполнение дефицита внутреннего теплоподвода при отключении стволов ПН осуществляется включением соответствующего количества замещающего электрообогрева.

Традиционно в АО«ИСС» для крупных геостационарных спутников применялась активная СТР с двумя контурами: газовым и жидкостным. Приборы размещались в гермоконтейнере, в газовой среде. Газ, циркулируя в гермоконтейнере, отбирал тепло от приборов и отдавал его в теплообменнике жидкости, которая в свою очередь сбрасывала его на радиационные поверхности.

В западных странах для отвода и распределения тепла используют технологию с применением тепловых труб.

## **2.6 Выводы по главе 2**

1 Рассмотрены основные типы систем терморегулирования.

2 Технология изготовления ЖК в АО «ИСС» позволяет обеспечить негерметичность гидравлических трактов не более  $2,66 \cdot 10^{-7}$  Вт (по утечкам гелия). Такой уровень негерметичности позволяет изготавливать высоконадёжные СТР на базе ЖК для эксплуатации в составе КА с длительным САС. Но наряду с достоинствами, у газожидкостных систем есть и недостатки:

невозможность или сложность резервирования контура, утяжеление аппарата за счет гермоконтейнера и агрегатов.

3 Необходимо отметить активное внедрение тепловых труб для съема тепла с приборов, а также в местах передачи тепла с одной панели на другую. Для этих целей применяются изогнутые в нескольких плоскостях ТТ.

Собственное производство ТТ, как и технология изготовления сотовых приборных панелей КА с встроенными и накладными ТТ также хорошо отработаны в АО «ИСС». Это подтверждается успешной эксплуатацией на орбите КА «Луч-5А», «AMOS-5», «Ямал-300К», «Экспресс-AM5» и др.



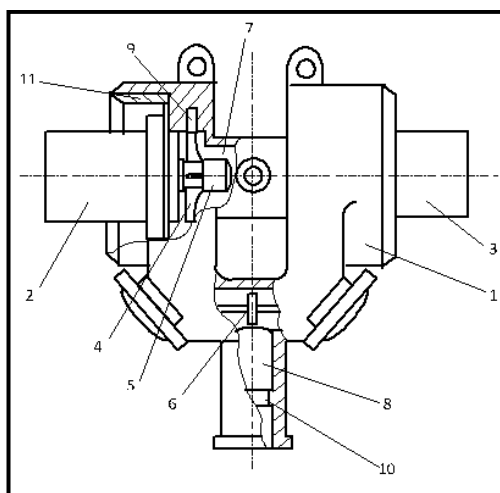
### 3 Комплектующие системы терморегулирования

Рассмотрим основные агрегаты системы терморегулирования, используя данные открытой печати [13 - 18].

#### 3.1 Электронасосный агрегат

Электронасосный агрегат (ЭНА) необходим для циркуляции теплоносителя в жидкостном контуре СТР [1 ; 2 ; 13].

Общий вид ЭНА представлен на рисунке 3.1.



1-корпус; 2,3-электродвигатель; 4-крыльчатка; 5-гайка; 6-клапан обратный;  
7-входная полость; 8-выходная полость; 9-отводящее устройство;  
10-дрессельная шайба; 11-биметаллическое кольцо

Рисунок 3.1 – Электронасосный агрегат

В состав ЭНА входит два центробежных насоса (основной и резервный) с обратным клапаном. Крыльчатка для каждого насоса, которая плотно прикреплена к валу электродвигателя, фланец который приварен к корпусу ЭНА. Электродвигатели соединены при помощи кабеля

Когда идет применение по целевому назначению один насос работает непрерывно, другой насос хранится в холодном резерве.

Для контроля вращения вала в каждом электродвигателе имеется таходатчик, который имеет сигналы двух типов:

- телеметрический сигнал – это пропорциональная частота вращения вала для постоянного напряжения;

- переменный сигнал - это пропорциональная частота вращения вала, со снимаемой фазой, по частоте.

Сопротивление цепи электропитания ЭНА с учетом источника электропитания не более 0,5 Ом.

При снижении частоты сигнала фазового выхода электропривода до  $156 \pm 2$  Гц, БУСТР автоматически переключает электропитание на другой электропривод ЭНА.

Основные характеристики ЭНА:

- производительность, измеренная при приемо-сдаточных испытаниях при напоре 0,57 кПа и напряжении электропитания на электроприводе 27 В - не менее  $100\text{см}^3/\text{с}$ ;

- потребляемая мощность - не более 41Вт;

- масса - 4,0кг;

- ВБР ЭНА -  $>0,955$ ;

- ресурс каждого электропривода с крыльчаткой с ВБР 0,933 - не менее 140ч;

- общий гарантийный срок - не менее 19лет;

- допустимая суммарная негерметичность жидкостного тракта ЭНА по гелию при давлении 246 кПа - не более  $6,67 \cdot 10^{-8}$ Вт.

### 3.2 Компенсатор объема

Компенсатор объема(КО) необходим для того, чтобы хранить запасы теплоносителя и компенсации утечек теплоносителя из ЖК при существующих нормах негерметичност, а также предназначен для поддержания рабочего давления в ЖК СТР КА при изменении температуры жидкого теплоносителя, для [10 ; 17].

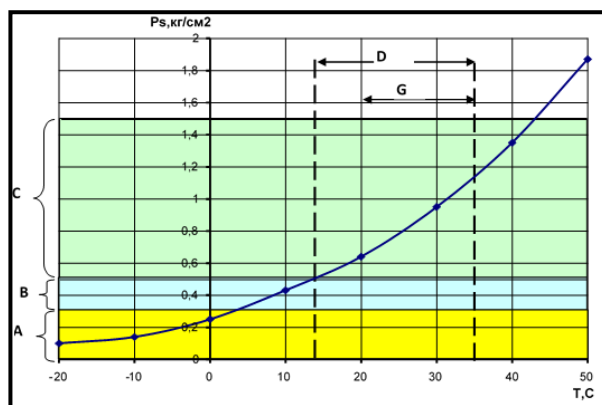
В условиях эксплуатации по целевому назначению компенсатор объема работает непрерывно.

Основные характеристики КО:

- изменяемый объем жидкостной полости - не менее 5,5дм<sup>3</sup>;
- масса заправленного фреоном и с ЭО - 5,0кг;
- мощность ЭО - 15Вт;
- требуемый ресурс - 6000циклы;
- общий гарантийный срок - не менее 19лет.

Для обеспечения требуемого рабочего давления в гидромагистрали при уменьшении объема жидкости газовая полость компенсатора объема заполняется фреоном-141в. Температура фреона, а, следовательно, давление его насыщенных паров, обеспечивается управляемым электрообогревателем, входящим в состав конструкции компенсатора объема.

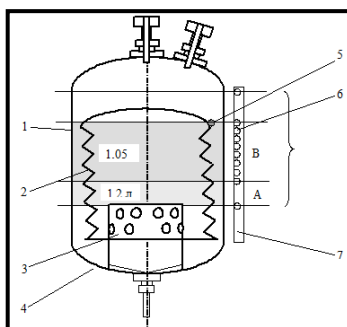
Схема работы КО представлена на рисунке 3.2.



А - зона кавитации ЭНА; В - зона запаса по кавитации ЭНА; С - зона рабочих давлений;  
 D - диапазон работы резервного ЭО компенсатора объема;  
 G - диапазон работы основного ЭО компенсатора объема

Рисунок 3.2 – Схема работы компенсатора объема

Для определения положения сиффона в корпусе компенсатора объема, а, следовательно, объема жидкости находящейся в нем, используется система из 10 герконов и одного постоянного магнита. Магнит крепится на верхней тарели сиффона, а герконы скомпонованы в специальный блок герконов, устанавливающийся снаружи компенсатора объема на период наземных испытаний. Схема КО представлена на рисунке 3.3.



1-корпус; 2-сиффон; 3-ограничитель хода сиффона; 4-электрообогреватель;  
 5-постоянный магнит; 6-герконы; 7-блок герконов

Рисунок 3.3 – Схема компенсатора объема

Положение сильфона определяется по замыканию того или иного геркона или пары герконов, если магнит оказывается между герконами. Максимальное расстояние между герконами, при котором замкнут хотя бы один геркон составляет 5 мм, что соответствует изменению объема теплоносителя на 0,15 л.

Блок герконов устанавливается на компенсатор объема при сборке изделия и снимается перед отправкой КА на полигон запуска.

### **3.3 Электрообогреватели**

Электрообогреватели межблочных трубопроводов ДУОС предназначены для обеспечения гарантированного обеспечения нижней границы рабочего диапазона температур рабочего тела (гидразин) [1 - 6].

ЭО состоит из трех основных и трех резервных секций. Управление каждой секцией раздельное по температурным датчикам, установленным на трубопроводе.

Характеристики ЭО:

- удельная мощность на погонный метр при напряжении питания 27 В -  $1 \pm 0,05 \text{ Вт/м}$ ;
- количество циклов коммутации ЭО - 20 000;
- максимальное время нахождения во включенном состоянии - 15 лет.

Электрообогреватель должен пройти следующие испытания:

- проверка электрической прочности;
- проверка сопротивления изоляции;
- измерение сопротивлений отдельных секций.

Электрообогреватель компенсатора объема предназначен для поддержания температуры газовой полости компенсатора объема, заполненной фреоном-141в в требуемом диапазоне температур.

Электрообогреватель состоит из двух одинаковых секций: основной и резервной. Управление каждой секцией раздельное по температурным датчикам, установленным на корпусе компенсатора объема.

Характеристики ЭО:

- мощность секции при напряжении питания 27 В – 15Вт;
- количество циклов коммутации ЭО - 20 000;
- максимальное время нахождения во включенном состоянии – 15лет.

Электрообогреватель в составе компенсатора объема должен пройти следующие испытания:

- проверка электрической прочности;
- проверка сопротивления изоляции;
- измерение сопротивлений отдельных секций.

Общий вид ЭО приведен на рисунке 3.4.

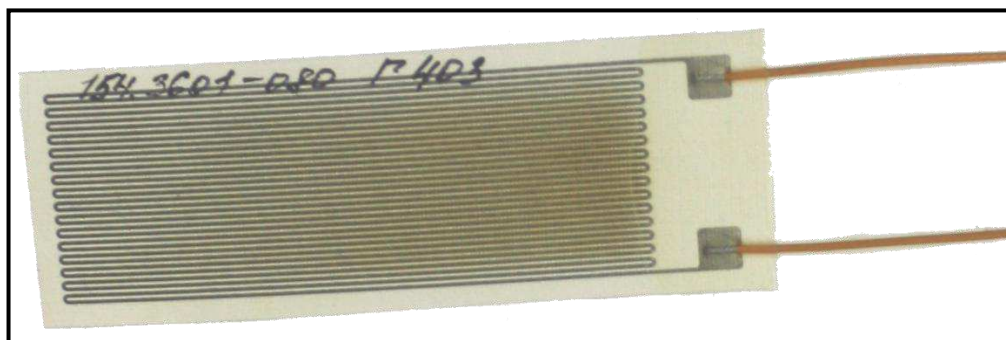


Рисунок 3.4 – Электрообогреватель

Электрообогреватели панелей приборного блока предназначены для восполнения дефицита теплового потока, поступающего в контур СТР при отключении (частично или полностью) БРТК.

ЭО приклеены к поверхности приборных панелей, в местах контакта с трубным профилем по 7 секций на каждой панели. Каждая секция имеет свои клеммы подключения.

Секции равномерно распределены по длине тракта в зонах, где не установлены приборы.

Управление работой каждой секцией отдельное.

Характеристики ЭО:

- количество циклов коммутации ЭО - 1000;
- время нахождения секций ЭО во включенном состоянии - 150 000ч;
- потребляемая мощность каждой секции при напряжении питания 40 В - 150±2Вт.

В процессе изготовления электрообогреватель должен пройти следующие испытания:

- проверка электрической прочности;
- проверка сопротивления изоляции;
- измерение сопротивления каждой секции.

### **3.4 Терморегулирующие покрытия**

Терморегулирующие покрытия (ТРП) – это одно из средств пассивного терморегулирования КА. ТРП наносится на внешнюю поверхность элементов КА, в том числе радиаторов СТР, они необходимы для определенного диапазона температуры, для того чтобы снизить нерегулируемый внешний теплоприток и обеспечить работоспособности радиаторов в эксплуатации [1 - 6].

Основные характеристики ТРП следующие:

- состав и схема нанесения;
- технология нанесения;
- физико-механические свойства;

изначальное оптическое и терморadiационное свойство (коэффициенты  $A_s$  и  $\epsilon$ ), в том числе спектральные коэффициенты отражения  $\rho_\lambda$  в диапазоне от 0.3 до 20 мкм;

– изменяется коэффициент  $A_s$  в эксплуатации (в основном для покрытий класса «солнечный отражатель»).

ТРП классифицируют:

1) соотношение оптических и терморadiационных свойств (коэффициенты  $A_s$  и  $\varepsilon$ ) ТРП подразделяются на следующие классы.

- «истинные отражатели» (ИО):  $A_s \rightarrow 0$ ;  $\varepsilon \rightarrow 0$ ;
- «солнечные отражатели» (СО):  $A_s \rightarrow 0$ ;  $\varepsilon \rightarrow 1$ ;
- «истинные поглотители» (ИП):  $A_s \rightarrow 1$ ;  $\varepsilon \rightarrow 1$ ;
- «солнечные поглотители» (СП):  $A_s \rightarrow 1$ ;  $\varepsilon \rightarrow 0$ .

2) состав и способ нанесения (технологии) различают:

- лакокрасочные покрытия (ЛКП);
- силикатные покрытия;
- покрытия типа «металл-диэлектрик»;
- гальванохимические;
- покрытия вакуумного напыления.

К внешним покрытиям космических аппаратов имеется ряд требований;

– оптические и терморadiационные характеристики, они стабильны в условиях хранения и эксплуатации космических аппаратов в КП, технологичность (в том числе доступность технологии нанесения);

– физико-механические свойства (прочность, адгезия и др.), они имеют малый вес (поверхностная плотность), ремонтпригодность и др.

Воздействие повреждающих факторов космического пространства: ультрафиолетового излучения солнца, протонов и электронов радиационных поясов Земли (РПЗ), солнечного ветра в межпланетном космическом пространстве (МКП) приводит к росту коэффициента  $A_s$  покрытий классов ИО и СО (при этом коэффициент  $\varepsilon$  практически не меняется) и некоторому снижению  $A_s$  «черных» покрытий классов ИП и СП ( $\varepsilon = \text{const}$ ). В общем случае



изменение коэффициента  $A_s$  зависит от интенсивности повреждающих факторов, температуры и времени воздействия в виде выражения (3.1):

$$\Delta A_s = f(\varphi p, \varphi e, E's, T, t), \quad (3.1)$$

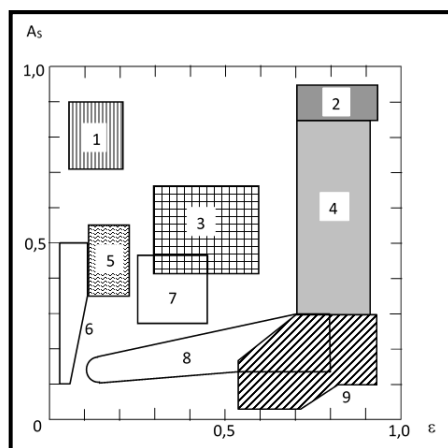
где  $\varphi p, \varphi e$  – плотность потоков протонов и электронов РПЗ на орбите КА, [см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>];

$E's$  – облученность покрытия УФ-излучением Солнца, измеряемая в эквивалентах солнечного облучения (ЭСО) в области 0,2-0,4 мкм;

$T$  – температура покрытия в процессе эксплуатации, К;

$t$  – время эксплуатации изделия.

Область значений коэффициентов  $A_s$  и  $\varepsilon$  покрытий различных типов представлена на рисунке 3.5.



- 1 – селективное черное покрытие; 2 – черные ЛКП; 3 – опескоструенные металлы;  
 4 – серые и цветные ЛКП; 5 – неполированные металлы; 6 – полированные металлы;  
 7 – ЛКП на основе металлов; 8 – диэлектрические пленки;  
 9 – белые ЛКП, металлизированные полимерные пленки, зеркальные покрытия

Рисунок 3.5 – Область значений коэффициентов  $A_s$  и  $\varepsilon$

Для ТРП КА на геостационарной орбите повреждающие факторы будут следующими:

- влияние УФ излучения Солнца;
- влияние солнечного ветра;
- загрязнение в собственной внешней атмосфере (СВА);
- термоциклирование.

Геостационарная орбита характеризуется комплексным воздействием УФ излучения и потоков протонов и электронов (УФ+p+e) на солнечной части витка и (p+e)-воздействием на теневой части витка. Эта орбита является наиболее радиационно-опасной для ТРП, т.к. в спектре частиц на этой орбите преобладают протоны и электроны низких энергий, оказывающие на покрытие наиболее сильное воздействие. Необходимо отметить, что изменение  $\Delta AS$  одного и того же типа покрытия, различно на солнечных и теневых участках витка, что связано с различной чувствительностью ТРП к комплексному (УФ+p+e) и (p+e) – облучению и различной температуре на этих орбитах.

Термоциклирование может приводить к изменению физико-механических характеристик ТРП и его отслаиванию (нарушению адгезии) и наиболее вероятно для многослойных покрытий из разнородных материалов (например, зеркальные покрытия типа ОСО-А и ОСО-С, металлизированные полимерные пленки).

Загрязнение покрытий в процессе эксплуатации зависит от СВА конкретного изделия и определяется типом полимерных материалов на его поверхности и их температурой, местом расположения этих материалов (угловым коэффициентом) по отношению к покрытию, соотношением температур источника загрязнений покрытия и др. Наибольшее влияние загрязнения оказывают на зеркальные покрытия (ОСО-А, ОСО-С) и на полированные металлические поверхности. Изменение  $\Delta As$  этих покрытий может существенно отличаться у различных изделий.

Внешний вид ОСО-С на панели представлен на рисунке 3.6.

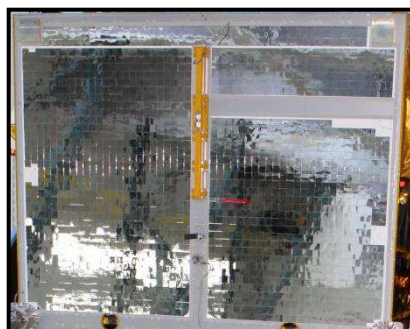


Рисунок 3.6 – Внешний вид ОСО-С

На ГСО, как на радиационно-опасной орбите, наименьшие изменения коэффициента  $A_s$  имеют зеркальные покрытия типа ОСО-А, ОСО-С, фторопластовые СОР-1С-100 (данные представлены в таблице 3.1).

Таблица 3.1 – Оценка изменения коэффициентов  $A_s$  ТРП на ГСО

Тип покрытия	Срок эксплуатации	ГСО	
		Чисто солнечная орбита	Теневая орбита
Эмаль АК-512 белая ( $A_{s0} \leq 0,3$ ; $\epsilon_0 \geq 0,85$ )	1 год	0,59	0,54
	3 года	0,69	0,62
	5 лет	0,74	0,67
ОСО-С ( $A_{s0} \leq 0,13$ ; $\epsilon_0 \geq 0,85$ )	1 год	0,28	0,25
	3 года	0,34	0,31
	5 лет	0,37	0,32
СОР-1С-100 ( $A_{s0} \leq 0,11$ ; $\epsilon_0 \geq 0,85$ )	1 год	0,25	0,21
	3 года	0,38	0,29
	5 лет	0,47	0,35

Недостатком зеркальных покрытий является их нетехнологичность, высокий вес, и, кроме того, как и для фторопластовых покрытий, возникновение высокого электростатического заряда. В последние годы разработан ряд зеркальных покрытий с нанесением на их поверхность электроразрядных пленок, что существенно снижает заряд на их поверхности.

Эмали и силикатные покрытия существенно изменяют свои свойства на ГСО ( $\Delta A_s = 0,40 \div 0,60$  абс. ед. за 3 года). На чисто солнечных орбитах в этих

условиях эмали и силикатные покрытия имеют примерно одинаковую стабильность свойств, на теневой – эмали более стабильны.

Исходя из вышеперечисленных факторов, для радиационных панелей разрабатываемых в настоящее время КА используют терморегулирующее покрытие типа ОСО-С, отвечающее требованиям геостационарного КА, имеющего САС 15 лет.

### **3.5 Экранно-вакуумная тепловая изоляция**

Экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ) является одним из наиболее распространенным и проверенным средством пассивного терморегулирования в тепловом режиме КА [1 - 6]. ЭВТИ возможно снижает интенсивность теплообмена каждого элемента конструкции и оборудования для КА в пространстве, то есть снижаются (по абсолютной величине) тепловые потоки, к которым поступают элементы конструкции и оборудованию от Солнца, Земли и излучаемой наружной поверхностью аппарата в КП. Параметры, которые, определяют эффективность ЭВТИ, называют термическое сопротивление ( $R_{ЭВТИ}$ ). Общий вид КА, закрытого ЭВТИ представлен на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 – Общий вид КА, закрытого ЭВТИ

На сегодняшний день производят широкий ассортимент различных видов ЭВТИ, которые могут работать в огромном диапазоне температуры.

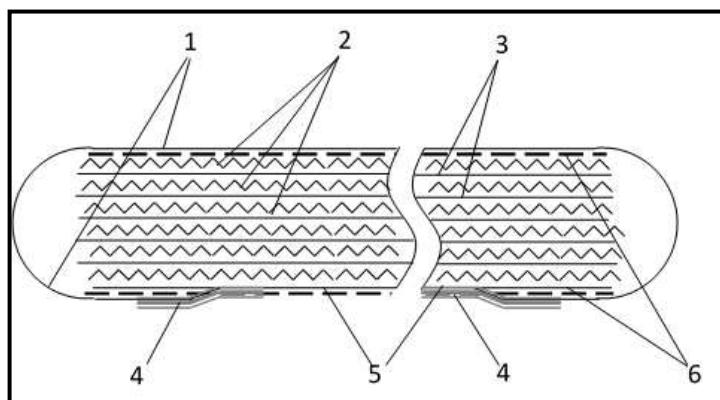
В диапазоне температур от  $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$  применяются ЭВТИ -А, -Б, -В, -К и др., от  $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  (до 3 мин.) - ЭВТИ -Д, -И, от  $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  -ЭВТИ - Е.

С повышением термостойкости, повышается вес пакета ЭВТИ.

ЭВТИ выполнена в виде отдельных пакетов, матов, спиральной намотки, которые изготовлены по специальному раскрою и при этом учитывается геометрия внешней поверхности.

Результаты исследований представлены в ОСТ 92-1380-83, по которому требуемое (по тепловому расчету) термическое сопротивление ЭВТИ подбирается соответствующим количеством слоев (экранов) и плотностью их укладки.

Структура ЭВТИ представлена на рисунке 3.8.



- 1 – внешний наружный экран; 2 – прокладки; 3 – внутренние экраны;  
4 – лента с односторонним липким слоем; 5 – внешний внутренний экран;  
6 – напыление алюминием

Рисунок 3.8 – Структура ЭВТИ

Если установить ЭВТИ на поверхность сложной конфигурации где приведены значения термического сопротивления, то ЭВТИ будет отличаться от теории, в основном в сторону снижения значений  $R_{ЭВТИ}$  в конкретных условиях эксплуатации на КА.

Схема ЭВТИ создается на изначальном этапе проектирования КА. Затем, проводится ее уточнение по результатам конструктивной проработки.

Наиболее распространенной в настоящее время является ЭВТИ-В, имеющая минимальный удельный вес и сравнительно хорошие теплоизоляционные свойства.

Однако в зонах, где на КА расположены двигатели, в большинстве случаев, применение ЭВТИ-В недопустимо и применяются другие виды ЭВТИ или комбинированные схемы.

К самому важному параметру температурного режима эксплуатации ЭВТИ можно отнести термооптические характеристики и их наружные (облицовочного) слой, которые подвержены тепловому воздействию солнечной радиации.

Облицовочный слой ЭВТИ - это элемент состоит из пассивной терморегуляции и его часто проверяют не только через тепловой поток через ЭВТИ (по величине и направлению), но и температурный диапазон эксплуатации объектов.

Облицовочных материалов применяются угольные, стеклянные, капроновые и другие ткани, достаточно стойкие к условиям эксплуатации в КП. Существующий ассортимент облицовочных материалов (ТСОН – СОТ (бц), ТСО – СОТ (Ж), УТМ и др.) имеет термические характеристики в широком диапазоне  $A_s$  от 0,2 до 0,95, а степень черноты применяемых облицовочных материалов находится преимущественно в диапазоне 0,7 – 0,9.

Важно, что ЭВТИ-В- это экран, созданный путем металлизации полиэтилентерефталатной пленки. В таком случае пленка с металлизированной

стороны имеет  $\varepsilon=0,05\div 0,08$  и  $A_s=0,1\div 0,2$ , а с неметаллизированной стороны  $\varepsilon=0,5\div 0,9$  (в зависимости от толщины пленки) а  $A_s$  приблизительно то же.

Экспериментально – теоретические исследования ЭВТИ обнаружили, что эксплуатационные условия, имеют вогнутости также сгибы и наслоения ЭВТИ, все это может привести к глобальным перегревам ЭВТИ, к местным разрушениям пленки и снижению ее термического сопротивления.

Газы, которые образуются внутри многослойной теплоизоляции, могут значительно ухудшать теплофизическую характеристику изоляции, при условии разделения пространства внутри изоляции и окружающей среды. Одним из способов разрешения данной проблемы является перфорация радиационных экранов. При этом увеличивается испускательная способность для перфорированных радиационных экранов. Поэтому необходимо использовать оптимальную степень перфорирования экранов. Чтобы при обеспечении достаточного дренирования внутренних объемов не происходило значительного ухудшения. Соблюдения этого условия еще не достаточно для того, чтобы гарантировать малое давление внутри пакета ЭВТИ. Длина пути от отверстия в одном слое до отверстия в следующем слое должна быть наиболее короткой при свободномолекулярном режиме течения. Можно сделать вывод, что важным параметром является число отверстий на единицу площади. Например, при увеличении числа отверстий с сохранением той же самой степени перфорирования, нужно уменьшить диаметр самих отверстий.

Маты ЭВТИ имеют в своем составе также следующие элементы:

- крепления к КА и элементы крепления между собой;
- заземления;
- фиксации слоев экранов относительно друг друга.

На КА используются ЭВТИ с десятью экранами. Высота мата составляет не более 2,5 мм.

Относительно друг друга слои фиксируются с помощью пластмассовых заклепок.

Маты ЭВТИ крепятся между собой и к КА с помощью текстильных застежек.

Металлизируются сборки ЭВТИ соединением их с помощью металлизующих элементов (полоски металлической фольги, сложенные в виде гармошки) и проводов с корпусом КА.

### **3.6 Панели-радиаторы**

Сотовые панели выполнены в виде сэндвичей из алюминиевых обшивок и сотозаполнителя, с использованием конструкционных и приборных закладных. Конструкция КА должна обеспечить модальную развязку между платформой и МПН, выдерживать стартовые нагрузки (квазистатические, синусоидальные и акустические нагрузки) и нагрузки во время наземных операций. Конструкция МПН обеспечивает поддержку оборудования и антенн, приборов астроориентации [1 -6 ; 11].

Контур панели окантован профилями из алюминиевого сплава (швеллер) с элементами соединения панелей между собой в виде бобышек, закладных элементов с резьбой, гаек, накладок, кронштейнов и т.п. для установки крепежа при стыковке панелей МПН и МСС, стыковке с устройством отделения в торцевых частях панелей предусмотрены выемки-карманы. Во внутренних полостях панелей размещены тепловые трубы СТР, которые приклеиваются к обшивкам типа ВК-9 с наполнителем - нитридом бора, улучшающим теплопередачу. Наружные поверхности панелей имеют терморadiационное покрытие и служат для излучения тепловой энергии, выделяющейся при работе аппаратуры.

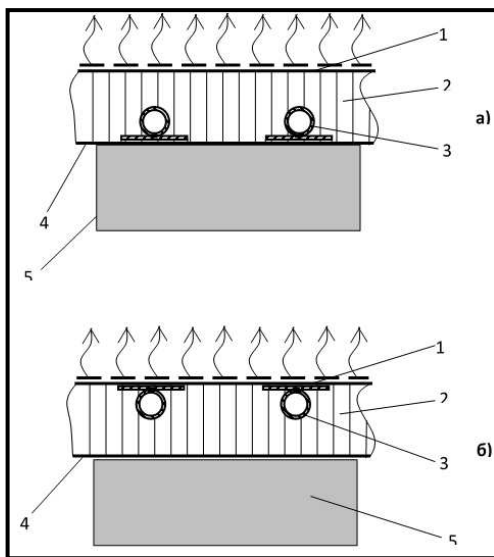
Отвод тепла от БА осуществляется от основания (площадки контакта) приборов за счёт теплопроводности через зоны контакта, имеющие необходимые шероховатость и плоскостность. Надёжная и стабильная теплопроводность обеспечивается созданием в зоне контакта с панелью необходимого удельного



давления, исходя из чего, определяется количество, шаг расположения и типоразмер крепёжных элементов. В необходимых случаях предусмотрено использование в контактных зонах пластичных теплопередающих заполнителей (типа клея «Эласил»), обеспечивающих стабильность свойств теплопроводности.

Термостатирование посадочных мест под приборы осуществляется жидкостью, протекающей по жидкостному коллектору, встроенному в конструкцию панели под каждым тепловыделяющим прибором.

Коллектор выполнен из однополочного профиля с внутренним диаметром трубопровода 12 мм. Для лучшего теплового контакта прибор устанавливается на панель через теплопроводящую пасту. Варианты установки коллектора в зависимости от удельной тепловой нагрузки от прибора к его посадочному месту представлены на рисунке 3.9.



1-наружная (излучающая) обшивка панели с ОСО-С; 2-сотовый наполнитель;  
3-жидкостный коллектор панели; 4-внутренняя обшивка панели; 5-тепловыделяющий прибор

Рисунок 3.9 - Структура сотовой панели с гидротрактом и прибором

Профиль приклеивается полками к внутренней поверхности обшивки панели, на которой установлены приборы, клеем ВК 36 РТ. Обшивки панели выполнены из листа толщиной 0,4 мм из отожженного сплава алюминия Д16Т.

Конфигурация коллектора каждой из панелей определяется схемой компоновки приборов на панелях.

Каждая панель с жидкостным коллектором подвергается квалификации на модели, используемой, для инженерной модели платформы, в части воздействия термоциклирования в вакууме и механических нагрузок на соответствие по следующим требованиям:

- прочность и герметичность;
- целостность электрообогревателя;
- сохранение качества оптического покрытия;
- сохранение качества приклейки гидротракта к обшивкам приборного блока панелей.

### **3.7 Тепловые трубы**

Составные части тепловой трубы – это зона испарения и зоны конденсации. Труба может иметь дополнительную зону в некоторых случаях – это адиабатный участок, в которой разделяется испаритель и конденсатор. Если сделать поперечное сечение трубы, то видно что стенки корпуса состоят из фитиля и парового канала [1; 9; 10; 13; 17; 18].

Тепловая труба – замкнутая система, которая обладает эффективной теплопроводностью, которая значительно превышает теплопроводность однородных стержней таких же габаритов из различных материалов. Указанное свойство достигается за счет испарения жидкости во внутреннем пространстве трубы, которая затем переносится в виде пара к другой ее части, конденсируется и возвращается в испаритель при помощи капиллярного фитиля. Такой процесс обеспечивается за счет молярного переноса тепла.

Для переноса тепла применяются следующие носители: фреон, метанол, аммиак, азот, этилен, ацетон, вода, спирт.

Понятие «эквивалентная теплопроводность» определяют для эффективности работы тепловых труб.

Основное применение нашли цилиндрические тепловые трубы, но для удовлетворения специальных требований разрабатывают трубы других конфигураций.

К основным характеристикам тепловых труб можно отнести высокую эффективную теплопроводность, также способностью действовать как трансформатор для теплового потока.

Зона конденсации тепловой трубы в последнем случае работает если существует постоянная температура. Если участке есть местный тепловой сток, то количество конденсирующегося в этом месте пара увеличивается и за счет этого температура поддерживается на прежнем уровне.

Тепловые трубы (ТТ) предназначены для выполнения следующих функций:

- отвода тепла от приборов, размещённых без ЖК;
- распределения тепла по площади автономных радиаторов АБ для обеспечения требуемого теплоотвода в космическое пространство и обеспечения температурного градиента по основанию АБ не более  $2^{\circ}\text{C}$ ;
- отвод тепла от теплообменных участков ЖК и распределение этого тепла по площади радиационных поверхностей «+Z», «-Z» для эффективного излучения в космическое пространство.

Передаваемая тепловая мощность на длине 1 м:

- для профиля КП1127, не менее 80 Вт;
- для профиля КП3194А, не менее 50 Вт;
- для профиля 209203, не менее 40 Вт;

ТТ обеспечивают передачу заданной мощности в диапазоне температур от минус 10 до плюс 65.

Максимальный перепад по тепловой трубе не более 5 °С.

Масса одного погонного метра :

- для профиля КП1127 – 0,404 кг;
- для профиля КП3194А – 0,312 кг;
- для профиля 209203 – 0,161 кг.

Поперечное сечение профилей представлено на рисунках 3.10-3.12.

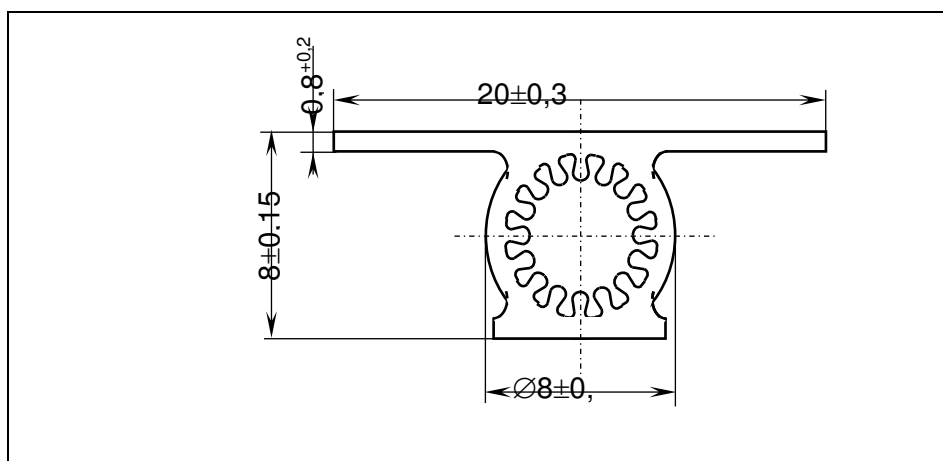


Рисунок 3.10 – Поперечное сечение профиля 209203

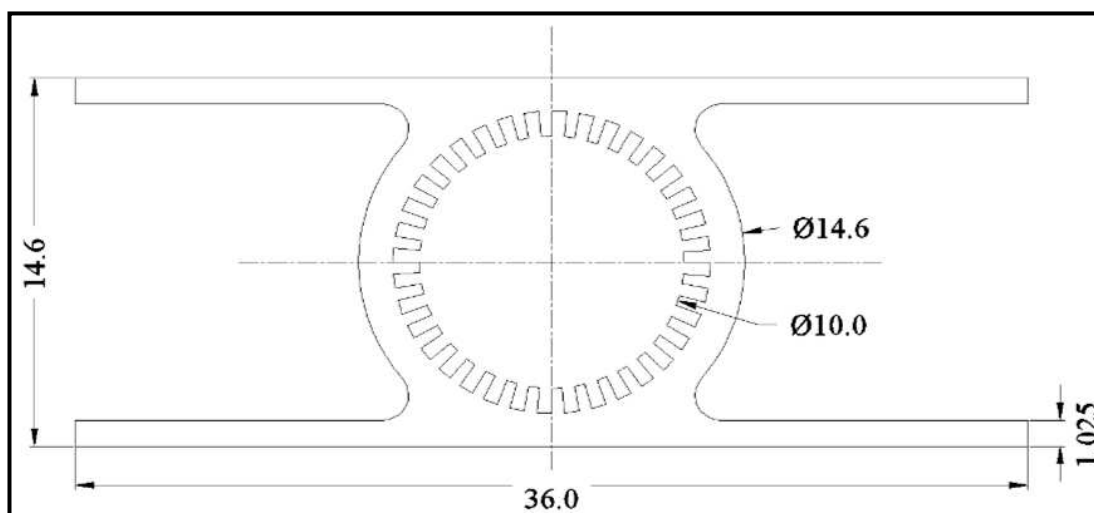


Рисунок 3.11 – Поперечное сечение профиля КП1127

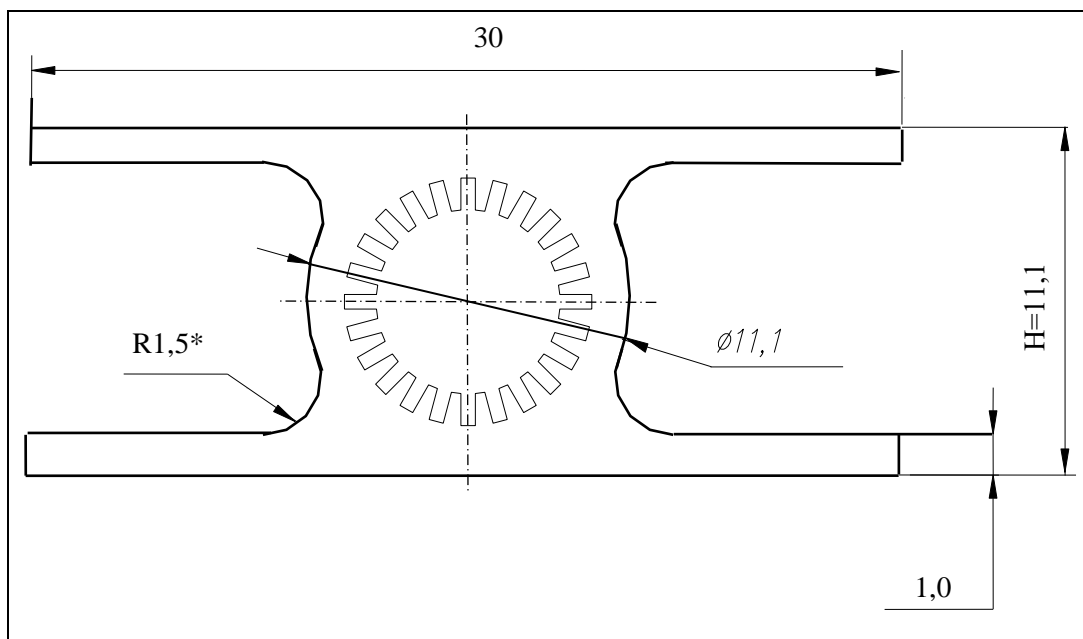


Рисунок 3.12 – Поперечное сечение профиля КП3194А

Контурная тепловая труба (КТТ) предназначена для переноса тепла от оборудования размещенного на раскрываемых модулях КА на стационарные радиационные поверхности.

КТТ состоит из:

- испарителя;
- рекуператора;
- трубопровода конденсатора  $du=4,2$  мм;
- соединительных трубопроводов  $du=4,2$  мм;
- гибкого трубопровода  $du=6$  мм (пар);
- спирали  $du=2$  мм (жидкость).

Характеристики КТТ:

- передаваемая мощность до 700 Вт;
- размеры контактной площадки испарителя 120 x 300 мм;
- масса испарителя с рекуператором до 1 кг.

На рисунке 3.13 представлена КТТ [19 ; 20]. Можно заметить, что производится тепло от прибора в зоне испарения, за который отвечает

капиллярный насос. Можно увидеть, что капиллярную структуру имеет испаритель, которая напрямую зависит от гидроаккумулятора. В гидроаккумуляторе находится теплоноситель в жидкой фазе, вот почему, испаритель заполнен жидкостью. Можно провести испарение в капиллярном насосе теплоноситель в виде пара вытесняется в ведущий к конденсатору паропровод за счёт капиллярных сил. После конденсации теплоноситель возвращается в гидроаккумулятор, внутри которого теплоноситель находится как в жидкой, так и в газообразной фазе.



Рисунок 3.13 – Контурная тепловая труба

### 3.8 Выводы по главе 3

1 Рассмотрены основные агрегаты СТР, их назначение и принцип действия.

2 Определены повреждающие факторы, влияющие на использование комплектующих СТР.

3 Панели-радиаторы со встроенными жидкостным контуром или ТТ предназначены для компактного размещения теплонапряженного оборудования или приборов. Встроенный жидкостный контур или ТТ обеспечивают отвод диссипативного тепла от оборудования в окружающее пространство.

4 Контурные тепловые трубы по многим характеристикам превосходят обычные ТТ. Важное преимущество - возможность отвода тепла на

раскрывающиеся радиационные панели двустороннего излучения при использовании гибких участков магистралей и механизма раскрытия.

## **4 Обеспечение надежной работы агрегатов системы терморегулирования**

Основные показатели качества КА:

- надежность;
- срок активного существования на орбите;
- температурный режим.

Основная задача СТР – это обеспечить заданный тепловой режим, при котором происходит работа всех систем космического аппарата внутри ограниченного объема. Поставленная задача решается с помощью агрегатов – таких, как насосы, которые находятся в заданном контуре теплоносителя, вентиляторы и другие, они регулируют переносы, сборы, перераспределяют передачу тепла. К агрегатам системы терморегулирования очень высокие требования, они очень массогабаритны по характеристикам, имеют большой срок службы, ресурсу и надежности.

На основе анализа открытых источников информации по КА «SESAT» определим основные этапы обеспечения надежной работы комплектующих системы терморегулирования [1– 7 ; 13 ; 15].

### **4.1 Параметр совершенства комплектующих системы терморегулирования**

Срок активного существования современных КА достигает 15 лет. Для изготовленного в АО «ИСС» телекоммуникационного спутника SESAT САС быстровращающихся центробежных насосов и вентиляторов достиг 18 лет при гарантированном 10-летнем ресурсе [13].

К комплектующим СТР – относятся вентиляторы, электронасосы, клапаны-регуляторы, терморегуляторы, клапаны перепускные, теплообменники, тепловые трубы, клапаны обратные, муфты гидравлические, клапаны



заправочные, вентили заправочные предъявляются требования в зависимости от орбиты [13 ;14].

Необходимо ввести параметр совершенства комплектующих СТР, которые вносят весомый вклад в степень совершенства самой СТР, определяемый по формуле (4.1):

$$K_k = \tau_k / m_k, \quad (4.1)$$

где  $\tau_k$  – ресурс непрерывной работы на орбите,

$m_k$  – масса комплектующего аппарата.

Вместо  $\tau_k$  можно использовать вероятность безотказной работы (ВБР) за требуемый ресурс непрерывной работы  $\tau_k$ .

Надежное функционирование сложных информационных систем в авиации, электропромышленности, космической и вычислительной технике и т.д. определяется бесперебойной работой входящих в конструкцию агрегатов. Агрегаты, представляют собой механические, пневматические, гидравлические, электромеханические и электромагнитные устройства работающие в газовых и жидкостных рабочих средах.

Для первого искусственного спутника Земли использовался клапан (заправочный), заправочный вентиль и вентилятор. Для того, чтобы заправить систему азотом на Земле необходим вентиль.

Для расчетов  $K_k$  в таблице 4.1 приведены характеристики некоторых агрегатов СТР КА [1; 13 ;14].

Таблица 4.1 – Технические параметры некоторых агрегатов СТР КА

Агрегат СТР	ВБР на назначенный ресурс	Масса, кг	$K_k$
Клапан заправочный	0,9999	0,4	2,4998
Клапан обратный	0,9999	0,3	3,333
Терморегулятор	0,99	1,8	0,55
Тепловая труба	0,995	1	0,995

Дублированный малорасходный вентилятор	0,993	1	0,993
Малорасходный насос	0,996	2,4	0,415

Специальные требования, которым должен отвечать данный конкретный тип агрегата, должны соответствовать техническому заданию.

Требования к гидравлическим и пневматическим агрегатам должны обеспечивать:

- чистоту рабочего тела (газ, жидкость) по содержанию в них механических примесей, масел, воды и др.;
- отсутствие в конструкции карманов, застойных зон;
- совместимость примененных конструктивных материалов и рабочих сред.

Конструкция посадочных и крепежных мест агрегата выполняется с учетом необходимой жесткости и рационального размещения в нем сборок и деталей. В конструкции агрегата также необходимо предусмотреть:

- удобный доступ к местам регулировки, юстировки датчиков;
- легкоъемность кожухов, крышек;
- защиту от внешних воздействующих факторов.

Необходимо компоновать агрегаты таким образом, чтобы они занимали минимум места в системе, поддерживали тепловые режимы и обеспечивали безопасность эксплуатации, а также надежность систем КА.

При создании, КА нужно знать о массогабаритных характеристиках, надежности, гарантированному сроку службы, межрегламентному обслуживанию, точности отработки сигналов управления и ресурсу

#### **4.2 Состав системы терморегулирования**

Состав КА «SESAT» возьмем из следующих источников [1; 13].

Основной критерий при выборе типа и конструкция нагнетателя – они обеспечивают подачу рабочего тела с заданным расходом  $Q_{PT}$  и напором  $H$ . В замкнутой автономной системе выделяется тепловой поток  $Q_{вн}$ , извне подводится тепловой поток  $Q_{нар}$ , сам объект излучает в окружающее пространство тепловой поток  $Q_{изл}$ . Тогда уравнение теплового баланса можно представить в виде формулы (4.2):

$$\sum_{i=1} m_i C_i dT_i = (Q_{нар} - Q_{вн}) dt - Q_{изл} dt, \quad (4.2)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го элемента,

$C_i$  – удельная теплоемкость  $i$ -го элемента,

$T_i$  – температура  $i$ -го элемента.

Стоит помнить о величине внутреннего теплового потока которая, за счет мощности в узлах агрегата и зависит от программы работы оборудования, энергоустановок и системы управления объектом. Самыми теплонагруженный объект – это радиоэлектронная аппаратура, элементы энергетических и двигательных установок, выделяющие наибольшее количество тепла.

Отвод тепла излучением от поверхности площадью  $F$ , степенью черноты  $\epsilon$  можно оценить в первом приближении по уравнению Стефана-Больцмана (4.3):

$$Q_{изл} = F \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4, \quad (4.3)$$

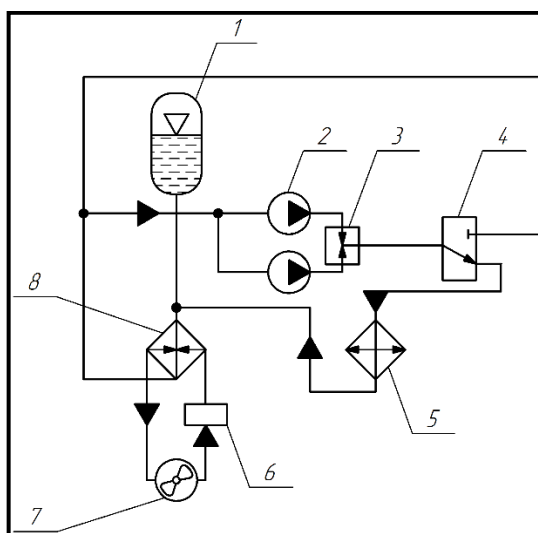
где  $\sigma$  – универсальная постоянная, равная  $5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>,

$T$  – температура излучаемой поверхности, К [13 ;14 ;15 ;17].

Способ охлаждения зависят от основных требований к СТР (точности поддержания температуры, экономичности и ресурса работы), при котором тепло отводится за пределы объекта с помощью газообразных или жидких теплоносителей. Заданный температурный режим поддерживается с помощью специальных агрегатов, которые регулируют перенос, сбор, перераспределение

и передачу тепла, а распределение тепловых потоков внутри объекта обеспечивается насосами, подающими по заданному контуру теплоноситель, или вентиляторами [13].

Обсудим основные параметры нагнетателей при работе газожидкостной СТР, схема которой представлена на рисунке 4.1.



1 – компенсационный бачок; 2 – насос; 3,4 – клапаны; 5 – радиатор-излучатель;  
6 – охлаждаемый прибор; 7 – вентилятор; 8 – теплообменник

Рисунок 4.1 – Принципиальная схема газожидкостной СТР

Центробежные насосы 2 дублируются и объединяются с клапаном перепуска 3 в единый корпус (гидроблок). При помощи насоса 2 жидкость подается в теплообменник, откуда уносится тепло, снятое с прибора 6. Тепло от прибора подводится в радиатор-излучатель 5 и сбрасывается в окружающее пространство. В системе отвода тепла из газового тракта работает вентилятор 7, подающий воздух через контейнер с прибора 6 на газожидкостный теплообменник 8. Расход жидкостей регулируется в системе с помощью датчиков, регуляторов и клапанов. Компенсационный бачок 1 служит для стабилизации объема жидкости в системе из-за ее теплового расширения. Расход

рабочего тела  $Q_{РТ}$  определяется по тактико-техническим характеристикам проектируемой системы, а также необходимый напор нагнетателя  $H$  и применяемый теплоноситель. Выбор теплоносителя производится с учетом эксплуатационных характеристик объекта.

Использование насосов и вентиляторов позволяет создать СТР с расходами рабочего тела  $Q_{РТ}$  у вентилятора до  $0,2 \text{ м}^3/\text{с}$  и у насоса до  $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ . Напор зависит от компоновки системы подачи, ее гидравлического сопротивления и определяется как приращение механической энергии единицы массы рабочего тела, проходящего через нагнетатель, рассчитываемое по формуле (4.4):

$$H = H_2 - H_1, \quad (4.4)$$

где  $H_2$ - полный напор на выходе из нагнетателя,  
 $H_1$  – напор на входе в нагнетатель.

Уравнение (4.5) представлено в виде статической  $\frac{P_2 - P_1}{\rho}$  и динамической  $\frac{C_2^2 - C_1^2}{2}$  составляющих величин напора [13 ;14]:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}, \quad (4.5)$$

Данную величину на входе в насос выбирают, исходя из необходимого кавитационного запаса по формуле:

$$P_1 = \Delta h_{зан} \rho + P_n - \frac{\rho C_1^2}{2} \geq P_{св\beta}, \quad (4.6)$$

Величину  $\Delta h_{зан}$  находят из условия обеспечения работы насоса без кавитации при любых заданных отклонениях параметров системы. Указанная величина представляет собой требуемое превышение напора на входе над

величиной удельной энергии жидкости, соответствующей давлению упругости насыщенных паров данной жидкости.

Величина давления на выходе определяется по формуле (4.7):

$$P_2 = P_1 + \Delta P_c, \quad (4.7)$$

где  $\Delta P_c$  – гидравлическое сопротивление замкнутой системы нагнетателя до его входного сечения, которое включает сумму сопротивлений всех элементов системы, кроме нагнетателя. Данную величину рассчитывают по формуле (4.8):

$$\Delta P_c = \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \quad (4.8)$$

Величину  $\Delta P_c$  стремятся получить минимальной, обеспечивая течение рабочего тела по контуру с малыми потерями, исключая по возможности регулируемую арматуру и участки с высокими сопротивлениями. Для нагнетателей газа (вентиляторов) величина  $\Delta P_c$  составляет 5 – 10 кг/м<sup>2</sup> (50 – 100 Па), для насосов – 0,05– 0,1 МПа.

Малые напоры малорасходных нагнетателей обуславливают и низкий уровень потребляемой мощности. Они рассчитываются по формуле (4.9):

$$N = \frac{Q_{РТ} \cdot \Delta P_c}{\eta_n}, \quad (4.9)$$

где  $\eta_n$  – КПД нагнетателя, значение которого изменяется в широких пределах от 0,3 до 0,6. Тогда величина потребляемой мощности в рассмотренной системе составит 5 – 100 Вт.

Общие требования к агрегатам проектируемой системы аналогичны и для нагнетателей. Для автономных нагнетателей устанавливаются специальные требования:

- высокая надежность в пределах установленного срока непрерывной работы с возможностью резервирования блоками;
- полная герметичность нагнетателя, привода и всей системы в целом, особенно при работе с высоким ресурсом, когда трудно, а порой и невозможно восполнить потери рабочей среды;
- высокий уровень гидравлических и энергетических параметров;
- минимальные габариты, либо осевые, либо радиальные;
- минимально возможная масса;
- технологичность и себестоимость, которые оцениваются в совокупности для всей проектируемой системы.

Можно сделать вывод о возможности применения различных типов нагнетателей жидкости, обеспечивающих заданные малые величины расходов и напоров, имеющих различный принцип действия и конструктивное оформление. На рисунке 4.2 представлены массовые характеристики двух видов ЭНА [13 ; 14].

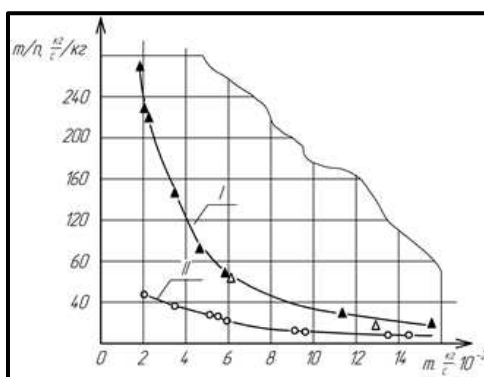


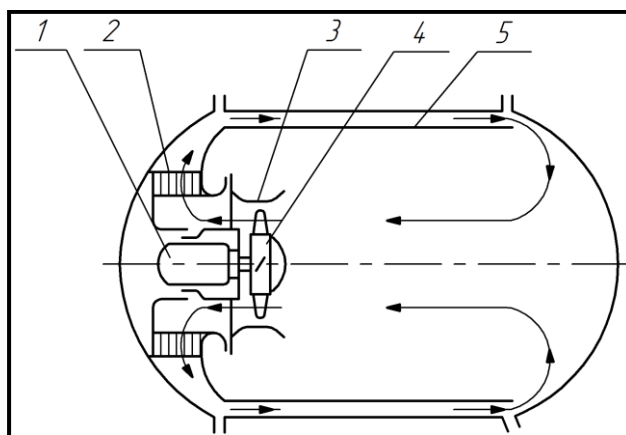
Рисунок 4.2 – Массовые характеристики объемных (I) и лопаточных (II) ЭНА

Осевые насосы-вентиляторы используются в автономных системах для нагнетания газа. Они обладают высокими эксплуатационными характеристиками в заданном диапазоне напора и расхода рабочего тела.

### 4.3 Малорасходные вентиляторы газа

Малорасходные вентиляторы газа находятся в системах кондиционирования и терморегулирования для обеспечения заданных режимов устройств, автономных систем, блок приборов и т. п. Для вентиляции орбитальной станции «Салют-6» применялись десятки различных маломощных вентиляторов с величиной напора в диапазоне 5 – 100 Па при расходе  $Q_{PT} = (1 - 20) \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$  и потребляемой мощностью 1,0 – 100 Вт.

Схема установки малорасходного вентилятора внутри ГК представлена на рисунке 4.3.



1 – электродвигатель; 2 – газожидкостный теплообменник; 3 – вентилятор;  
4 – крыльчатка; 5 – газовод

Рисунок 4.3 – Схема установки малорасходного вентилятора внутри гермоконтейнера

Вентиляторы с флюгерными лопастями отличаются от малорасходных уменьшенными габаритными размерами. При установке вентиляторов с флюгерными лопастями появляется возможность использовать лопасти резервного вентилятора в качестве направляющего (спрямляющего) агрегата и



расширяются возможности по регулированию характеристик за счет поворота лопастей на больший угол.

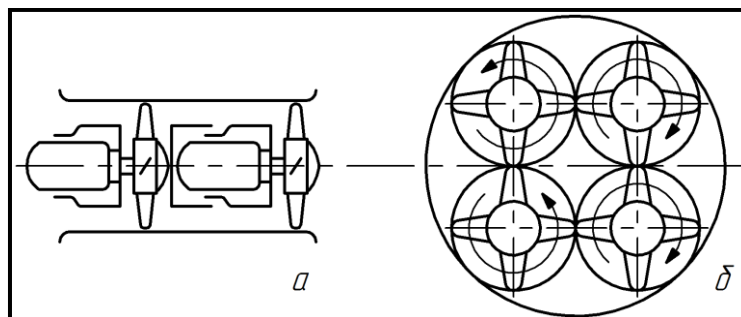
Устанавливая более двух вентиляторов вдоль общей оси выбирают ВММ со складывающимися лопастями, которые в сложенном положении освобождают проточную часть, не создавая при этом аэродинамического сопротивления. МВ последовательного типа с жестким креплением лопастей из-за высокого аэродинамического сопротивления, оказываемого резервным рабочим колесом, заменяют на малорасходные вентиляторы с шарнирными креплениями лопастей. Можно использовать конструкцию МВ с лопастями, выстреливающимися под действием центробежных сил из ступицы рабочего колеса в проточную часть по радиальному направлению.

Существующие малорасходные вентиляторы параллельного типа делятся на ВМ с закрывающимися стволами и открытыми отводами. Такие малорасходные вентиляторы нашли применение при совмещении всех вентиляторов. В случае отказа одного работают остальные (при этом резко ухудшаются суммарные аэродинамические характеристики ВМ). Срок непрерывной работы таких МВ достигает 110000 часов. МВ параллельного типа с закрывающимися отводами имеют осевые габариты и регулируют режим работы в зависимости от числа включаемых вентиляторов. В МВ со стволами, закрывающимися лопастями рабочей крыльчатки, применяются плоские профили без закрутки с низким КПД.

Перспективы развития получили малорасходные вентиляторы с параллельной компоновкой. Такие устройства позволяют многократно дублировать и регулировать входные параметры в процессе работы с минимальными осевыми размерами. Малорасходные вентиляторы делятся на устройства с аэродинамической заслонкой и с заслонкой, которая имеет в своем составе привод. Аэродинамическая заслонка шарнирно устанавливается между смежными стволами. Поток от включенного вентилятора переводит заслонку на

резервный и тем самым закрывает его. Устойчивость в работе заслонки обеспечивается при помощи специального канала.

Схемы резервирования представлены на рисунке 4.4.



а – последовательное резервирование; б – параллельное резервирование

Рисунок 4.4 – Схемы резервирования

Малорасходные вентиляторы с лопастями из сплава с эффектом «памяти» применяются при регулировании расхода газа в зависимости от его температуры [10; 13]. При повышении температуры окружающей среды, изменяются углы закрутки лопастей и установки профиля. При этом расход воздуха через вентилятор повышается, а энергопотребление, в свою очередь, оптимизируется в соответствии с расходом благодаря оптимальному аэродинамическому качеству лопасти при расчетном числе оборотов привода. С понижением температуры лопасти переходят в исходное состояние. В этом случае расход воздуха через вентилятор снижается и аэродинамическое качество лопастей остается высоким при меньшей нагрузке. Переходным значениям температуры соответствуют промежуточные геометрические характеристики лопастей, меняющиеся по линейному закону, который зависит от температуры. Можно сделать вывод, что лопасти рабочего колеса вентилятора из сплава, обладающего эффектом «памяти» повышают надежность и экономичность вентилятора при изменении температуры окружающей среды.

В МВ с муфтами, соединяющими электродвигатели с рабочими колесами при наличии свободного места вдоль оси (для осевого перемещения рабочего колеса примерно на половину его ширины), выполняется «холодное» резервирование без дополнительных опор.

#### **4.4 Выводы по главе 4**

1 Проанализированы требования на КА «SESAT», в котором малорасходный вентилятор газа проработал непрерывно 18 лет за счет подпитки смазкой.

2 Предложен критерий степени совершенства агрегатов Кк.

3 С учетом рассмотренных особенностей комплектующих СТР возможна их разработка на требуемый ресурс и обеспечение надежной работы в составе КА.

4 Представленная методика может использоваться в наземных условиях для обеспечения необходимой надежности агрегатов аналогичного назначения в технике, автономно работающей в экстремальных условиях, например, при предотвращении и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы над магистерской диссертацией все поставленные задачи выполнены:

- 1) исследованы основные типы систем терморегулирования КА;
- 2) проведен анализ основных комплектующих СТР (насосы, тепловые трубы, электрообогреватели, клапаны);
- 3) разработана методика определения надежности агрегатов при проектировании систем терморегулирования КА.

Панели-радиаторы со встроенными жидкостным контуром или ТТ предназначены для компактного размещения теплонапряженного оборудования или приборов. Встроенный жидкостный контур или ТТ обеспечивают отвод диссипативного тепла от оборудования в окружающее пространство.

Контурные тепловые трубы по многим характеристикам превосходят обычные ТТ. Важное преимущество - возможность отвода тепла на раскрывающиеся радиационные панели двустороннего излучения при использовании гибких участков магистралей и механизма раскрытия.

Приведены этапы отработки СТР в целом и входящих в ее состав агрегатов. Предложен критерий степени совершенства агрегатов Кк.

В ходе выполнения магистерской диссертации выявлено, что возможна разработка агрегатов СТР на требуемый ресурс и обеспечение надежной работы в составе КА с учетом их рассмотренных особенностей.

Практическая значимость заключается в использовании методики расчета надежной работы агрегатов при реализации технически сложных проектов освоения космоса.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ИСЗ – искусственный спутник Земли;
- БС – батарея солнечная;
- БУСТР – блок управления системы терморегулирования;
- ГК – герметичный контейнер;
- ГО – головной обтекатель;
- ГРТТ – газорегулируемая тепловая труба;
- ГСО – геостационарная орбита;
- ДУОС – двигательная установка ориентации и стабилизации;
- КА – космический аппарат;
- МВ – малорасходный вентилятор газа;
- МПН – модуль полезной нагрузки;
- МСС – модуль служебных систем;
- ОСО-С – оптический солнечный отражатель с серебром;
- ПО СТР - программное обеспечение системы терморегулирования;
- РКТ – ракетно-космическая техника;
- САС – срок активного существования;
- СОС – система ориентации и стабилизации;
- СТР – система терморегулирования;
- СЭП – система электропитания;
- ТРП – терморегулирующее покрытие;
- ТТ – тепловая труба;
- ЭВТИ – экранно-вакуумная тепловая изоляция;
- ЭНА – электронасосный агрегат;
- ЭО - электрообогреватель.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Чеботарев, В.Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения : учеб. пособие / В.Е. Чеботарев, В.Е. Косенко ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2011. – 488 с.
- 2 Туманов, А.В. Основы компоновки бортового оборудования космических аппаратов : учеб. пособие / А.В. Туманов, В.В. Зеленцов, Г.А. Щеглов. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 344 с.
- 3 Квасников, Л.А. Теория и расчет энергосиловых установок космических летательных аппаратов / Л.А. Квасников, Л.А. Латышев, Н.Н. Пономарев-Степной, Д.Д. Севрук, В.Б. Тихонов. – Изд. второе, перераб. и доп. – Москва: Изд-во МАИ, 2001. – 480 с.
- 4 Двирный, В.В., Крушенко Г.Г., Двирный Г.В., Шевчук А.А., Елфимова М.В., Кузнецова М.С. Особенности комплектующих систем терморегулирования космических аппаратов // Космические аппараты и технологии. 2019. Т. 3. № 1. С. 13-21. doi: 10.26732/2618-7957-2019-1-13-21
- 5 Паничкин, Н.И. Конструкция и проектирование космических летательных аппаратов / Н.И. Паничкин, Ю.В. Слепушкин, В.П. Шинкин, Н.А. Яцынин. – Москва : Машиностроение, 1986. – 344 с.
- 6 Гущин, В.Н. Основы устройства космических аппаратов / В.Н. Гущин. – Учебник для вузов. – Москва : Машиностроение, 2003. – 272 с.
- 7 Козлов, Д.И. Конструирование автоматических космических аппаратов / Д.И. Козлов, Г.П. Аншаков, В.Ф. Агарков / под ред. Д.И. Козлова. – Москва : Машиностроение, 1996. – 448 с.
- 8 Петровичев, М.А. Система энергоснабжения бортового комплекса космических аппаратов / М.А. Петровичев, А.С. Гуртов. – Учеб. пособие. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 88 с.
- 9 Серебряков, В.Н. Основы проектирования систем жизнеобеспечения экипажа космических летательных аппаратов / В.Н. Серебряков. – Москва :

Машиностроение, 1983. – 160 с.

10 Залетаев, В.М. Расчет теплообмена космического аппарата: учебник для вузов / В.М. Залетаев, Ю.В. Капинос, О.В. Сургучев. Москва: Машиностроение, 1979. - 175 с.

11 Инженерный справочник по космической технике. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Воениздат, 1977. - 430 с.

12 Исследование двухфазной системы терморегулирования с раскрываемыми холодильниками-излучателями спутников связи с повышенным тепловыделением / Е.В. Кривов // Вестник СибГАУ . 2013. №6. С.187-191.

13 Козлов, Л. В. Моделирование тепловых режимов КА и его окружающей среды: учебник для вузов / Л. В. Козлов [и др.]. - Москва: Машиностроение, 1971. - 382 с.

14 Логанов, А.А., Леканов, А.В., Двирный, В.В. Особенности обеспечения заданных характеристик электронасосного агрегата двухфазной системы терморегулирования / А.А. Логанов, А.В. Леканов, В.В. Двирный // Решетневские чтения : материалы XIV Междунар. науч. конф., (10-12 нояб. 2010, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. - Красноярск, 2010. - Ч. 1. - 364 е., С. 120-121.

15 Малоземов, В.В. Тепловой режим космических аппаратов / В.В. Малоземов.– Москва: Машиностроение, 1980. –185 с.

16 Малясов, А.А. Системы терморегулирования с двухфазным контуром для перспективных космических станций [Электронный ресурс] / А. Малясов // Молодежный научно-технический вестник, сентябрь 2013. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/619160.html>.

17 Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике : учебник / под ред. В. К. Кошкина. – Москва: Машиностроение, 1975. - 624 с.

18 Смородин, А.И, Меньщиков, И.Е., Гаранов, С.А. Система терморегулирования пилотируемого орбитального космического аппарата с парокомпрессионной холодильной машиной / А.И. Смородин, И.Е. Меньщиков,

С.А. Гаранов // Известия вузов.- Машиностроение . 2014. №11 (656). С.25-31.

19 Теплообменные аппараты холодильных установок / Данилова Г. Н. [и др.]; под ред. д.т.н. Даниловой Г.Н. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1986. - 303 с.

20 Фаворский, О. Н., Каданер, Я. С. Вопросы теплообмена в космосе / О.Н. Фаворский, Я.С. Каданер.– Москва: Высш. шк., 1967. - 141 с.

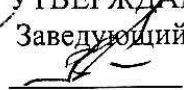
21 Двирный, В.В. Малорасходные автономные нагнетатели / В. В. Двирный, М. В. Краев. - Красноярск : Изд-во Краснояр. Ун-та, 1985. - 152 с. : ил.; 20 см. Нагнетатели центробежные

22 Чеботарев, В.Е. Гипертеплопроводящие структуры в космических аппаратах повышенной мощности и ресурса / В.Е. Чеботарев, А.А.Деревянко, Е.Н. Васильев, Д.А. Нестеров, В.Е. Косенко, В.Д. Звонарь, С.Б.Сунцов, Р.Ф. Фаткулин // Навигационные спутниковые системы, их роль и значение в жизни современного человека: Сб. трудов 2-й Международной научно-технической конференции. - Железногорск, 2012. - С. 91-93.



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт  
Межинститутская базовая кафедра  
«Прикладная физика и космические технологии»  
кафедра


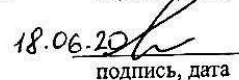


УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
  
В.Е. Косенко  
инициалы, фамилия  
подпись  
«25» 06 2020 г

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Особенности комплектующих систем терморегулирования  
космических аппаратов»  
тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
код и наименование направления подготовки

15.04.05.02 «Технология космических аппаратов»  
код и наименование программы

Научный руководитель	<u>18.06.20</u>  подпись, дата	профессор МБК ПФиКТ, д-р техн. наук, профессор должность, ученая степень	<u>В.В. Двирный</u> инициалы, фамилия
Выпускник	<u>18.06.20</u>  подпись, дата		<u>М.С. Кузнецова</u> инициалы, фамилия
Рецензент	<u>18.06.20</u>  подпись, дата	начальник сектора АО «ИСС», д-р тех. наук должность, ученая степень	<u>В.А. Смирнов</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	<u>15.06.20</u>  подпись, дата	профессор МБК ПФиКТ, д-р техн. наук, доцент	<u>В.Е. Чеботарев</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2020 г.