

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Факультет «Высшей школы электроники и компьютерных
наук» Кафедра «Конструирование и производство
радиоаппаратуры»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

_____ С.Е. Кожевников
_____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ Н.И. Войтович
_____ 2017 г.

Исследование и проектирование прибора с повышенным тепловыделением
внутри корпуса

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-11.04.03.2017.061.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы
Инженер-конструктор 2
категории АО «ГРЦ Макеева»
_____ А.Н. Кузнецова
_____ 2017 г.

Автор работы
Студент группы КЭ-273
_____ Е.М. Мишин
_____ 2017 г.

Нормоконтролёр
Инженер-конструктор 3
категории АО «ГРЦ Макеева»
_____ И.В. Алексеева
_____ 2017 г.

Челябинск 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 Изучение литературы	
1.1 Обеспечение оптимальных тепловых режимов ЭС.....	9
1.2 Виды теплопередачи.....	11
1.3 Естественное воздушное охлаждение	14
1.4 Принудительное воздушное охлаждение.....	15
1.5 Естественное жидкостное охлаждение.....	17
2 Анализ задания и поиск решения	
2.1 Основные требования и исходные данные.....	18
2.2 Задачи исследования.....	19
2.3 Описание текущей ситуации на рынке	19
2.4 Выбор способа охлаждения.....	22
3 Подбор материалов элементов прибора	
3.1 Подбор материалов	25
3.2 Войлок «мокрый».....	26
3.3 Кремнеземная ткань	28
3.4 Пенофол.....	30
3.5 Композитные материалы	
3.5.1 Общая информация по композиционным материалам	32
3.5.2 Углепластики.....	33
3.5.3 Органопластики.....	35
3.6 Магниевые сплавы.....	38

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Лист

6

3.7	Связующий материал.....	41
4	Исследование материалов и конструктивных решений исполнения корпуса прибора	
4.1	Инструменты для разработки конструкции корпуса прибора.....	42
4.2	Разработка конструкции элементов прибора	42
4.3	Механизм теплового расчета	
4.3.1	Загрузка моделей элементов корпуса в SolidWorks.....	52
4.3.2	Сборка и оптимизация геометрии рабочей модели.....	53
4.3.3	Задание сетки разбиения модели	54
4.3.4	Задание материалов элементов корпуса.....	54
4.3.5	Определение переходного процесса в анализе	55
4.3.6	Задание температурных воздействий.....	56
4.3.7	Запуск анализа на решение.....	58
4.3.8	Анализ результатов решения.....	59
4	Расчет массы конечного варианта исполнения корпуса.....	65
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	66
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	67
	ПРИЛОЖЕНИЯ	
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. Спецификация 211000.2017.061.00.00.....	69
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Спецификация 211000.2017.061.10.00.....	76
	ПРИЛОЖЕНИЕ В. Изображение модели прибора.....	77

ВВЕДЕНИЕ

Современная электроника требует общее улучшение свойств, и в частности уменьшения массогабаритных характеристик устройств. Это побуждает конструкторов искать и применять новые технические решения, нестандартные материалы и т.д. Военная отрасль, так же, как и большинство других - развивается. Стремится к усовершенствованию старых и поиску новых конструкторских решений, уделяя при этом большое внимание надежности.

Возникла необходимость разработки корпуса РЭС. Внутри корпуса находится печатный узел, рядом с которым расположен мощный источник тепла. Необходимо обеспечить корректную работу устройства. Это будет достигнуто, путем применения различных материалов в корпусе устройства. Т.к. требования предъявленные заказчиком к прибору, устанавливают совместное размещение тепловыделяющего элемента и печатного узла в одном корпусе. Встает задача не допустить перегрева печатных плат, и изолировать отсеки корпуса друг от друга.

В ходе выполнения работы, будет спроектирован корпус прибора, осуществлен подбор оптимальных материалов для теплоизоляции двух источников повышенного тепловыделения. Проведен анализ применения магниевых сплавов, пластмасс для изготовления корпуса прибора. Приняты меры по обеспечению герметизации и заземления корпуса.

1 Изучение литературы

1.1 Обеспечение оптимальных тепловых режимов ЭС

Температурное поле электронных средств определяется из значений температур ее элементов, и также температур в различных областях прибора: на печатном узле, поверхности стенок, крышке и т. п. Совокупность значений этих температур определяет тепловой режим электронного средства. В исследованиях целесообразно ограничить количество точек (областей), значение температур в которых достаточно полно отражает тепловой режим прибора в целом.

Принято различать внутренние и внешние тепловые воздействия на ЭС. Внешние тепловые воздействия, зависят от условий эксплуатации, внутренние, в основном — зависят от мощности, рассеиваемой элементами.

Требования к современным техническим устройствам ЭС различных назначений побуждает конструкторов уменьшать его габариты и увеличивать удельные мощности рассеивания, т. е. мощности, приходящиеся на единицу поверхности или объема ЭС. Так одним из ключевых направлений в конструировании ЭС стала комплексная микроминиатюризация, это приводит к еще большему увеличению удельной мощности рассеивания. Соответственно защита ЭС от тепловых воздействий становится одним из основных вопросов по обеспечению ее надежности. В моей задаче главным источником — является внутреннее тепловое воздействие и температура окружающей среды [1].

ЭРЭ и микросхемы могут корректно функционировать только в узком температурном диапазоне. Даже небольшое температурное отклонение от нормального режима работы способно вызвать необратимые структурные изменения компонентов. Кроме этого, повышенная температура ускоряет процесс коррозии в конструкции и проводниках, может снизить в материалах диэлектрические свойства. В случае с пониженными температурами у материалов увеличивается хрупкость, твердеют и трескаются резиновые детали. При разности в коэффициентах линейного расширения у материалов может

произойти разрушение залитых компаундами конструкций и, как следствие, изменение посадок, нарушение в соединениях, ослабление в креплениях и др.

Нормальным температурным режимом называется режим, который при колебании в определенных пределах внешних температурных воздействий обеспечивает изменение параметров и характеристик конструкции, материалов, компонентов в пределах, указанных в технических условиях на них. Функционирование в течении длительного времени и хорошая надежность у изделия будут обеспечены, когда температура среды внутри устройства будет «нормальной» в диапазоне 20...25 °С. Но необходимо учитывать, что изменение температурных значений относительно нормальной внутри ЭА в большую или меньшую сторону способно уменьшить время общего срока службы у аппаратуры. Если обеспечить нормальный тепловой режим прибора, это зачастую вызывает усложнение конструкции, внесению дополнительного оборудования, увеличению массогабаритных характеристик, затратам на питание устройства. В случае, когда работоспособность прибора зависит от низких температур, необходим нагрев в течение какого-то времени помещения с совместным включением аппаратуры для её подогрева. Для этого хорошо подходят электрические нагревательные элементы, они устанавливаются в случаях со стационарной аппаратурой в помещении, а у транспортируемой — встраиваются в их конструкцию. Если внутри прибора происходит интенсивный нагрев холодного воздуха происходит конденсация вод на холодных поверхностях. Это происходит, пока не закончит оседать вся (избыточная) влага в воздухе. Дальнейший нагрев приводит к нагреву конструкции с испарением влаги. В случаях, когда нагрев происходит медленно конденсация не происходит. После установления в приборе нормальной температуры, возможна его корректная эксплуатация.

1.2 Виды теплопередачи

В большинстве случаев конструктору предстоит решить задачу по удалению избыточного тепла из-за саморазогрева аппаратуры. Внутри прибора через тепловое излучение, теплопроводность и конвекцию происходит передача тепла. Она протекает от одного элемента к другим и к стенкам корпуса. В каждом конкретном исполнении прибора тот или иной способ теплопередачи имеет наибольшее влияние на общий температурный «фон». Рассмотрим их более подробно.

Коэффициенты, определяющие теплообмен лучеиспусканием, конвекцией и кондукцией, зависят от температуры, и поэтому решение вопроса об установившейся температуре прибора становится сравнительно сложной задачей, определяемой методами математическими методами в специализированных программных пакетах.

Кондукция - это процесс обмена тепловой энергией между находящимися в соприкосновении телами и частями тел, обусловленный взаимодействием молекул и атомов этих тел. Пример распространения тепла см. на рисунке 1.

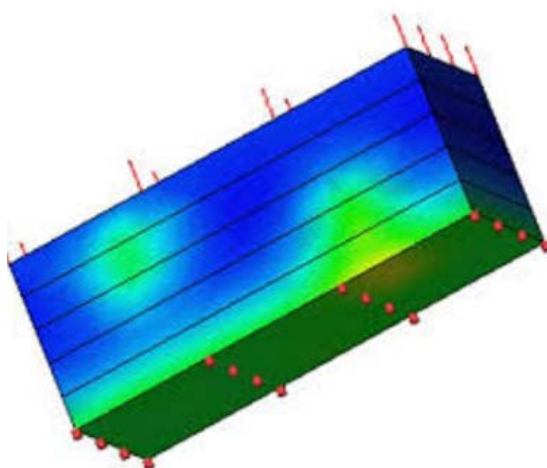


Рисунок 1 – Распространение тепла в теле

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Конвективный теплообмен - конвекцией называется перенос энергии макрочастицами газа или жидкости. Конвекция может быть естественной (в результате действия сил тяготения) и вынужденной (за счёт действия агрегатов, создающих перемещение газа или жидкости). Перенос тепла излучением происходит посредством электромагнитных волн. Конвективное движение воздуха рисунок 2 [2].

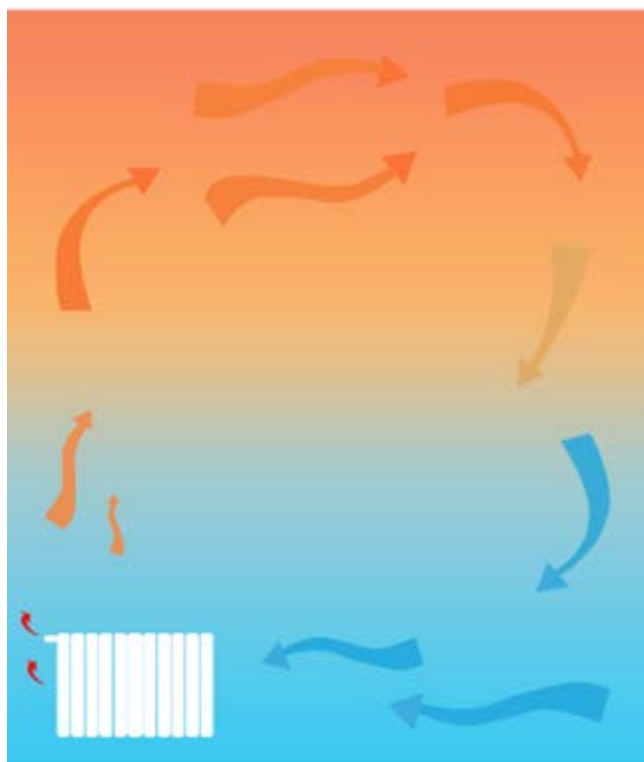


Рисунок 2 – Конвективное перемещение воздуха

Тепловое излучение – процесс переноса теплоты в пространстве посредством электромагнитных волн. Преобразование энергии при этом происходит дважды.

Сначала энергия движения молекул за счет тепла переходит в энергию электромагнитного излучения. Далее другое тело поглощает электромагнитное излучение и переводит излучение в энергию движения молекул за счет тепла. Воздух при этом практически не нагревается [3].

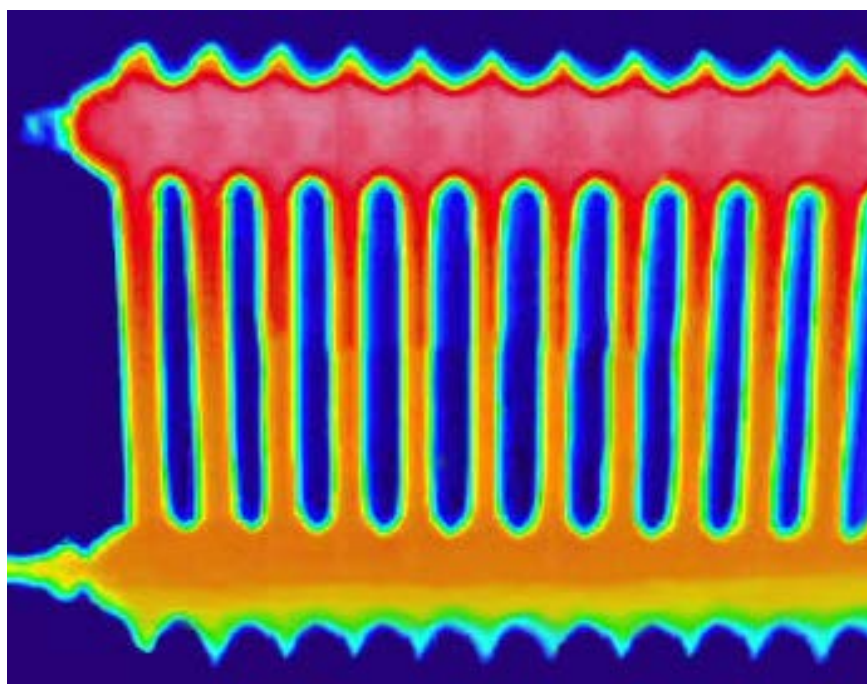


Рисунок 3 – Тепловое излучение

Тепловое излучение может подводить тепло в глубину материала, а не к его поверхности благодаря способности проникновения электромагнитными волнами в определенном диапазоне их длин. Перенос тепла осуществляется волнами с длиной 0,6–104 мкм. Это диапазон включает: красный, инфракрасный и сверхвысокочастотный (СВЧ) спектр радиоволнового излучения, см. рисунок 3

При температурах выше 600°C интенсивность теплового излучения резко возрастает. Такое излучение начинает преобладать над другими способами переноса тепла между телами или поверхностями.

Если за какую-то величину времени, в теле выделилось больше теплоты, чем оно может рассеять, в окружающую среду, то это тепло переходит в нагрев элементов его конструкции. Это может в начале привести к некорректной работе устройства, и как итог – к полному отказу прибора. Что является недопустимым, особенно в военной отрасли.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Важность обеспечения нормального теплового режима для всех элементов конструкции обусловлена тем, что увеличение тепловой нагрузки на РЭС, как правило, приводит к значительному снижению надежности работы устройства.

Следует отметить, что в моей работе исследуется нестационарный режим – режим, при котором нагрев и остывание элементов происходят постепенно и в окружающую среду отдается тепловая энергия.

В случае с конвективным отводом тепла от РЭС применяются теплоносители с разными фазовыми состояниями. Их перемещение протекает благодаря принудительным или естественным процессам. По этим признакам способы охлаждения РЭС можно выделить следующие основные классы: принудительное охлаждение, газовое (воздушное), жидкостное или испарительное естественное [4].

1.3 Естественное воздушное охлаждение

Наиболее простым может считаться естественное воздушное охлаждение. Это надежный и дешевый способ охлаждения РЭС, не требующий затрат на дополнительную энергию. Но следует учитывать, что интенсивность у такой формы охлаждения мала. Используется в аппаратуре с плотностью тепловых потоков от охлаждаемой поверхности около $0,05 \text{ Вт}\cdot\text{см}^2$. Во время естественного воздушного охлаждения конвективные массы воздуха перемещаются благодаря тепловой энергии, тепловой обмен происходит между воздухом элементами РЭС. Принято различать две схемы при естественном воздушном охлаждении - это герметичный или перфорированный корпус. В первом случае, герметичный (или пылезащищенный) корпус обеспечивает конвективный теплообмен между элементами РЭС и воздухом внутри прибора, далее от воздуха на корпус, и уже между корпусом и

окружающей средой. Когда кожух корпуса имеет перфорации между элементами РЭА и окружающей средой происходит конвективный теплообмен в основном с помощью воздуха, который проникает через отверстия [5].

1.4 Принудительное воздушное охлаждение

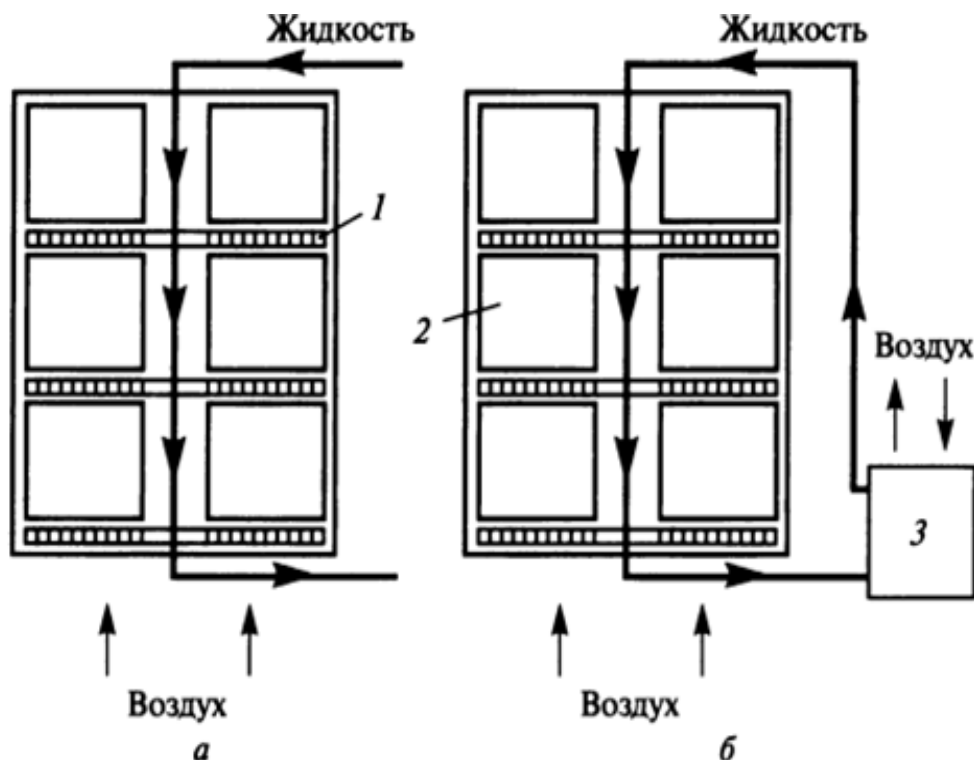
Воздушное охлаждение протекающее принудительным путем имеет наибольшее применение при проектировании подобных устройств, т.к. при небольшой цене и сравнительной простоте способно обеспечить требуемый тепловой режим, даже при больших мощностях рассеивания. По некоторым данным, величина выпускаемой аппаратуры, использующей такой способ охлаждения доходит до 6 %. Как правило используется в аппаратуре с тепловыделением не более 5 Вт·см². Определяют три основные схемы принудительного воздушного охлаждения: внутреннее перемешивание (вентилятор установлен внутри герметичного кожуха), наружный обдув (обдувается герметичный кожух) и продувка (воздух из окружающей среды или предварительно охлажденный пропускается через специальные каналы и охлаждает непосредственно элементы РЭС). Последняя схема применяется наиболее широко.

Удаляемый из аппаратуры теплый воздух поступает в помещение, из которого может выводиться двумя путями - выбрасывается в атмосферу либо поступает на рециркуляцию в общую систему кондиционирования. Повышенная запыленность аппаратуры, появление вибраций в результате работы вентиляторов, неравномерность распределения охлаждающего воздуха являются недостатками рассмотренного способа охлаждения [1].

Системы кондиционирования и воздуховодов, имеют значительные сложности при перепланировке технических средств и установке нового

оборудования. Водовоздушную систему охлаждения можно рекомендовать для изделий с высокими плотностями компоновки элементов. Отвод теплоты от блоков 2 (рис. 4) осуществляется поступающим в стойку от автономных вентиляторов или центрального кондиционера воздухом и жидким хладагентом, протекающим по трубкам к охладителям 1. Охладитель может быть выполнен в виде системы горизонтально ориентированных параллельно проходящих трубок, расположенных под каждым блоком. Или совмещенные охладитель и направляющие ТЭЗ блоков в единой конструкции, что позволит получить два пути передачи теплоты: ТЭЗ — воздух — жидкость и ТЭЗ — охладитель — жидкость. По второму пути теплота от ТЭЗ к охладителю передается кондукцией. Эту систему охлаждения можно применять в герметизируемых стойках. Для эффективного перемешивания воздуха и быстрой передачи теплоты охлаждающей жидкости в стойку вводится вентилятор.

Проточная система охлаждения, см. рисунок 4а, конструктивно проста, но требует большого расхода жидкого хладагента. Введение в систему теплообменника, см. рисунок 4б, в котором происходит охлаждение жидкости, позволяет получить замкнутую систему охлаждения и снизить расход хладагента. В зависимости от особенностей объекта эксплуатации используются теплообменники типа жидкость — воздух и жидкость — жидкость.



Проточная (а) и одноконтурная замкнутая (б) водовоздушные системы охлаждения:

1 — охладитель; 2 — охлаждаемый блок; 3 — теплообменник

Рисунок 4 – Воздушная система охлаждения

1.5 Естественное жидкостное охлаждение

Естественное жидкостное охлаждение платы с элементами или отдельных элементов заключается в погружении их в бак с определенной жидкостью. Такой вариант применяется редко, так как усложняется конструкция и требуются специальные изолирующие покрытия. Изменяя расход жидкости через теплообменник, регулируется температура воздуха в аппаратуре.

С увеличением плотности компоновки ЭА большая часть теплоты удаляется кондукцией. Для улучшения условий отвода теплоты от тепловыде-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ляющих элементов в конструкции применяют тепловые разъемы, теплоотводящие шины, печатные платы на металлической основе и т. д.

2 Анализ задания и поиск решения

2.1 Основные требования и исходные данные

Далее приведен перечень требований из технического задания:

- задана схема электрическая принципиальная;
- температура внутри отсека с печатными узлами от 6 до 60°C;
- температура окружающей среды от 6 до 26,5°C;
- относительная влажность воздуха не более 40% во всем диапазоне температур;
- максимальная температура корпуса химического источника тока (ХИТ) 250°C;
- габаритные размеры прибора не более 160x280x90 мм;
- масса прибора не более 5 кг;
- прибор должен быть герметичным;
- должна быть обеспечена металлизация корпуса прибора в соответствии с ГОСТ 19005-81.

Основными пунктами задания можно выделить поддержание определенной температуры внутри корпуса и его герметичность. Для этого необходимо рассмотреть ряд материалов, из которых будет состоять корпус прибора, определиться с возможными вариантами охлаждения. Принять необходимые меры по обеспечению герметичности. Так же корпус должен быть изготовлен либо из токопроводящего материала, либо иметь токопроводящее покрытие. При этом конечная масса всего прибора должна быть менее 5 кг. При выборе способа охлаждения прибора учитываются его режим работы, конструктивное исполнение и размеры, потенциальная величина рассеиваемой мощности, объект установки, окружающая среда.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Лист

18

2.2 Задачи исследования

Задачами исследования является:

- анализ конструктивного исполнения прибора с источниками повышенного тепловыделения внутри корпуса;
- исследование и анализ тепловых режимов прибора при различных вариантах материалов корпуса и теплозащиты;
- выбор варианта конструктивного исполнения прибора после проведения анализа;
- подбор материалов корпуса таких, чтобы они соответствовали требованиям ТЗ и обеспечили корректную работу устройства.

2.3 Описание текущей ситуации на рынке

Т.к. устройство само по себе уникально в его конструкции заложены определенные требования по температуре, герметичности и др.– встает вопрос о поиске готового корпуса.

Корпуса представленные на рынке обладают лишь частью необходимых параметров, в частности корпуса из пластмасс не обеспечивают необходимую потенциальную теплозащиту внутри корпуса.

Значения рабочих температур корпуса колеблются в среднем от -55 °С до +100 °С.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Лист

19



Рисунок 5 – Корпус «Gainta»

Корпуса из металлов не подходят по требованиям ТЗ, а так же имеют потенциально излишний вес в конечном исполнении. Внешний вид корпуса изображен на рисунке 5.

Таблица 1– Основные технические характеристики корпусов «Gainta»

Материал	сталь с полиэфирным покрытием (RAL7035), нержавеющая сталь AISI304 или AISI316L
Рабочая температура:	
Окрашенная сталь	от -55 до +85 °С
Нержавеющая сталь	от -55 до +160°С
Типы защиты:	
Взрывозащита	Ex e & ExtD группа II, категория оборудования 2, (Gb) зона 1 группа III, (Db) зона 21, IP66/67 или IP66
Искрозащита	Ex -ia группа II, категория оборудования 1, (Ga) зона 0, ПС

Корпус должен быть герметичен и легок, что так же значительно сужает спектр предложенных готовых исполнений в продаже, см. рисунок 6. Дополнительно внутренним поверхностям корпуса, необходимо быть металлизированными [6].

В конечном итоге корпуса, который мог бы удовлетворить всем требованиям – нет. А если учитывать, что в дальнейшем конструкция прибора может претерпеть усовершенствования, то на сегодняшний день целесообразнее разработка собственного корпуса, с возможностью его дальнейших улучшений и изменений [7].



Рисунок 6 – Готовые исполнения корпусов в продаже

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Был проведен поиск готовых корпусов, но они не обладают необходимыми свойствами. Вследствие этого, форма, материалы и параметры корпуса будут подбираться, и разрабатываться самостоятельно.

2.4 Выбор способа охлаждения

Как уже упоминалось ранее, при выборе способа охлаждения ЭА учитываются ее режим работы, конструктивное исполнение, потенциальная величина рассеиваемой мощности, объект установки, массогабаритные характеристики и окружающая среда.

Режим работы аппаратуры бывает длительным, кратковременным, кратковременно-повторным и характеризуется длительностями включенного и выключенного состояний. Длительный режим свойственен стационарной аппаратуре, которая находится во включенном состоянии в продолжении многих часов, кратковременный — бортовой, время работы которой мало и исчисляется несколькими минутами или часами. С большой вероятностью можно утверждать, что при проектировании сложной аппаратуры с длительным временем включенного состояния возникнет необходимость в разработке принудительной системы охлаждения (СО). Для аппаратуры разового использования с кратковременным режимом работы возможно обойтись без принудительной СО. Решение о разработке СО для аппаратуры кратковременно-повторного режима работы принимается лишь после анализа длительностей включенного-выключенного состояний и характера ее перегрева и охлаждения.

Переносная ЭА в силу малых рассеиваемых мощностей принудительной СО не снабжается. В сложной аппаратуре необходимо использовать принудительную воздушную или водовоздушную СО. Водовоздушной СО снабжаются, например, ЭВМ в герметичном исполнении [1].

Отсутствие на объекте достаточного количества воздуха или жидкости заставляет конструктора предусмотреть отвод теплоты на холодные массивные элементы несущих конструкций кондукцией. Если на объекте не окажется источников электропитания с требуемыми напряжениями и мощностями, возникает необходимость во введении в конструкцию источников питания СО, что, несомненно, ухудшит основные конструктивные параметры охлаждаемой ЭА.

Критерии, определяющие способ охлаждения:

- прибор имеет кратковременный режим работы;
- масса прибора не должна превышать 5 кг;
- строго заданный предел габаритов прибора;
- прибор должен быть герметичен;
- температура внутри прибора (в начальный момент времени его работы) равна температуре окружающей среды (от 6 до 26,5 градусов Цельсия);
- максимальное значение температуры элементов прибора кратковременно достигает значения в 250 градусов Цельсия.

Общий вывод: несмотря на все положительные стороны принудительного охлаждения, его применение в конструкции проектируемого прибора невозможно. Т.к. установлены жесткие требования по массогабаритным параметрам, а также имеется практическая невозможность организации подобных систем в корпусе, кроме этого устройство имеет кратковременный срок эксплуатации и должно быть герметично. Будет применено охлаждение путем естественной конвекции. Ранее рассматривался вариант с перфорациями в корпусе устройства, этот вариант не подходит т.к. не обеспечивает герметичность и усложняет конструкцию.

На данном этапе применен ряд решений, позволяющих удерживать температуру печатных плат устройства в допустимом рабочем диапазоне, такие как:

- вставка из меди, выступающая в роли теплоотводящей поверхности;
- кассета из специального материала, в которую помещены тепловыделяющие батареи;
- перегородка, заполненная теплоизоляционным материалом, между отсеком с тепловыделяющими батареями и отсеком с печатными платами (ПП);
- нанесение фольги на поверхность химического источника тока.

Все эти меры должны с запасом обеспечить требования технического задания и не допустить перегрева ПП.

Так же проведен первичный подбор материалов корпуса и входящих в него элементов. Далее последует более детальное изучение материалов по их температурным свойствам. После этого будет проведено моделирование температурных воздействий внутри корпуса прибора. И на основании полученных результатов, будут подобраны оптимальные материалы и конструктивные решения в исполнении корпуса.

3 Подбор материалов прибора

3.1 Подбор материалов прибора

Как упоминалось ранее, необходимо провести подбор оптимальных материалов, для теплоизоляции элементов устройства. Определение

целесообразности применения магниевых сплавов, пластмасс для изготовления корпуса прибора.

В ходе анализа технических требований были выделены основные характеристики материалов: диапазон их рабочих температур, значение коэффициента теплопроводности, удельная теплоемкость, массовая плотность, Его потенциальный вес. На сегодняшний день предприятие уже имеет опыт работы с рядом материалов, часть из которых удовлетворяет требованиям указанным выше. Это такие материалы как: войлок «мокрый», кремнеземная ткань, пенофол. В ходе анализа литературы и прочих источников, были рассмотрены такие материалах как – текстолиты, композитные материалы (органопластики, углепластики), магниевые сплавы. Дальнейший анализ, позволит оценить степень эффективности всех найденных материалов, при решении поставленной задачи в соответствии с требованиями ТЗ. И определить целесообразность применения каждого конкретного материала.

3.2 Войлок «мокрый»

Это рулонный волокнистый материал, пропитанный связующим веществом, см. рисунок 7. Изготавливается на основе муллитокремнеземистого волокна и неорганического связующего [8].

В зависимости от концентрации и количества связующего, а так же степени уплотнения при монтаже во влажном состоянии, войлок после высушивания в естественных условиях приобретает форму изолируемой поверхности, в которую он помещен [9].

Войлок «мокрый» поставляется во влажном состоянии в герметичной упаковке. Далее помещается в необходимый объём и высохнув - заполняет его.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Свойства мокрого войлока:

- изделия в виде мокрого «войлока» удобны и эффективны при высокотемпературной изоляции элементов оборудования сложной конфигурации и криволинейных поверхностей, заделки швов;
- "мокрый" войлок легко поддается раскрою;
- транспортируется в любое время года;
- высокая огнеупорность с температурой применения $1200\div 1350^{\circ}\text{C}$;
- высокая термостойкость позволяет выдерживать резкие перепады температур без разрушений;
- пластичность и гибкость материала в исходном состоянии позволяет производить теплоизоляцию практически любых конструкций с кривыми поверхностями. После сушки смонтированная теплозащита приобретает жесткость, сохраняя сложную форму базовой поверхности;

Таблица 2 – Параметры для теплового анализа материала «мокрый войлок»

Рабочие температуры, $^{\circ}\text{C}$	1200-1350
Теплопроводность, Вт /м·К	0.24-0.30
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	1700
Массовая плотность, кг·м ³	350-420



Рисунок 7 – Мокрый войлок

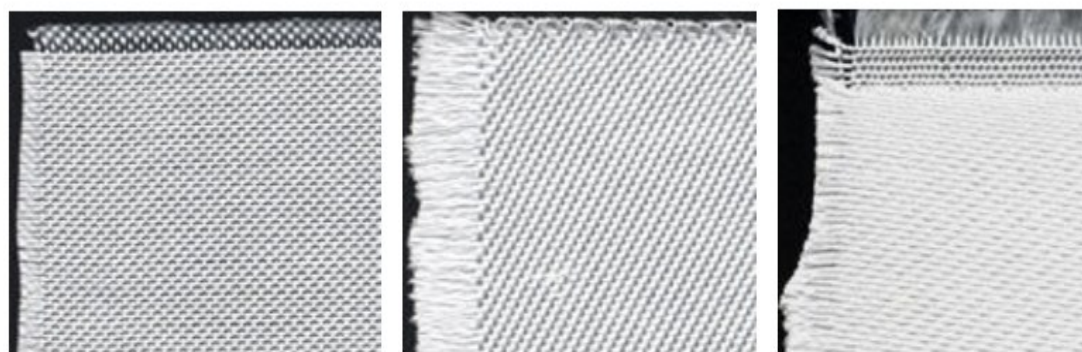
Таблица 3 – Характеристики мокрого войлока

Показатели	Марка изделий		
	ВР-300	ВР-350	ВР400
Плотность, кг/м ³	320	370	420
Предельная температура применения, °С	1200		
600 °С	0.16	0.18	0.17
800 °С	0.22	0.23	0.22
1000 °С	0.29	0.32	0.30
Линейная усадка при 1273 К, %	1.5 (не более)		
Ширина;	500-600		
длина;	500-2000		
толщина, мм	3-250		

Как видно из таблицы 2 и таблицы 3, параметры материала, позволяют использовать его в решении поставленной задачи. Его можно использовать в качестве изоляции между отсеками или в качестве кассеты для тепловыделяющих элементов. Благодаря своим свойствам можно изготовить кассету по форме тепловыделяющих элементов, находящихся в первом отсеке.

3.3 Кремнеземная ткань.

Применяется в качестве высокотемпературной изоляции, теплозащиты и электроизоляции для различных отраслей техники, а именно: для огнеупорных подложек, прокладок и покрывал, защищающих от брызг расплавленного металла и ядерного излучения, в качестве наполнителя для композиционных материалов. Кремнеземная ткань используется в качестве теплозащитного слоя в промышленном оборудовании, как теплоизолирующий слой огнезащитной одежды, в противопожарных конструкциях и т.д. [10].



КТ-11

КТ-11-С8/3

КТ-11-С12/5

Рисунок 8 – Кремнеземная ткань

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Термостойкая кремнезёмная ткань производится по средству переплетения кремнеземных нитей, см. рисунок 8. При этом количество ниток на площадь полотна одно: в основе — 9 штук на см². Представляет собой экологически чистую, многофункциональную, термозащитную ткань на основе кремнеземных волокон, содержит 97-99% кремния [11].

Кремнеземные ткани КТ-11 характеризуются низкой теплопроводностью, высокой стойкостью к тепловым ударам, является превосходным электроизолятором при повышенных температурах, длительно эксплуатируются без изменений своих свойств при температуре 1000-1200°С и кратковременно при температурах до 1700°С.

Термостойкие кремнеземные ткани обладают инертностью к большинству химических реагентов, устойчивы к влиянию органических и минеральных кислот любых концентраций (исключением являются соляная, плавиковая, фосфорная) и слабым щелочам расплавленных металлов (исключениями являются Mg, Si, Na) и сплавам.

Таблица 4 – Технические характеристики кремнеземной ткани КТ-11

Параметр	Величина
Толщина, мм	0,3
Ширина, см	88
Рабочая температура, °С	1100-1200
Линейная усадка, %, не более	7-8
Диаметр волокна, мкм	6-9
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	при 600°С - 0,16
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	700
Плотность, кг/м ³	130 ±10%

Материал также является очень качественным диэлектриком. КТ-11-30К используется в качестве основы при создании огнеупорных матов, покрывал, прокладок. Благодаря теплоизоляционным и диэлектрическим свойствам, см. таблицу 4, материала он также часто используется для прокладки проводов, которые эксплуатируются при высоких температурах окружающей среды. Кремнеземная ткань в отличие от «мокрого войлока» требует дополнительных мер по приданию ей формы предмета, вокруг которого она будет расположена.

3.4 Пенофол

Это слой полиэтилена (вспененного и самозатухающего) с закрытыми воздушными порами, с одной или двух сторон покрытый алюминием высокого качества, толщиной 14 мкм и чистотой 99,4%. Обладает паро-, гидро-, ветро-, теплоизоляционными свойствами. Материал тонкий, гибкий, легкий и экологически чистый [11]. Работа отражающей изоляции «Пенофол» основана на высокой теплоотражающей способности алюминия, являясь тем самым уникальным продуктом, который останавливает тепло на всех трех путях его распространения от «горячего» тела к «холодному». Замкнутая система пузырьков воздуха предотвращает проникновение водяного пара, что позволяет использовать «ПЕНОФОЛ» в качестве теплоизоляции, см. рисунок 9.



Рисунок 9 – Пенофол

Таблица 5 – Технические характеристики «Пенофол»

Характеристики	Типы "Пенофола"		
	тип А	тип В	тип С
Применим при температуре, °С	от - 60 °С до +250 °С		
Коэффициент теплового отражения поверхности, не менее, %	95-97		
Массовая плотность, кг·м ³	30-35		
Коэффициент теплопроводности, Вт /м·К	0.040	0.045	0.46
Удельная теплоемкость, КДж / кг·°С	1.95		

Пенофол обладает хорошими показателями по отражению тепла. Так же имеет достаточно малую толщину [12]. Из таблицы 5 видно, что он подходит в качестве теплового экрана между отсеками с двумя тепловыделяющими элементами и отсекам с печатными платами. Благодаря своим свойствам он не даст теплу пройти через стенки и отразит его обратно, одновременно с этим тепло будет отводиться на единственную оптимальную для него поверхность –

медный отвод. Который прилегает к кассете с химическим источником тока. [13], [14].

3.5.1 Общая информация по композиционным материалам.

Композиционные материалы (композиты). Многокомпонентные материалы, состоящие (как правило) из пластичной основы (матрицы), армированной наполнителями, обладающими жесткостью и высокой прочностью, температуростойкостью и др. Сочетание разнородных веществ приводит к созданию нового материала, свойства которого количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих. Варьируя состав матрицы и наполнителя, ориентацию наполнителя их соотношение, получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств. Многие композиты превосходят традиционные материалы и сплавы по своим механическим свойствам и в то же время они легче. Использование композитов обычно позволяет уменьшить массу конструкции при сохранении или улучшении ее механических характеристик.

Полимерные композиционные материалы. Композиты, в которых матрицей служит полимерный материал, являются одним из самых многочисленных и разнообразных видов материалов. Их применение в различных областях дает значительный экономический эффект [17].

Компонентами композитов являются самые разнообразные материалы – пластмассы, металлы, керамика, стекла, углерод и т.п. Известны многокомпонентные композиционные материалы – полиматричные, когда в одном материале сочетают несколько матриц, или гибридные, включающие в себя разные наполнители. Наполнитель определяет прочность, жесткость и деформируемость материала, а матрица обеспечивает монолитность материала,

передачу напряжения в наполнителе и стойкость к различным внешним воздействиям.

Композиты сравнительно новый материал. Они подходят в качестве материала, из которого можно сделать теплоизоляционный чехол для тепловыделяющих элементов (ХИТ) первого отсека. В таком случае максимальное количество тепла останется внутри чехла и будет поддерживать работу химических источников тока.

3.5.2 Углепластики

Углепластики – наполнителем в этих полимерных композитах служат углеродные волокна. В зависимости от режима обработки и исходного сырья полученное углеволокно имеет различную структуру. Углеродные волокна получают из синтетических и природных волокон на основе целлюлозы, сополимеров акрилонитрила, нефтяных и каменноугольных пеков и т.д. Термическая обработка волокна проводится, как правило, в три этапа (окисление – 220°C, карбонизация – 1000–1500 °C и графитизация – 1800–3000°C) и приводит к образованию волокон, характеризующихся высоким содержанием (до 99,5% по массе) углерода см. рисунок 10.



Рисунок 10 – Углепластиковое волокно

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ



Рисунок 11 – Форма поставки углепластика

Для изготовления углепластиков используются те же матрицы, что и для стеклопластиков (чаще всего) – терморезистивные и термопластичные полимеры. Основными преимуществами углепластиков по сравнению со стеклопластиковыми являются их низкая плотность и более высокий модуль упругости, углепластики – очень легкие и, в то же время, прочные материалы. Углеродные волокна и углепластики имеют практически нулевой коэффициент линейного расширения. Все углепластики хорошо проводят электричество, они черного цвета, см. рисунок 11, что несколько ограничивает области их применения. Углепластики используются в авиации, ракетостроении, машиностроении, производстве космической техники, и др. их ключевые параметры приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Основные параметры углеволокна для теплового анализа

Рабочие температуры, °С	Более 3000
Теплопроводность, Вт /м·К	0.75-0.90
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	1100-1500
Массовая плотность, кг·м ³	1450-1600

Углепластики, сравнительно недавно, стали активно применяться в промышленности. Их тепловые параметры удовлетворяют заданным требованиям. Кроме этого углепластики являются токопроводящим материалом. Так же они сочетают в себе малый вес при высокой прочности. С учетом величины удельной теплоемкости и диапазоном рабочих температур которые указаны в таблице 6 – углепластик подойдет в качестве материала для изготовления корпуса устройства.

3.5.3 Органопластики

Для органопластиков на основе пара-арамидного волокна(кевлар) характерна высокая механическая прочность в 2-3 раза превосходящая сталь. Органопластики с армирующим мета-арамидным волокном [15], способны продолжительное время работать в высоких температурах(250 °С, на короткое время 400-500 °С и выше), см. рисунок 12.

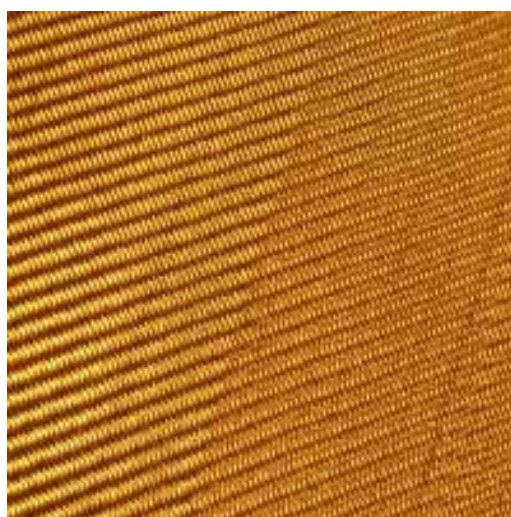


Рисунок 12 – Органопластик

В термореактивных органопластиках матрицей служат, как правило, эпоксидные, полиэфирные и фенольные смолы, а также полиимиды. Материал может содержать в себе 35–75% наполнителя. Содержание наполнителя в органопластиках на основе термопластичных полимеров – полиэтилена, ПВХ, полиуретана и т.п. – варьируется в значительно больших пределах – от 2 до 70%. Органопластики обладают низкой плотностью, относительно высокой прочностью при растяжении, высоким сопротивлением удару и динамическим нагрузкам, но, в то же время, низкой прочностью при сжатии и изгибе, это следует учитывать при их применении [16].

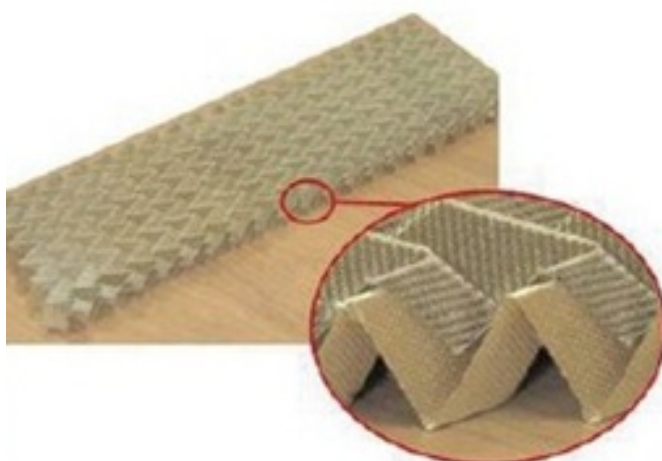


Рисунок 13 – Органопластик

Важную роль в улучшении механических характеристик органопластика играет степень ориентации макромолекул наполнителя, см. рисунок 13. Макромолекулы жесткоцепных полимеров, таких, как полипарафенилтерефталамид (кевлар) в основном ориентированы в направлении оси полотна и поэтому обладают высокой прочностью при растяжении вдоль волокон [17].

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Органопластики находят широкое применение в авто-, судо-, машиностроении, авиа- и космической технике, радиоэлектронике, химическом машиностроении и т.д.

Для арамидных органопластиков характерна высокая химическая стойкость к действию органических растворителей, смазочных масел, жидких топлив и воды. Арамидные органопластики на основе полиамидных и фенольных связующих обладают огнестойкостью и низким дымовыделением при горении. Упрочнение термопластов синтетическими волокнами в ряде случаев позволяет повысить ударную вязкость, улучшить сопротивление усталости и растрескиванию под напряжением [18].

Микроструктура остальных классов композиционных материалов характеризуется тем, что матрицу наполняют частицами армирующего вещества, а различаются они размерами частиц. В композитах, упрочненных частицами, их размер больше 1 мкм, а содержание составляет 20–25% (по объему), тогда как дисперсноупрочненные композиты включают в себя от 1 до 15% (по объему) частиц размером от 0,01 до 0,1 мкм. Размеры частиц, входящих в состав нанокompозитов – нового класса композиционных материалов – еще меньше и составляют 10–100 нм. Необходимые параметры для теплового анализа приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Основные параметры органопластика для теплового анализа

Рабочие температуры, °С	200-300, кр. до 500
Теплопроводность, Вт /м·К	0.012-0.020
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	1378
Массовая плотность, кг·м ³	1100

Органопластики имеют очень хорошее значение теплопроводности. При всей совокупности свойств из такого материала целесообразно сделать чехол (кассету) для тепловыделяющих элементов, которые находятся в первом отсеке. Это не даст теплу выйти за пределы первого отсека, и в дальнейшем распространится в зону с печатными узлами. Следовательно, не произойдет перегрева, и всё устройство будет работать в штатном режиме.

3.7 Магниевые сплавы

Повышение весовой эффективности конструкционных материалов и снижение массы РЭС - стратегическая задача нашего времени. Деформируемые магниевые сплавы были и остаются наиболее легкими из конструкционных материалов на металлической основе, применяющихся в авиационной и ракетно-космической технике, автомобилестроении, при производстве электронной аппаратуры, см.рисунок 14. Сплавы на магниевой основе могут составить конкуренцию алюминиевым сплавам, обеспечивая весовую экономию 20-25%. Наиболее значимыми требованиями, предъявляемыми к конструкционным материалам, применяемым в изделиях авиационной и космической отраслях, являются:

- небольшая плотность;
- технологичность;
- высокий уровень удельной прочности и жесткости;
- хорошая свариваемость.



Рисунок 14 – Магниевый сплав

Магниевые сплавы отвечают поставленным требованиям: они обладают высокими удельной прочностью и удельной жесткостью, демпфирующими свойствами, технологичностью, многие сплавы хорошо свариваются, что представляется весьма перспективным для применения материалов на основе магния в отраслях современной техники. При этом плотность магниевых сплавов составляет всего 65-70% от плотности серийных алюминиевых сплавов. Необходимые температурные параметры приведены в таблице 8. Практически значимым является тот факт, что замена деталей и узлов из алюминиевых сплавов на магниевые позволяет снизить их вес на 25-30%. см.рисунок 15.

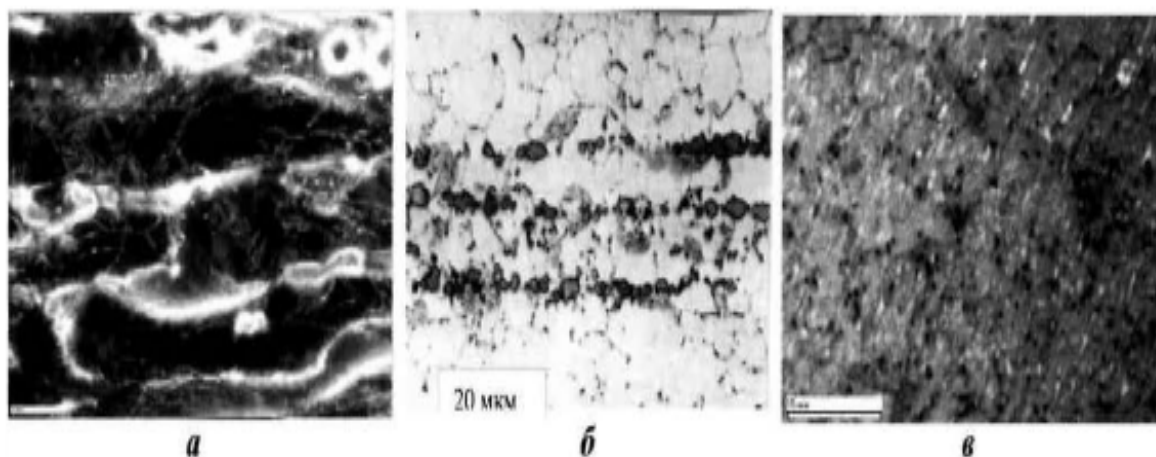
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Таблица 8– Основные параметры магниевых сплавов для теплоанализа

Рабочие температуры, °С	200-250
Теплопроводность, Вт /м·К	60-132
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	1090
Массовая плотность, кг·м ³	1600

Сплав МА22 является жаропрочным и может длительно (до 100 ч) эксплуатироваться при 200°С, кратковременно до 250°С. До последнего времени сплав МА22 не имеет аналогов по совокупности своих высоких эксплуатационных характеристик, см. таблицу 8. Сплав нашел применение в изделиях оборонной и космической техники предприятий ГРЦ «КБ им. акад. В.И. Макеева», НПО им. С.А. Лавочкина (для головных частей разгонного блока, шпангоутов аппаратов «Венера», «Марс», «Фрегат» и др.), а также для изготовления свариваемого приборного контейнера космического аппарата «ОКО».



Микроструктура поковок из высокопрочных магниевых сплавов в радиальном направлении: *а* – сплав МА14; *б* – сплав МА5; *в* – сплав МА22; *а* и *в* снято в поляризованном свете

Рисунок 15 – Микроструктура магниевых сплавов

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Сейчас достаточно большое количество магниевых сплавов активно применяется в промышленности. Наибольший интерес из них представляет МА22. Он способен работать в нужном температурном диапазоне. Но имеет большую величину теплопроводности, что в конечном итоге может отрицательно сказаться на решении поставленной задачи.

3.8 Связующий материал

Клей ВК-9 по ОСТ 92-0949-2013, см.рисунок 16. Температура применения от -60 до 300 °С (кратковременно до 350 °С). Отверждение без нагрева и с нагревом.



Рисунок 16 – Клеящий состав ВК-9 для обеспечения герметичности

Клей необходим для обеспечения герметичности и фиксации кассеты с двумя наиболее сильно тепловыделяющими элементами. Которые находятся в первом отсеке. Клеем будет покрыта нижняя часть корпуса в этом отсеке и место контакта выводов ХИТ с прокладкой, а так же боковые грани медной пластины, которая выступает в роли теплоотвода.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

4 Исследование материалов и конструктивных решений исполнения корпуса прибора

4.1 Инструменты для разработки конструкции корпуса

В настоящее время вопросы внедрения в производство радиоэлектронных средств подсистем и пакетов прикладных программ для автоматизации анализов различных характеристик РЭС приобретают все большую актуальность, так как это дает значительный экономический эффект за счет сокращения натурных испытаний и связанного с этим сроком проектирования.

Современное состояние САПР в России можно охарактеризовать как время массового перехода промышленности к использованию технологии 3D-проектирования. Используем САПР, осуществляющий 3D-проектирование и инженерный анализ.

Детали корпуса устройства будут спроектированы в программе Autodesk Inventor. Тепловой анализ будет осуществлен в программном пакете SolidWorks Simulation.

4.2 Разработка конструкции элементов прибора

Часть созданных 3-D моделей деталей прибора НПП «Квант», показаны на рисунках 17-25.

В кассету, см. рисунок 17, будут помещены два тепловыделяющих элемента. Она необходима для того, чтобы не допустить распространения тепла по корпусу устройства. Материалами для неё могут быть: мокрый войлок, кремнеземная ткань, органопластик.

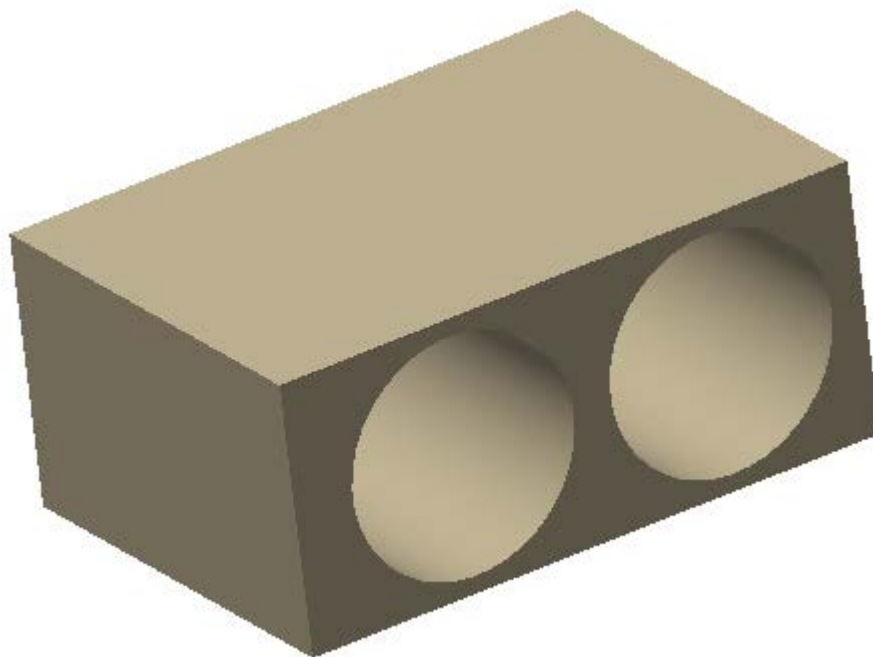


Рисунок 17 – 3D-модель кассеты для тепловыделяющих элементов

Рамка необходима для обеспечения герметичности и стыковки крышки корпуса с основной его частью, см. рисунок 18. В ней предусмотрены отверстия под крепежные элементы. Присутствует канавка по всему контуру для помещения в неё герметизирующей прокладки. Так же имеются несколько штырей, которые обеспечат дополнительную фиксацию медной пластины, необходимой для теплоотвода. Материалы: магниевый сплав, углеволокно, органопластик.

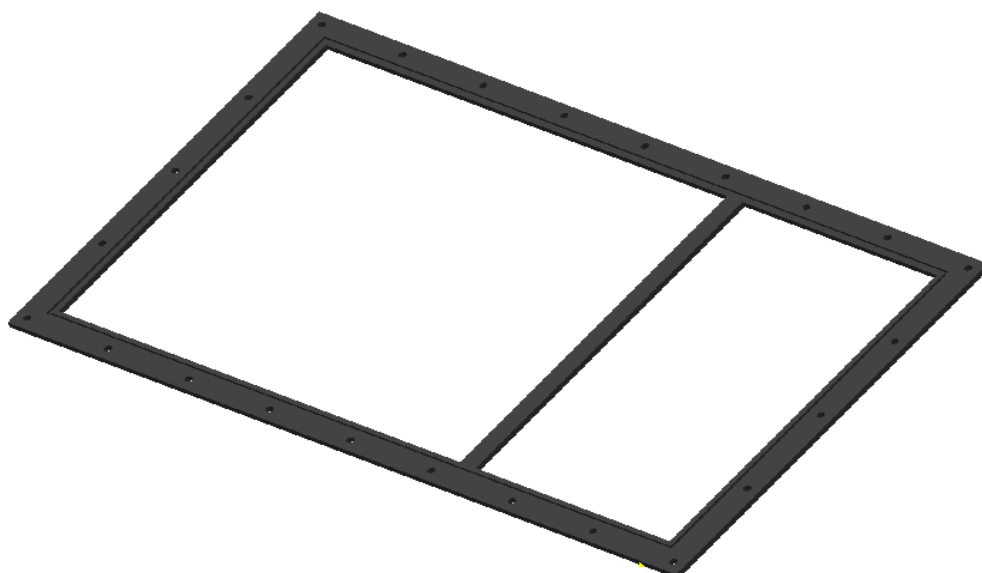


Рисунок 18 – 3D-модель рамки

Крышка прибора так же несет в себе функцию герметизации и защиты внутреннего пространства устройства. Имеет отверстия по периметру под крепеж, см.рисунок 19. Материалы: магниевый сплав, углеволокно, органопластик.

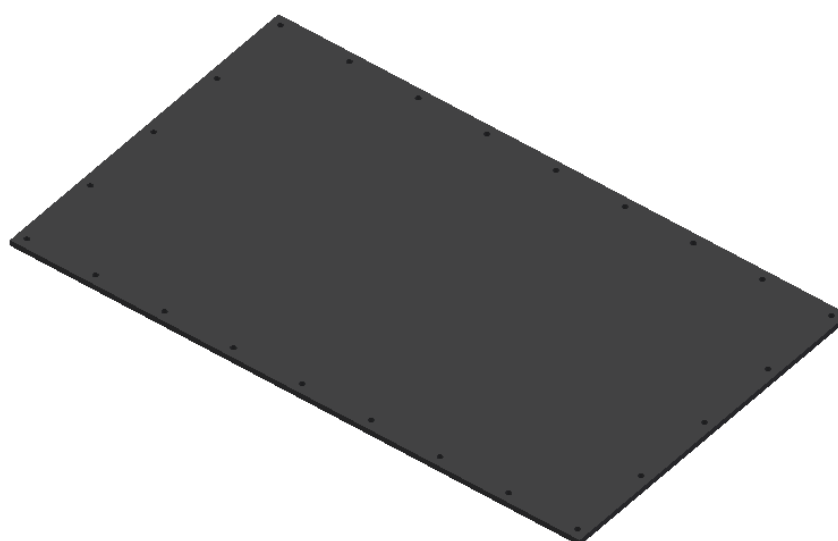


Рисунок 19 – 3D-модель крышки корпуса

Короб корпуса прибора, см.рисунок 20. Непосредственно в нем будут находиться тепловыделяющие элементы, печатный узел, различные элементы обеспечивающие теплозащиту и герметичность. Корпус должен обладать достаточной жесткостью, токопроводимостью (предназначенной для обеспечения перераспределения электрического потенциала и приведения элементов изделия к одному электрическому потенциалу), герметичностью и в тоже время легкостью. Материалы–композиты (углепластики, органопластики), магниевые сплавы. Форма корпуса обусловлена необходимостью разграничения его на два отсека, для обеспечения тепловой изоляции печатного узла. В зазор между отсеками устанавливается теплоизоляционный материал.

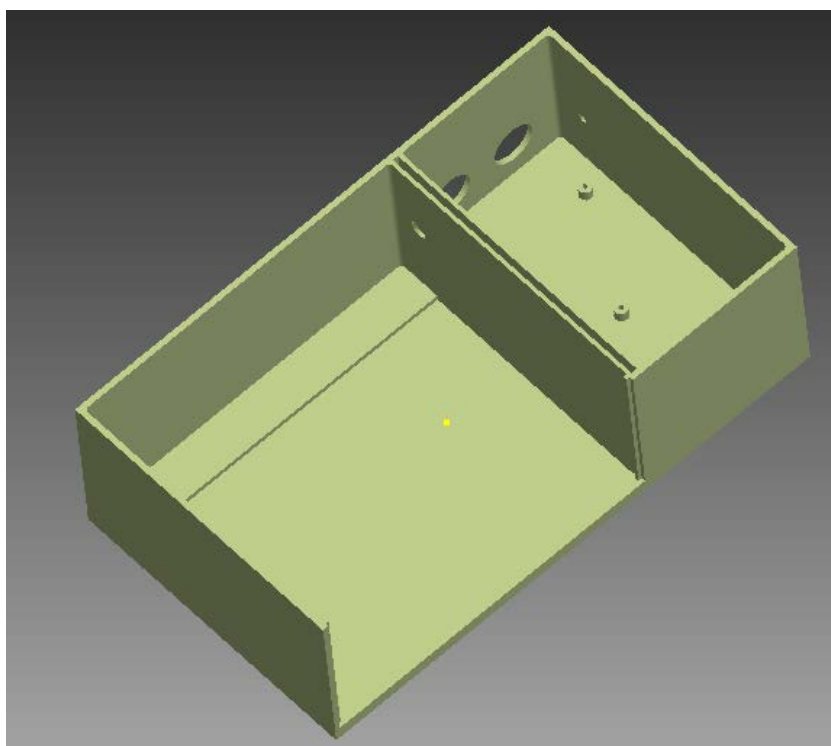


Рисунок 20 – 3D-модель короба корпуса

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Для фиксации кассеты с тепловыделяющими элементами в отсеке номер один делается углубление, которое при сборке прибора будет заполнено клеящим составом. В местах установки медной пластины делаются выступы. Для обеспечения электрической связи между отсеками в перегородке делается отверстие, в которое будет установлен герметичный ввод. Для распределения центра масс прибора, печатный узел оптимальнее установить на нижнюю поверхность корпуса. Для фиксации обеспечить ему основание в пяти точках. Так же на двух стенка проделать отверстия для установки двух разъемов и узла заземления.

Пластина из меди, см.рисунок 21. Она обеспечивает отвод тепла из первого отсека наружу. В местах соприкосновения с корпусом пластина покрыта клеящим составом.

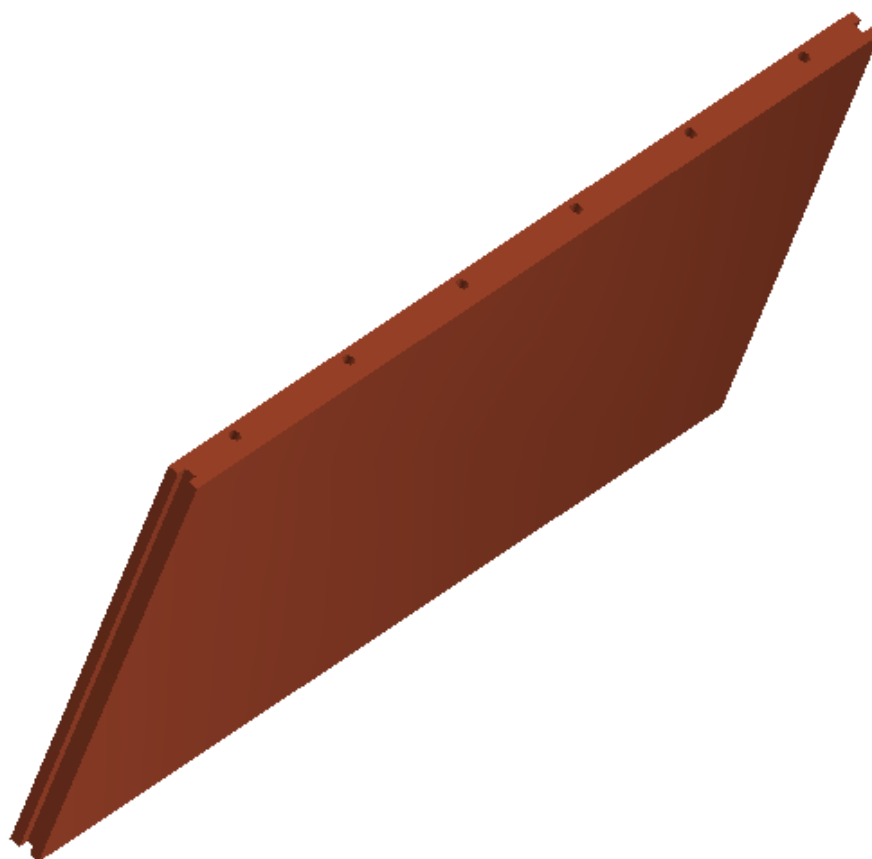


Рисунок 21 – 3D-модель медной пластины

В конструкцию прибора так же входит герметичный ввод, см.рисунок 22. Он необходим для обеспечения электрического соединения между химическими источниками тока и печатным узлом второго отсека. Герметичный ввод устанавливается в перегородку между отсеками. Такой гермоввод должен выдерживать температуры до 250 градусов. На рынке существуют готовые решения, целесообразнее купить готовое проверенное изделие [19].



Рисунок 22 – 3D-модель гермоввода

Необходимо обеспечить металлизацию корпуса прибора в соответствии с ГОСТ 19005-81[20]. Далее применяется узел заземления. Он устанавливается в стенку корпуса и имеет непосредственный контакт с ним. В месте их контакта полосами наносится токопроводящее покрытие (токопроводящая эмаль ХС-928 по ОСТ 92-9440-81) с обеспечением электрической связи токопроводящего покрытия с металлическими элементами конструкции, см. рисунок 23.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Металлизация и заземление предназначены для обеспечения перераспределения электрического потенциала и приведения элементов изделия к одному электрическому потенциалу с целью:

- защиты от внешних электромагнитных полей;
- защиты от воздействий разрядов молнии.

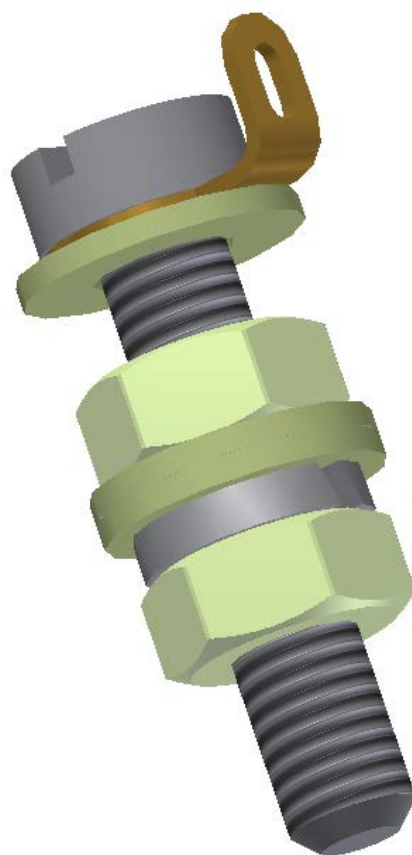


Рисунок 23 – Узел заземления

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Высокотемпературный элемент (ХИТ), см.рисунок 24. Время его работы принято считать 1800 секунд, после происходит последовательное включение второго элемента, который работает на протяжении того же времени. Зависимость температуры от времени приведена в таблице 9. По ней задается график температуры в SolidWorks Simulation.

Таблица 9 – Временная зависимость температуры тепловыделяющего элемента (ХИТ)

Временная зависимость температуры тепловыделяющего элемента (ХИТ)								
Время, с	120	240	360	480	600	720	1200	1800
Температура, °С	147	184	200	223	246	215	193	163



Рисунок 24 – 3D-модель ХИТ

После закрепления химических источников тока (ХИТ) в кассету, торец закрывается слоем органопластика, см.рисунок 25, предотвращающего распространение тепла вне кассеты. Далее крепится печатная плата из текстолита, которая отвечает за своевременную подачу сигнала включения ХИТ.

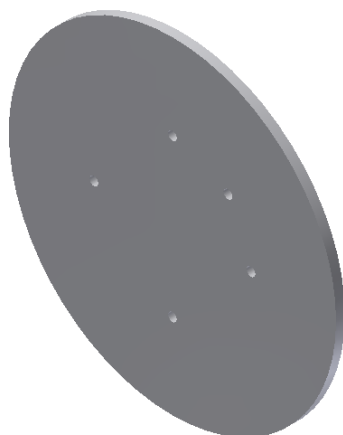


Рисунок 25 – 3D-модель теплоизоляционной прокладки

Во втором отсеке корпуса расположен печатный узел, см.рисунок 26 он состоит из трех двухсторонних плат, соединенных друг с другом крепежом, который фиксируется к дну корпуса. Такое расположение плат обеспечит наилучшее распределение массы внутри прибора, изолирует их от тепловыделяющих элементов. Кроме того дно корпуса имеет большую толщину, по сравнению с боковой стенкой, поэтому целесообразнее располагать платы именно горизонтально с фиксацией к нижней стенке корпуса. Далее приведены изображения печатного узла и сборки корпуса, см. рисунок 28.

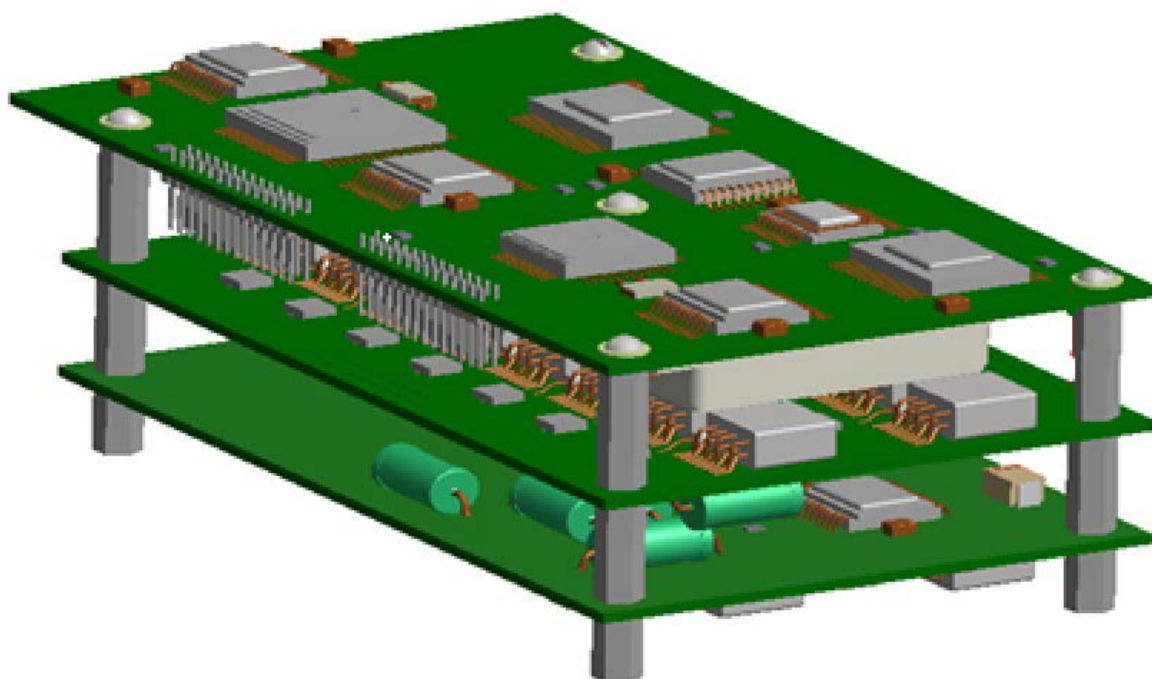


Рисунок 26 – 3D-модель печатного узла

Сборка корпуса без крышки, на рисунке видно расположение кассеты с тепловыделяющими элементами, перегородку и отсек с печатными платами.

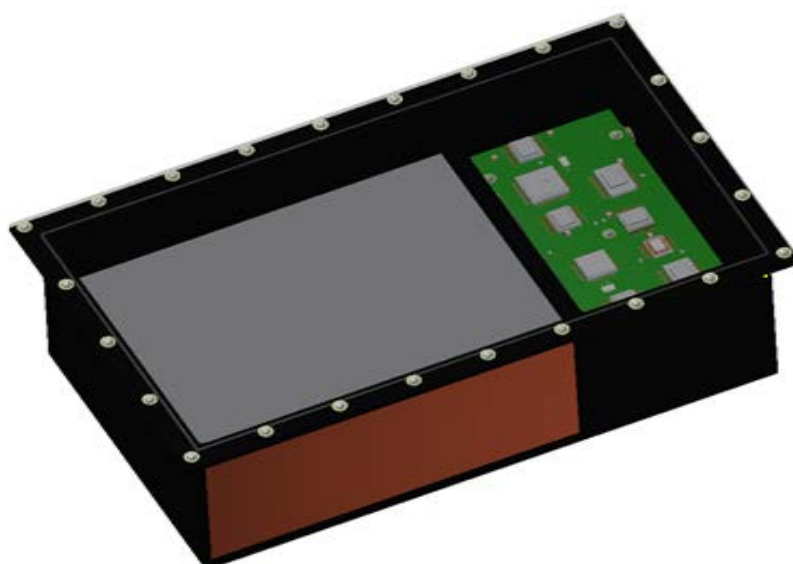


Рисунок 27 – 3D-модель сборки прибора без крышки

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

4.3 Механизм теплового анализа

4.3.1 Загрузка деталей в формате STEP из Autodesk Inventor в SolidWorks

SolidWorks Simulation модуль по симуляции и расчету различных воздействий, встроенный в пакет SolidWorks предоставляет разработчикам изделия доступ к мощным возможностям анализа методом конечных элементов (Finite Element Analysis, FEA), которые позволят им ускорить процесс внедрения инноваций в изделие. Модуль способен решать различные задачи, мной была использован температурный анализ переходного процесса. В начале проведена загрузка деталей в формате STEP из Autodesk Inventor в SolidWorks, Далее приведены изображения наложения зависимостей на детали для осуществления сборки корпуса, см. рисунок 28,29.

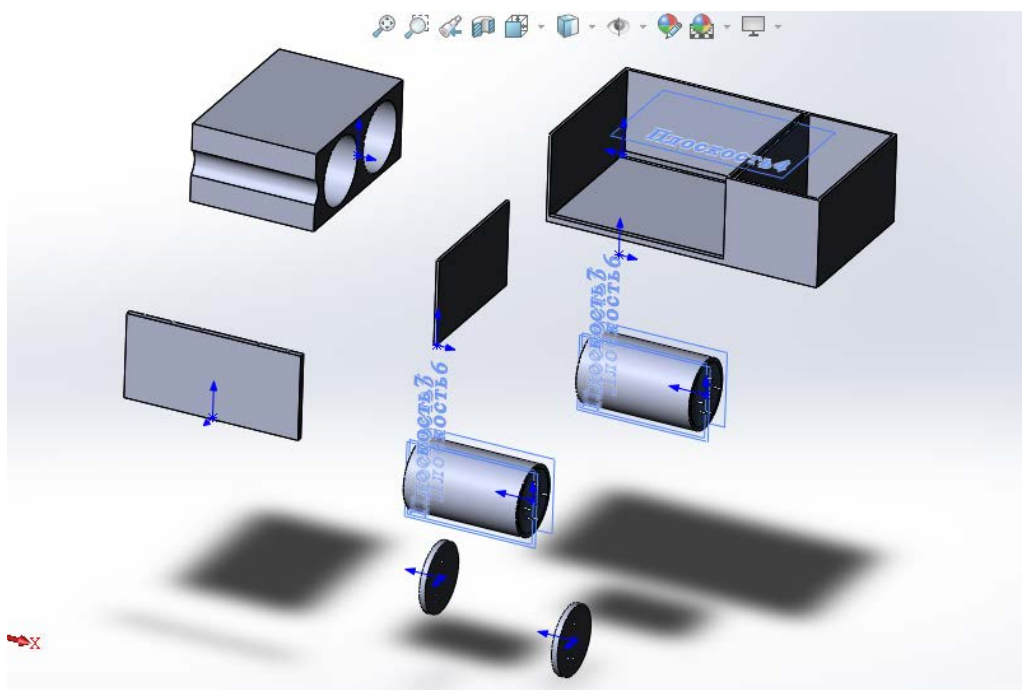


Рисунок 28 – Начало сборки в SolidWorks

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Лист

52

4.3.1 Сборка и оптимизация геометрии рабочей модели

После импорта моделей из Autodesk Inventor в программный пакет SolidWorks происходит сборка деталей в цельный блок, см. рисунок 28. После применяется функция упрощения геометрии и запускается встроенный модуль Simulation.[21]

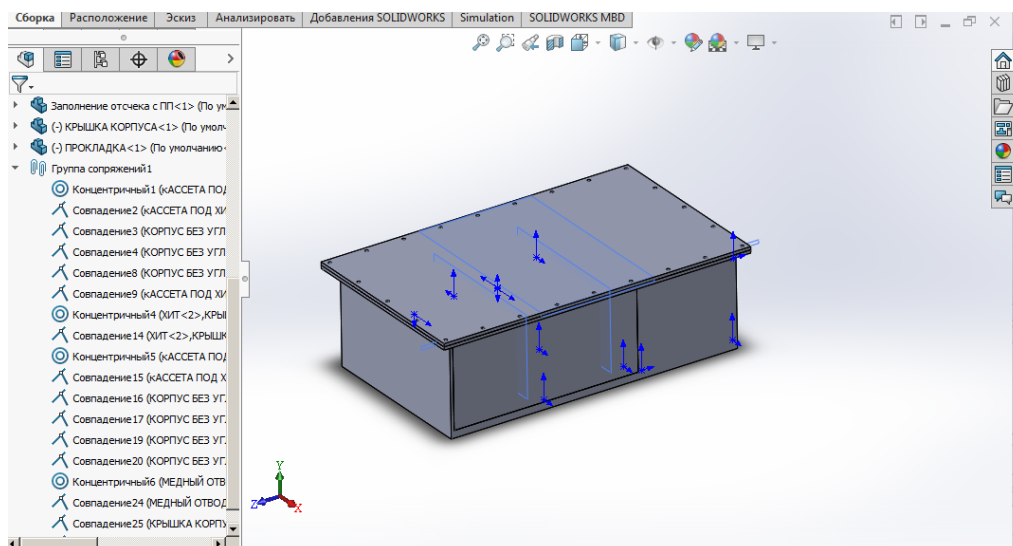


Рисунок 29 – Сборка корпуса в SW

В модуле задается температурный анализ, протекающий во времени. В характеристиках на химическом источнике тока, указано последовательное время работы в течении 1800 секунд, т.е. общая работа батарей 3600 секунд. Для получения объективной картины выбран тепловой анализ и установлено время анализа равным 4000 секунд с шагом по времени в 50 секунд, см. рисунок 30.

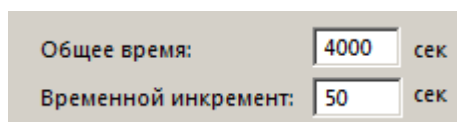


Рисунок 30 – Время анализа

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

4.3.2 Задание сетки разбиения модели

Задается сетка разбиения модели. Сетка подобрана таким образом, чтобы задача смогла выйти на решение и отражала объективный результат, см. рисунок 31. При этом она не задается излишне «мелкой», т.к. её размер напрямую влияет на время решения задачи.

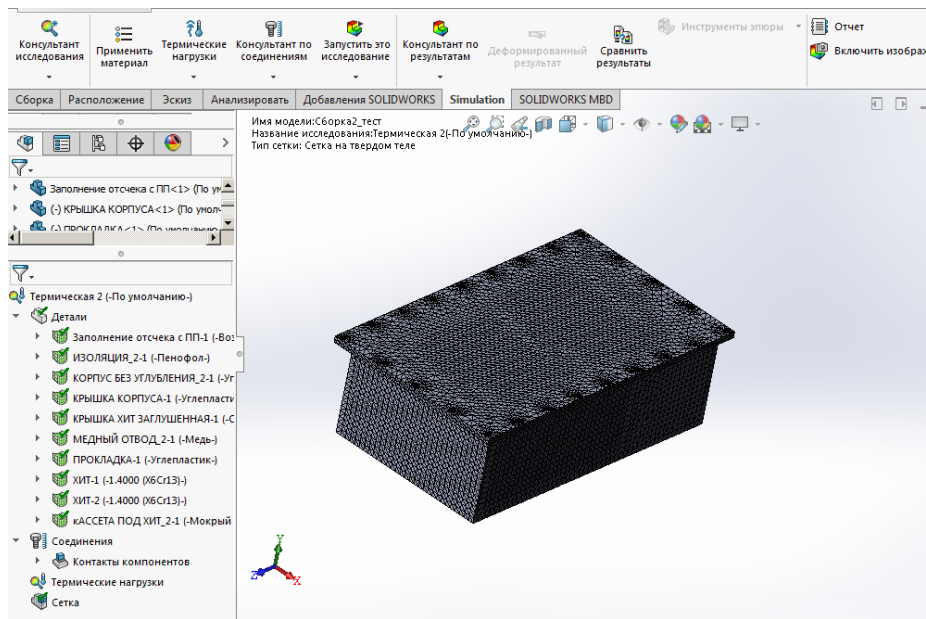


Рисунок 31 – Заданная сетка сборки корпуса

4.3.3 Задание материалов элементов корпуса

После этого в разделе материалы создана пользовательская библиотека материалов, которые подобраны ранее. Внесены их параметры и определены соответствующие элементы корпуса. Часть материалов, взяты из стандартной библиотеки программы, см. рисунок 32.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

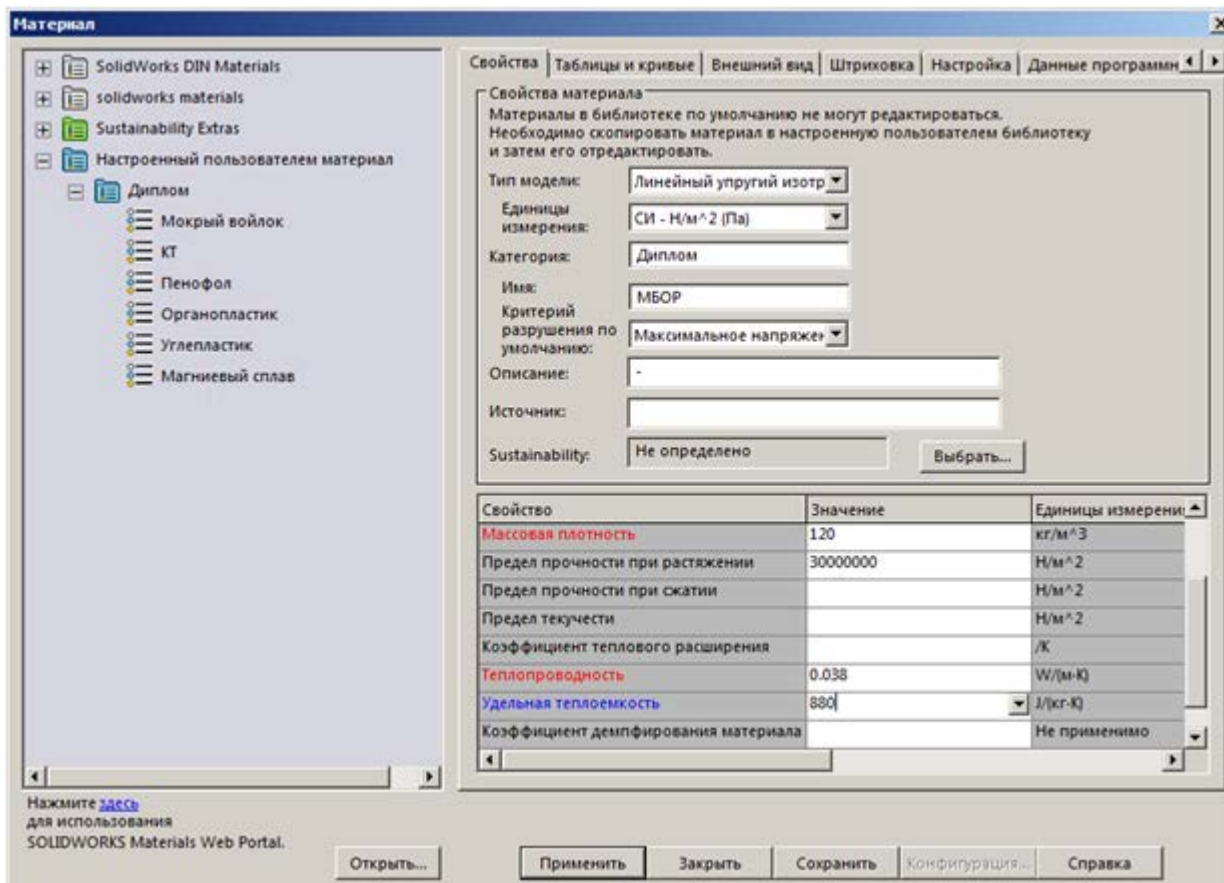


Рисунок 32 – Создание библиотеки материалов SW

4.3.4 Определение переходного процесса в анализе

Как упоминалось ранее, процесс разогрева тепловыделяющих элементов – переходный. При определении тепловых воздействий это меню позволяет задать начальные температуры, и зависимость температуры от времени. Так же установлен автоматический выбор решающей программы, см. рисунок 33.

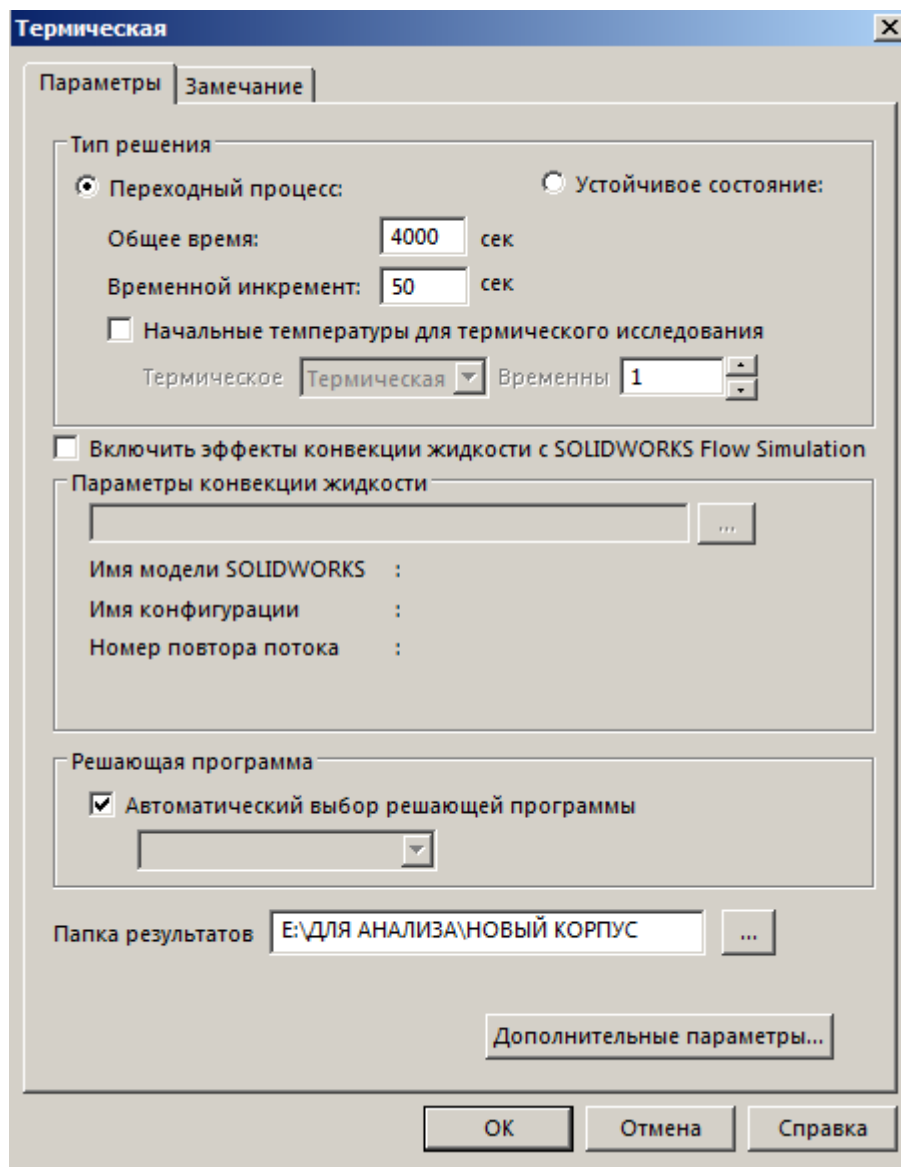


Рисунок 33 – Параметры переходного процесса

4.3.5 Задание температурных воздействий

Далее задание температурных воздействий на прибор. По условию задачи имеются два тепловыделяющих элемента. Максимальная температура, которую они достигают – 250 градусов Цельсия. Элементы включаются последовательно и работают по 1800 минут каждый. На свой температурный максимум элемент выходит в течении 600 секунд. Так же высокая температура необходима для

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

работы самого тепловыделяющего элемента, поэтому принудительное охлаждение недопустимо и не применяется, см. рисунок 34.

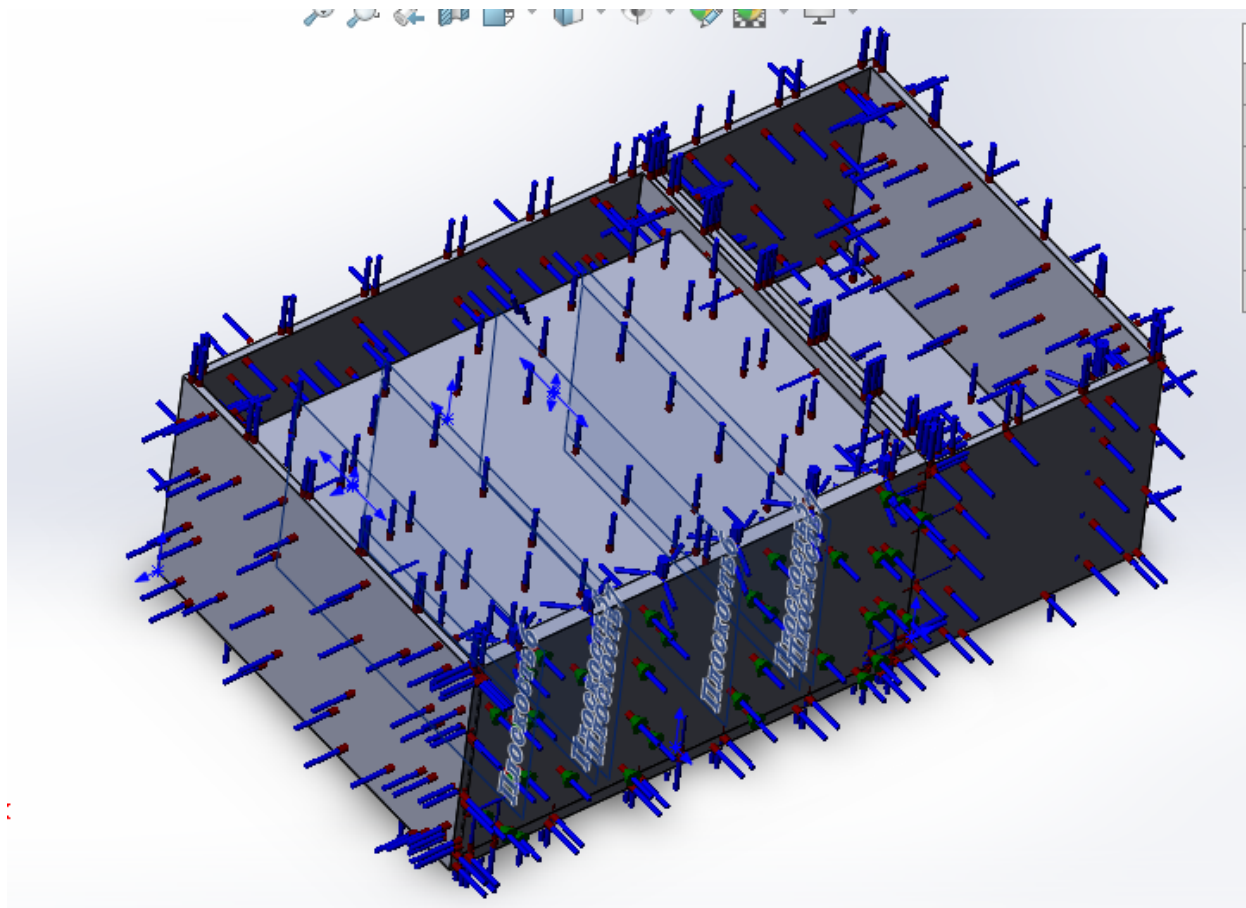


Рисунок 34 – Задание температурных воздействий на корпус

Корпус герметичен и температурные воздействия от естественной конвекции внутренней и внешней среды - минимальны, так же как и от излучения - т.к. тепловыделяющий химический источник тока имеет фольгированную оболочку, удерживающий воздействие излучения внутри себя. Основным механизмом теплопередачи является теплопроводность. Поэтому важным условием объективного исследования, является задание трех параметров (теплопроводность материала, массовая плотность и удельная теплоемкость). В этом пункте, так же задается зависимость температуры от времени работы ХИТ.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

4.3.6 Запуск анализа на решение

Далее следует запуск анализа на решение, если все необходимые данные указаны и корректны, то происходит расчет задачи, среднее время которого 2-3 часа, см. рисунок 35.

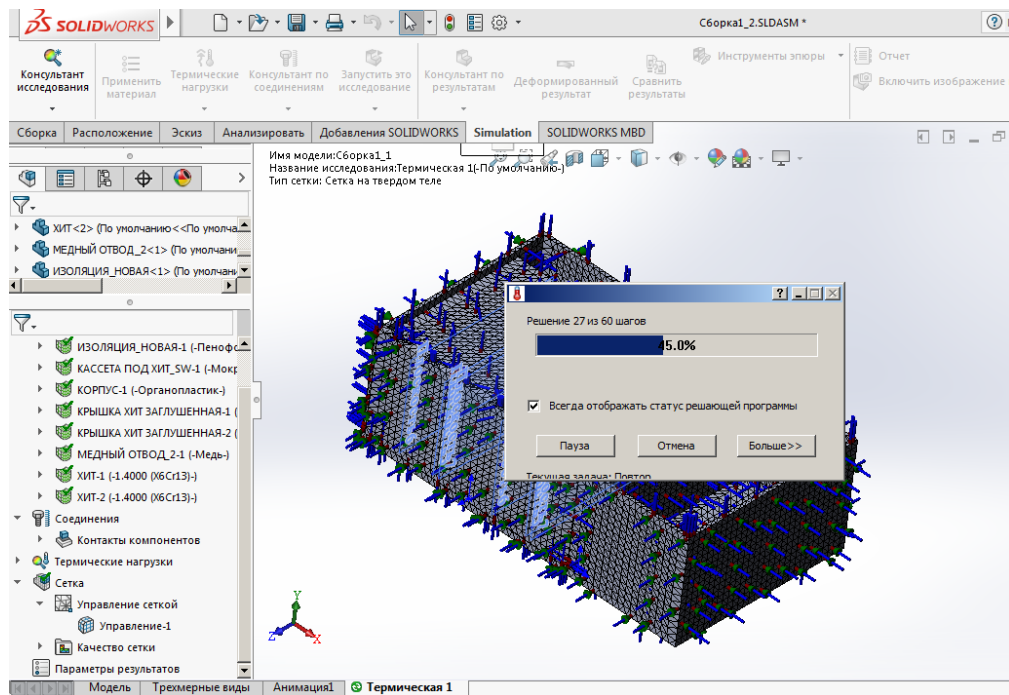


Рисунок 35 – Процесс выполнения теплового анализа

В исследовании постоянными материалами считаем материал теплоотводящей пластины (медь), теплоизоляционный материал в промежутке между отсеками (пенофол), материал тепловыделяющих элементов (нержавеющая сталь). Материалы корпуса (основной его части, переемычки между корпусом и крышкой), изолирующей кассеты будет меняться в ходе исследования.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

4.3.7 Анализ результатов решения

1) В первом случае материал корпуса магниевый сплав, материал кассеты с тепловыделяющими элементами мокрый войлок. Теплоотводящая пластина изготовлена из меди. Рамка и крышка корпуса так же сделаны и магниевого сплава. Между отсеком с двумя тепловыделяющими элементами и печатными узлами в перегородке расположен слой экранирующего материала пенофол, толщиной 3мм. Открытый торец химического источника тока закрыт слоем из мокрого войлока, далее поверх этого слоя на выводы ХИТ устанавливается плата, подающая сигналы на работу батарей, см. рисунок 36.

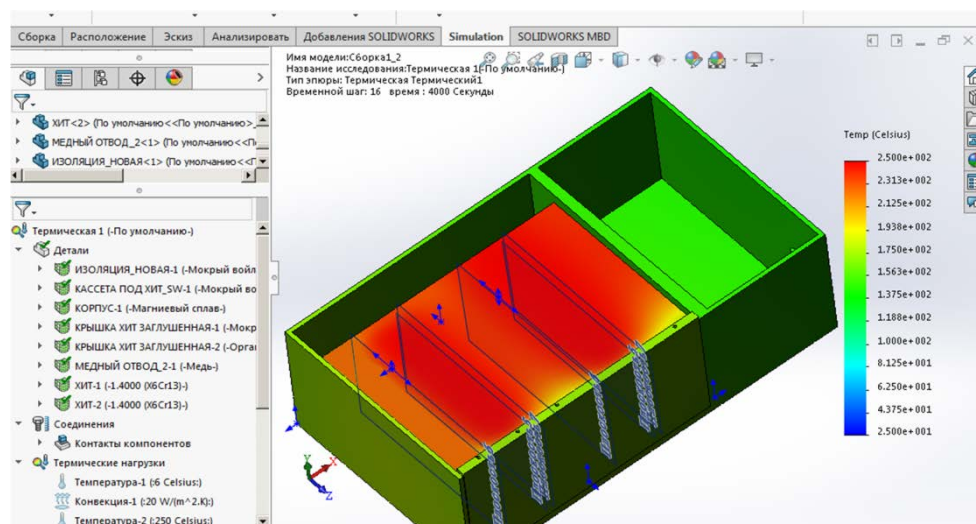


Рисунок 36 – Тепловой анализ сочетания магниевого сплава и мокрого войлока

Из рисунка 36 видно, что сочетание магниевого сплава и мокрого войлока неприемлемо. Кассета успевает прогреться от 190-250 °С.

Отсек с печатными платами в таком случае нагревается до 150 °С, что не удовлетворяет требованиям ТЗ.

2) Во втором случае материал корпуса магниевый сплав, материал кассеты с тепловыделяющими элементами кремнеземная ткань. Теплоотводящая пластина так же изготовлена из меди. Рамка и крышка корпуса изготовлены из магниевого сплава. Между отсеком с двумя тепловыделяющими элементами и печатными узлами в перегородке расположен слой экранирующего материала. Открытый торец химического источника тока закрыта слоем из кремнеземной ткани (вторая крышка искусственно подавлена), далее поверх этого слоя на выводы ХИТ устанавливается плата, подающая сигналы на работу батарей, см. рисунок 37.

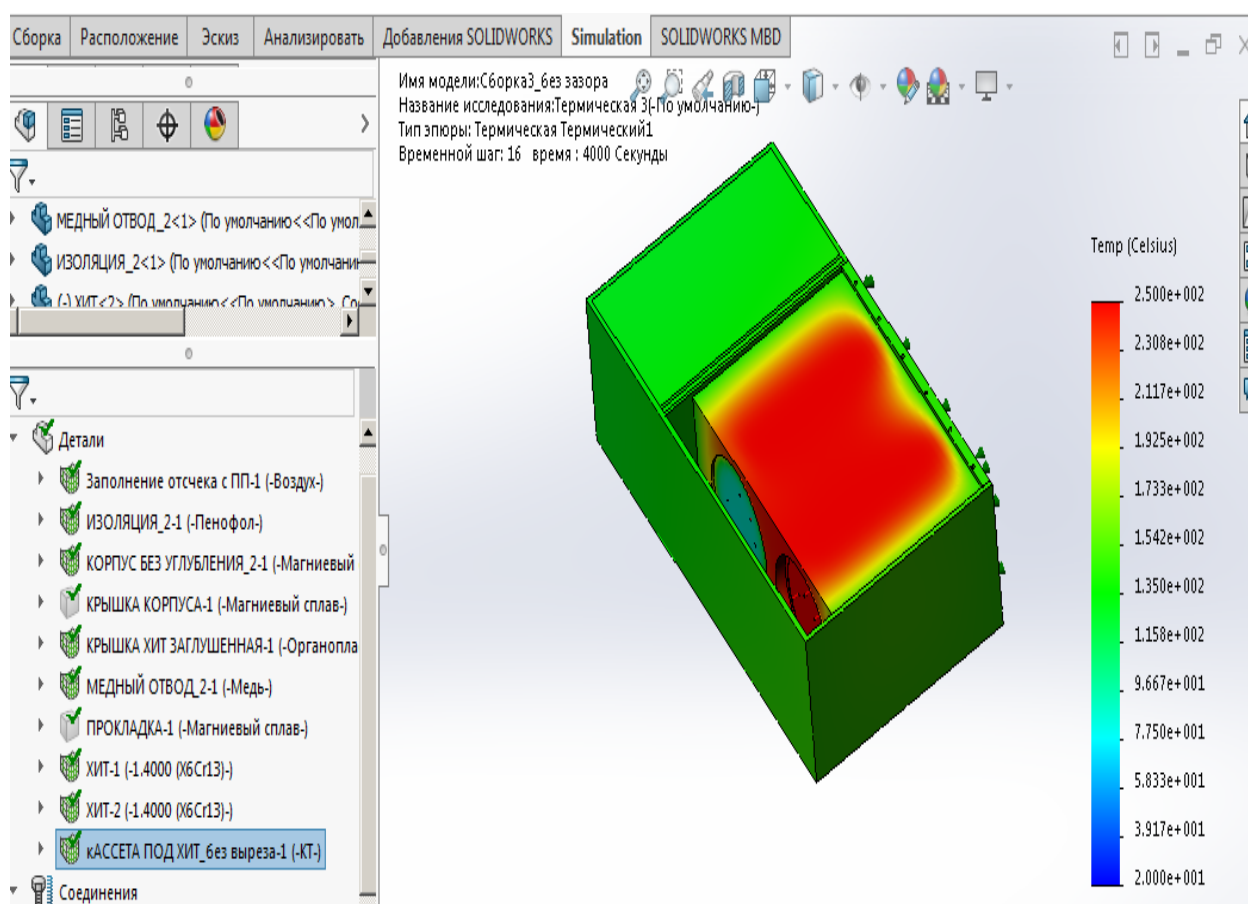


Рисунок 37 – Тепловой анализ сочетания магниевого сплава и КТ-30

Из рисунка видно, что сочетание магниевого сплава и кремнеземной ткани неприемлемы. Кассета успевает прогреться от 190-250 °С. Отсек с печатными

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

платами в таком случае нагревается до 150 °С, что не удовлетворяет требованиям технического задания.

3) Материал корпуса углеволокно, материал кассеты мокрый войлок.

В третьем случае материал корпуса является углеволокно, материал кассеты с тепловыделяющими элементами мокрый войлок. Открытый торец химического источника тока закрыта слоем из мокрого войлока. Крышка химического источника тока закрыта слоем из мокрого войлока, далее поверх этого слоя на выводы ХИТ устанавливается плата, подающая сигналы на работу батарей.

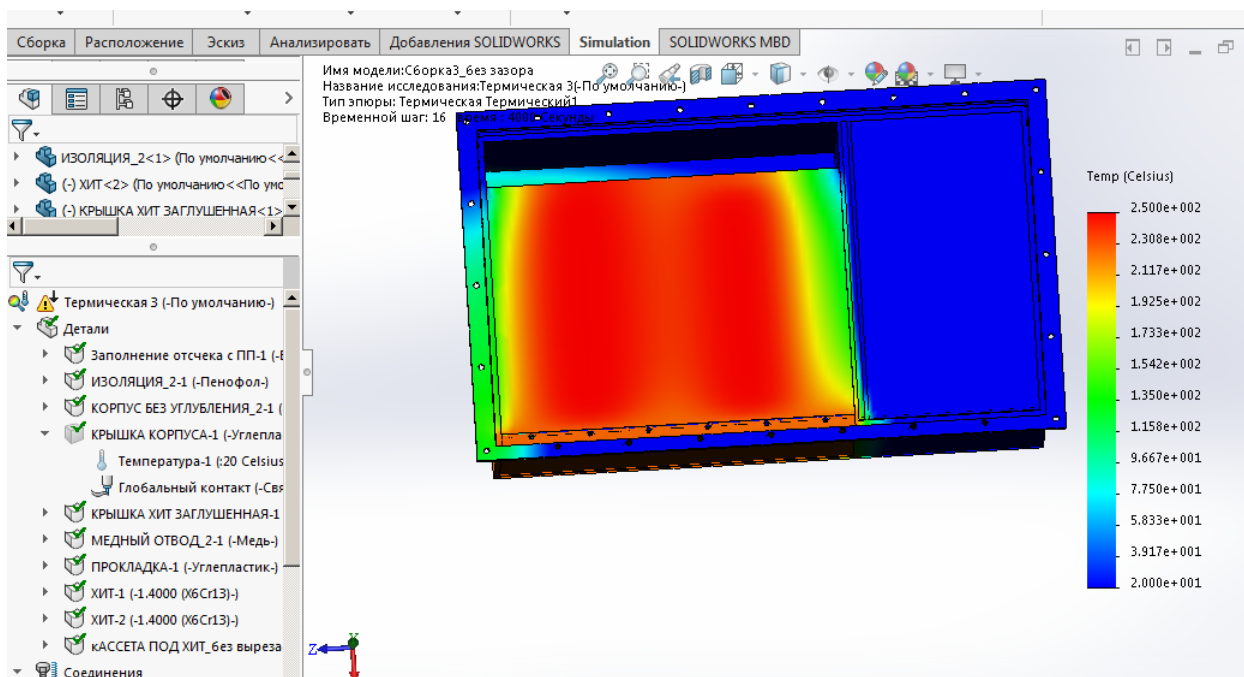


Рисунок 39 – Тепловой анализ сочетания углеволокна и мокрого войлока

Из рисунка 39 видно, что сочетание углеволокна и мокрого войлока близки к критичным температурам, тепло проникает в отсек с печатным узлом. Кассета успевает прогреться - по центру до максимального значения температуры, и до значений в 130-170 °С по контуру.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Такой вариант приемлем, но находится в пограничной температурной зоне, что не является оптимальным решением для приборов военной отрасли.

4) Материал корпуса органопластик, материал кассеты мокрый войлок.

Во данном случае материал корпуса органопластик, материал кассеты с тепловыделяющими элементами мокрый войлок. Рамка и крышка корпуса изготовлены из органопластика на основе арамидного волокна. Открытый торец химического источника тока закрыта слоем из мокрого войлока, далее поверх этого слоя на выводы ХИТ устанавливается плата, подающая сигналы на работу батарей.

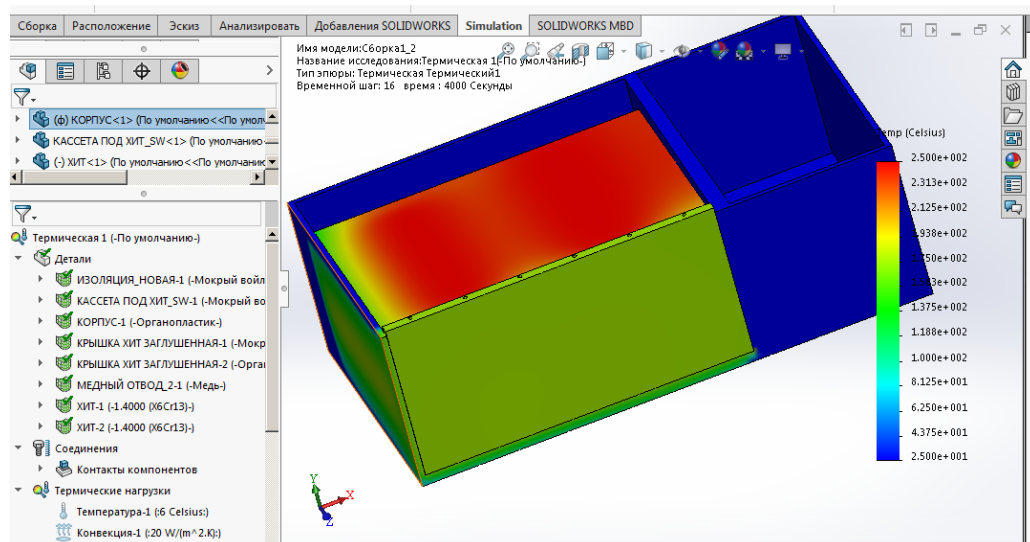


Рисунок 40 – Тепловой анализ сочетания органопластика и мокрого войлока

Из рисунка 40 видно, что сочетание органопластика и мокрого войлока, лучше чем сочетание с углепластиком, тепло не проникает в отсек с печатным узлом. Но кассета успевает прогреться до значений в 110-230 °С. Такой вариант приемлем, но также находится в критичной температурной зоне, что не является оптимальным конструкторским.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

5) Материал корпуса углепластик, материал кассеты органопластик.

Во пятом случае материал корпуса углепластик, материал кассеты с тепловыделяющими элементами органопластик. Рамка и крышка корпуса углеволокна. Открытый торец химического источника тока закрыта слоем из органопластика, далее поверх этого слоя на выводы ХИТ устанавливается плата, подающая сигналы на работу батарей.

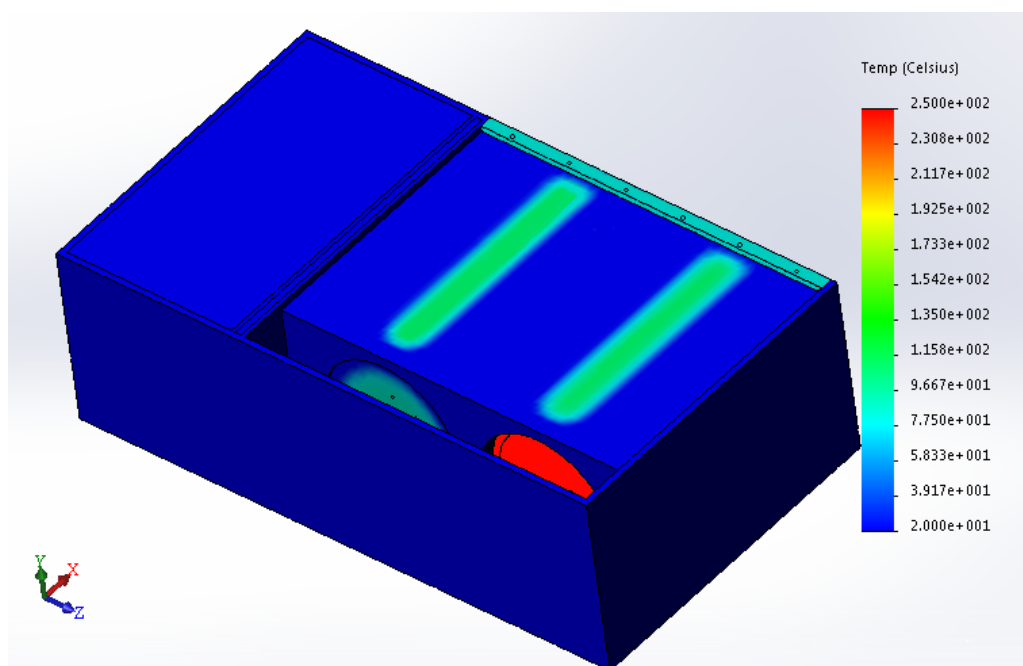


Рисунок 41 – Тепловой анализ сочетания углеволокна и органопластика

Из теплового анализа следует, что наилучшим сочетанием материалов будет–пенофол, в качестве теплоизоляционной перегородки между отсеками; медь как теплоотводящая пластина в первом отсеке; углеволокно – материал для основной части корпуса, крышки и рамки между ними; органопластик с армирующим мета-арамидным волокном–материал кассеты для тепловыделяющих элементов, см. рисунок 41. Совокупность таких материалов удерживает температуру второго отсека в необходимых по заданию нормам.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

В конечном итоге можно сказать, что примененный ряд решений, позволяющих удерживать температуру печатных плат устройства в допустимом рабочем диапазоне, таких как:

- вставка из меди, выступающая в роли теплоотводящей поверхности;
- особая форма кассеты, удерживающей тепловыделяющие батареи, с вырезом для отвода тепла на медную пластину;
- перегородка, заполненная теплоизоляционным материалом, между отсеком с тепловыделяющими батареями и отсеком с печатными платами (ПП);
- нанесение фольги на поверхность химического источника тока.
- совокупность материалов элементов конструкции корпуса

4.4 Расчет массы конечного варианта исполнения корпуса

					211000.2017.061.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		64

После того, как были получены данные об оптимальном сочетании материалов корпуса устройства, и была осуществлена окончательная сборка прибора. Встала задача о проверке корпуса на соответствие параметру веса, установленному в ТЗ (менее 5 кг). Были заданы плотности для всех материалов, входящих в состав устройства.

Для этого нужно было последовательно задать каждому элементу сборки значение его плотности. Далее рассчитать объем детали. Зная объемы и плотности деталей, было получено окончательное значение массы прибора. Оно составило чуть менее 4 кг, а именно – 3919г, см. рисунок 42. Эта величина с запасом удовлетворяет требования ТЗ.

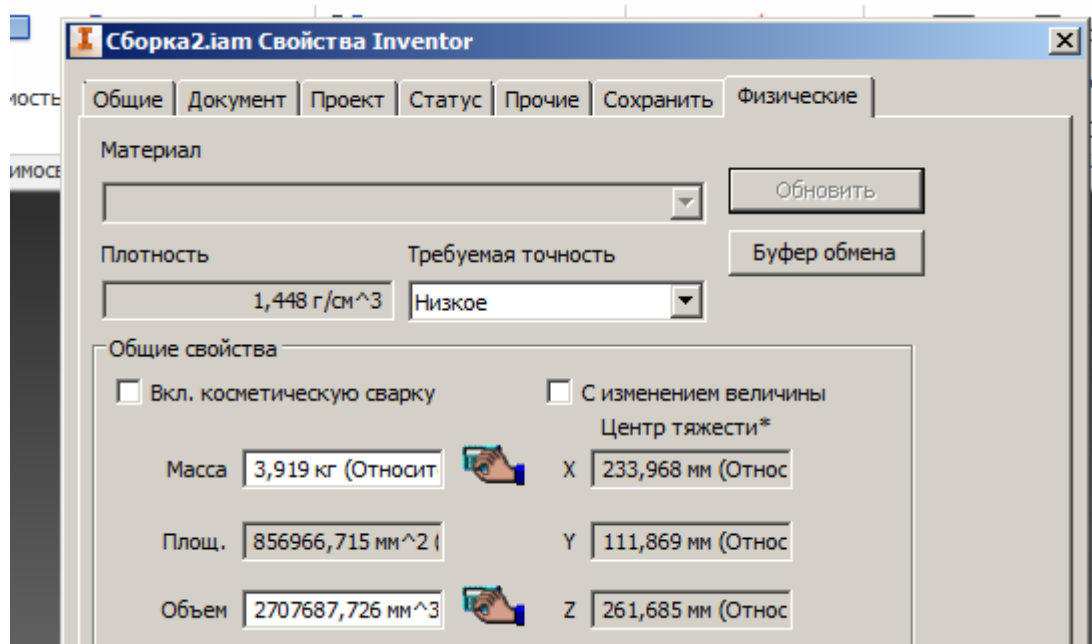


Рисунок 42 – Масса прибора

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

Осуществлен подбор сочетания материалов, свойства которых, препятствуют распространению тепла по стенкам корпуса. Разработана конструкция прибора, который будет состоять из двух отсеков. Применен ряд технических решений по уменьшению максимального значения температуры внутри наиболее теплонагруженного отсека. Так, за счет использования естественной конвекции, будет отводиться тепло от одной из стенок корпуса, изготовленной из меди. Между отсеком с тепловыделяющими элементами и печатными платами расположена перегородка с теплоотражающим материалом Пенофол «тип С» – она является тепловым экраном. Оба химических источника тока устанавливаются в кассету из материала максимально препятствующего распространению тепла - органопластика. Короб корпуса, планка и крышка изготавливаются из углепластика. Стенки ХИТ в местах соприкосновения с кассетой покрываются материалом, отражающим тепловое излучение. Это обеспечит ХИТ необходимой температурой для протекания внутренних химических реакций, и в тоже время уменьшит тепловое воздействие через излучение на окружающую среду. Совокупность вышеперечисленных мер и решений обеспечит необходимые температурные условия в отсеке с печатными платами и, следовательно, корректную работу прибора.

Для обеспечения герметичности между корпусом и крышкой будет расположена рамка, в которую помещается резиновая прокладка. Зазор между корпусом и медной пластиной, а так же контакт выводов ХИТ с прокладкой - заполняется клеем К-400. Для обеспечения перераспределения электрического потенциала и приведения элементов изделия к одному электрическому потенциалу применен узел заземления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

					211000.2017.061.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		66

- 1) Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др.; Под общ. ред. В.А. Шахнова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 568 с.: ил. — (Информатика в техническом университете).
- 2) Дульнев Г. Н. Тепло – и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре: 2Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1984 – 247с, ил.
- 3) Дульнев Г. Н. Теплообмен в радиоэлектронных устройствах. М. – Л., Госэнергоиздат, 1963 – 232с, ил.
- 4) Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. М., «Советское радио», 1976 – 232с, ил.
- 5) Краус А. Д. Охлаждение радиоэлектронного оборудования: Пер. с англ. – М.: Энергия, 1971
- 6) Герметичные корпуса [электронный ресурс] . – http://www.gainta.com/plastic_sealed_enclosure/
- 7) Справочник конструктора РЭА. Общие принципы конструирования./ Под. ред. Варламова Р. Г. – М: «Советское радио», 1980 – 478с, ил.
- 8) Мокрый войлок [электронный ресурс] . – <http://masterm-vo.ru/ru/vojlok-lmokryjr.html>
- 9) Мокрый войлок описание [электронный ресурс]. – <https://22425-ru.all.biz/vojlok-mokryj-g143734>
- 10) Кремнеземная ткань [электронный ресурс]. – <http://tdstt.ru/products/category/1729497>
- 11) Кремнеземные волокна [электронный ресурс]. – <http://www.nprostekloplastic.ru/production/fiber-materials/silica-materials/>

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

211000.2017.061.00.00 ПЗ

- 12) Пенофол тип «С» [электронный ресурс]. –
<http://www.viavent.ru/products/izo/penofol/penofol-c/>
- 13) Пенофол описание [электронный ресурс]. –
<http://www.penofol.com/tech.html>
- 14) Пенофол характеристики [электронный ресурс]. –
<http://www.termamarket.ru/penofol>
- 15) Органопластики общие сведения [электронный ресурс]. –
<http://viam.ru/organoplastics>
- 16) Органопластики и их свойства [электронный ресурс]. –
<http://polycomposite.ru/composite/organoplastik.php>
- 17) Полимерные материалы [электронный ресурс]. – <http://www.e-plastic.ru/specialistam/polimernie-materiali>
- 18) Температурный коэффициент [электронный ресурс]. –
<http://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/GuidePhysicsHeatAndTemperature/HeatexpansionCoefficient/>
- 19) Герметичный вводы [электронный ресурс]. –
<http://www.ect.ru/catalog.phtml?brief=9/61/1>
- 20) ГОСТ 19005-81. Средства обеспечения защиты изделий ракетной и ракетно-космической техники от статического электричества. Общие требования к металлизации и заземлению, с-14
- 21) Алямовский А. А.- Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с., ил. (Серия «Проектирование»).
- 22) Фридман Е. И. Ф 88 Герметизация радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 1978. — 360 с., ил.
- 23) ГОСТ 2.102-68. Виды и комплектность конструкторских документов. – 9с.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата