

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

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы
Специальность 24.05.01 – Проектирование, производство и эксплуатация ракет и
ракетно-космических комплексов
Специализация – Пилотируемые и автоматические космические аппараты и
системы

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зам. зав. кафедрой
В.В. Соловьев
«29» 01 2024г

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование космического аппарата стандарта CubeSat для сбора и
увода с орбиты космического мусора

Исполнитель
студент группы 8111–ос

(подпись, дата)

А.С. Кизима

Руководитель
доцент, канд. техн. наук

(подпись, дата)

В.В. Соловьев

Консультант по БЖД
доцент, канд. техн. наук

(подпись, дата)

А.В. Козырь

Нормоконтроль
старш. препод. каф. СиТРК

(подпись, дата)

М.А. Аревков

Рецензент

(подпись, дата)

Р.А. Заворотько

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

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы

УТВЕРЖДАЮ

Зам. зав. кафедрой

 В.В. Соловьев

«29» января 2024г

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Кизимы Анны Сергеевны

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование космического аппарата стандарта CubeSat для сбора и увода с орбиты космического мусора.

учреждена приказом от 19.12.2023 № 3381-уч

2. Срок сдачи студентом законченной работы 01.02.2024г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: стандарт спутников CubeSat, патенты на КА для сбора космического мусора, ГОСТы, справочная литература.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): состав и компоновка спутника, описание работы космического аппарата в космосе, моделирование корпуса и самого спутника, выбор аппаратуры и двигателей, безопасность и экологичность разработки, экономическая часть.

5. Перечень материалов приложения: цели и задачи дипломной работы, корпус, сборка КА, маршрутно-операционная карта, отдельные компоненты корпуса Козырь А. В. доцент, канд. техн. наук.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе: консультант по БЖД.

7. Дата выдачи задания 30.12.2023г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Соловьев В. В. доцент,
канд. техн. наук.

Задание принял к исполнению (дата): 30.12.2023г.



РЕФЕРАТ

Дипломная работа содержит 67 страниц, 15 рисунков, 15 таблиц, 9 источников.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ, НАНОСПУТНИК, КОСМИЧЕСКИЙ МУСОР, НИЗКАЯ ОКОЛОЗЕМНАЯ ОРБИТА, МАРШРУТНО–ОПЕРАЦИОННАЯ КАРТА, ТОРМОЗНОЙ ИМУПЛЬС, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

В работе представлены результаты проектирования космического аппарата стандарта CubeSat для увода с орбиты космического мусора.

Цель работы – проектирование космического аппарата стандарта CubeSat для увода с орбиты космического мусора.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) подобрана аппаратура;
- 2) спроектирована 3D–модель корпуса космического аппарата;
- 3) создана 3D–модель собранного спутника;
- 4) рассчитан межорбитальный перелет с начальной орбиты на орбиту космического мусора;
- 5) рассчитан тормозной импульс для схода с орбиты КА;
- 6) разобран технологический процесс изготовления корпуса спутника;
- 7) расписана маршрутно–операционная карта сборки КА;
- 8) рассмотрена техника безопасности при изготовлении корпуса;
- 9) проведен экономический расчет затрат на разработку космического аппарата.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ	9
1.1 Общие сведения о наноспутниках	9
1.2 Описание состояния проблемы космического мусора в 20-х годах	10
1.3 Обзор САПР для проектирования КА	12
2 ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ	14
2.1 Компоновка КА	14
2.2 Описание работы КА	29
2.3 Расчет межорбитального перелета	30
2.4 Расчет тормозного импульса для спуска с орбиты КА	33
2.5 Анализ ситуации в околоземном космическом пространстве	35
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	40
3.1 Технологический процесс стенки корпуса	40
3.2 Маршрутно–операционная карта сборки КА	51
4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ	55
4.1 Общие требования безопасности при литейных работах	55
4.2 Средства защиты при проведении литейных работ	57
4.3 Требования безопасности при изготовлении отливок литьем под давлением	59
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	62
5.1 Затраты на материальные расходы	62
5.2 SWOT–анализ	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	67

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

- БВМ – Бортовой вычислительный модуль;
- ГСО – Геостационарная орбита;
- ДУ – Двигательная установка;
- КА – Космический аппарат;
- КМ – Космический мусор;
- КО – Космический объект;
- МКС – Международная космическая станция;
- НОО – Низкая околоземная орбита;
- ОКБ – Опытное конструкторское бюро;
- ПО – Программное обеспечение;
- ПН – Полезная нагрузка;
- РК – Разрядная камера;
- РН – Ракета–носитель;
- САПР – Система автоматизированного проектирования;
- СБ – Солнечная батарея;
- УКВ – Ультракороткие волны;
- ЦУП – Центр управления полетами.

ВВЕДЕНИЕ

В дипломной работе рассмотрим проблему космического мусора, что засоряет околоземное пространство, и которая представляет серьезную опасность для околоземного пространства. Эта проблема привлекает к себе достаточно большое внимание, а люди что исследуют её пишут множество научных статей, проектируют различные инженерные решения и проводят масштабные конференции. Фундаментальная задача исследований по космическому мусору заключается в изучении факторов и процессов, которые лежат в основе этой проблемы, а также в понимании ее значения для развития человечества. Прикладная наука занимается выявлением угроз, связанных с космическим мусором, оценкой рисков и разработкой методов борьбы с этой проблемой. Подводя итог, можем сказать, что проблема космического мусора была и будет оставаться одной из наиболее значимых научных проблем, с которыми сталкивались компании, государства, в общем, всё человечество.

Разберемся с самим понятием космического мусора. Согласно статье из сборника трудов конференции «Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угрозы» [1], мы можем сделать следующий вывод: весь космический мусор можно разделить на искусственный и естественный. После вывода на орбиту космического объекта в космосе остаются ступени ракет-носителей и разгонные блоки, которые под внешним воздействием в большинстве случаев взрываются и разлетаются на множество обломков, это искусственный КМ, составляющий основную часть всего космического мусора на орбитах Земли. Под естественным КМ подразумевают различные частицы и каменные обломки, а также астероиды, что находятся во всей вселенной [2].

Большинство космического мусора составляют фрагменты разрушения космических объектов после столкновений и взрывов [3].

Цель: проектирование космического аппарата стандарта CubeSat для увода с орбиты космического мусора.

Задачи:

- определение, подбор, расчет компонентов системы;
- описание работы спутника в действии, проектирование 3D–модели системы;
- рассмотрение технологического процесса создания системы; экономический расчет по реализации проекта.

Рабочей задачей являются сближение с КМ и последующее воздействие двигателями на объект для свода с орбиты и последующего сжигания в плотных слоях атмосферы.

Для данного проекта были просмотрены и проанализированы статьи, конференции, журналы, книги и патенты по похожим разработкам для очистки орбит, по КМ как угрозе для освоения космоса, так и для самого человечества.

1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1.1 Общие сведения о наноспутниках

Для начала определим, что подразумевают под космическим аппаратом. КА представляет собой техническое устройство, созданное специально для работы в космическом пространстве с целью решения задач его назначения. Космические аппараты разрабатываются для осуществления различных задач, таких как наблюдение Земли, исследование космического пространства, связь, навигация и т.д. Они обычно оснащены различными научными и техническими инструментами, датчиками и системами, которые позволяют им выполнять свои функции в космосе.

По массе КА делят на: большие (более 1000кг); малые (100–1000кг); микроспутники (10–100кг); наноспутники (1–10кг); пикоспутники (менее 1кг) [4].

Среди разрабатываемых КА мы все чаще видим наноспутники. Наноспутники стандарта «CubeSat», предоставляют учащимся школ и вузов узнать, что такое создание спутников, познакомиться с космической отраслью. Учащиеся могут почувствовать себя инженерами и конструкторами, создавая и проектируя спутники от начальной стадии создания идеи и до конечной, когда им дается шанс провести запуск своей разработки в космос. Они на собственном опыте все это прочувствуют, и может быть, после окончания школ и вузов они пополнят ряды работающих в космическом производстве. Таким образом, наноспутники «CubeSat» дают студентам уникальную возможность получить практический опыт в области космических наук и технологий.

Наноспутники стандарта "CubeSat" имеют ряд преимуществ. Они отличаются простотой в разработке, что обусловлено стандартизацией и модульной конструкцией. Кроме того, они обладают низкой стоимостью и могут быть быстро изготовлены. Еще одним плюсом является возможность создания группировок спутников. Для учебных заведений особенно ценным является

бесплатный запуск по программе "УниверСат". Однако у наноспутников также есть некоторые недостатки. Их функциональные возможности ограничены, а срок эксплуатации сравнительно короткий. Кроме того, они не могут быть запущены на высокие орбиты из-за ограниченной мощности и размеров.

1.2 Описание состояния проблемы космического мусора в 20–х годах

В настоящее время космический мусор, что находится на орбите, угрожает МКС и всем действующим спутникам, помимо этого, также представляет угрозу будущим запускам. Известно, что на орбите находится мусора от 1 см более 500000, а до 1 см больше 100 млн., а масса КМ уже превышает 8000 т. Космический мусор представляет собой серьезную угрозу, так как может привести к разрушению КА.

Не считая выведения из строя КА и их полного уничтожения, космический мусор при столкновении может расколоться на множество частиц, что только усугубит ситуацию на орбите. А ведь пострадавшей стороной может стать не только космическая отрасль, но и жители Земли, что не связаны с данной отраслью. Причиной служит то, что на орбите работают КА, необходимые для комфортной жизни современного человека: метеорологические датчики для прогноза погоды, навигационные системы и телекоммуникация – вот самые распространенные примеры. Каждый космический спутник, поврежденный или уничтоженный космическим мусором, оказывает негативное влияние на работоспособность технологий, которые мы используем в повседневной жизни.

Самое известное столкновение, при участии российского спутника произошло в 2006 году, когда российский спутник «Экспресс АМ11» потерпел крушение из-за космического мусора. После столкновения система терморегулирования спутника разгерметизировалась, и он начал бесконтрольно вращаться, в последствии покинув свою орбиту.

Перечисленные выше проблемы столкновения с космическими аппаратами не единственные проблемы, что создает КМ. Еще одной важной проблемой является его угроза падения на поверхность Земли, принеся разрушение городам

и селам. Возможно, не углубляясь в проблему космического мусора можно подумать, что он не может достигнуть поверхности Земли, но это не так, ведь в космосе летают достаточно крупные обломки РН и КА, и как вариант даже астероиды, что также рассматриваются как космический мусор. И по данным, собираемым каждый год, известно, что крупные обломки достигают Земли, в основном этими обломками являются части космических аппаратов. К счастью, большинство этих обломков достигают поверхности в Мировом океане, что покрывает более 70% Земли. Но если какой-то крупный осколок приземлится в населенном пункте, это приведет к массовым разрушениям и человеческим жертвам. Самым известным подобным случаем является событие, произошедшее в 1978 году, когда в Канаде упал советский спутник КОСМОС-954, что привело к радиоактивному заражению и большому международному скандалу. Последствия данной чрезвычайной ситуации были быстро устранены, всего за несколько месяцев, а Советский Союз был обязан выплатить пострадавшей стране более 6 млн. долларов.

Примеры угроз, произошедших из-за КМ, и рассказанных выше дают нам понять, что данный вопрос надо развивать и находить решение для предотвращения разрушений космической техники, что необходимо для обычной жизни людей, и для предотвращения возможного вреда для их жизни. Как уже было сказано, проблема КМ признана во всем мире, но вот самое экономичное решение еще не было найдено.

Но на этом перечислены еще не все угрозы космического мусора. Еще одну представляет Синдром Кесслера. Синдромом Кесслера является явление, при котором объем КМ на орбите достигает точки, когда возникает эффект эскалации, что приведет к ограничению использования и эксплуатации околоземного пространства. Другими словами, большое количество мусора на орбите приведет к ограничению использования и эксплуатации космического пространства.

Впервые разговор об угрозе космического мусора был начат в 1980-х гг., в то время плотность КМ в космическом пространстве достигла той стадии, когда

появилась необходимость в работе баллистиков, дабы обеспечить безопасное размещение космических аппаратов в засоренном космическим мусором околоземном пространстве. В это время и появилась угроза освоения, изучения и исследования космоса, а проблема привлекла к себе внимание коммерческих компаний и государственных организаций, которые задумались о будущих рисках проблемы, если оставить ее без должного внимания. В конечном счете были организованы специализированные группы, которые начали разрабатывать инженерные решения, что помогли бы очистить орбиту, как с земли, так и напрямую из космоса. Кроме этого, проблема была вынесена на международный уровень, где ей стали уделять внимание не только эти группы, но и люди, напрямую не связанные с космической отраслью [5].

1.3 Обзор САПР для проектирования КА

В работе, для проектирования космического аппарата, используется САПР, лицензия на которую есть в распоряжении АмГУ. Рассмотрим трехмерное моделирование программы КОМПАС–3D.

В САПР КОМПАС–3D имеется возможность автоматизировать процесс проектирования изделий, с помощью параметрического моделирования.

Такой тип моделирования дает нам возможность управлять взаиморасположением элементов конструкции, при этом автоматически обновлять полученную модель и изменять чертежи в процессе внесения изменений в первоначальную модель.

В данную программу также встроен чертежно-графический редактор КОМПАС–ГРАФИК, который дает возможность эффективно выполнить проектно–конструкторские работы.

Данная система имеет одну довольно полезную функцию, которая позволяет добавить в графический документ растровое изображение, при этом можно изменить масштаб добавляемого растрового изображения. В КОМПАС–3D имеется возможность сохранить созданный документ в различных типах файла, таких как изображение, PDF и др.

Главным преимуществом этой программы служит поддержка межгосударственных стандартов ЕСКД и ГОСТ. В КОМПАС–ГРАФИК поддерживаются пользовательские и стандартные стили линий и штриховок. В КОМПАС можно использовать все типы размеров: линейные, угловые и диаметральные. Помимо этого, можно автоматически проставлять допуски и подбирать качества, исходя из заданных предельных отклонений.

2 ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ

Целью данной части является проектирование спутника стандарта CubeSat для свода с орбиты космического мусора. Наноспутник должен быть разработан по стандартам наноспутников формата CubeSat, которые имеются в открытом доступе на международных сайтах.

Разрабатываемый спутник должен иметь: средства приема и передачи данных с ЦУПом; датчики, для определения нахождения рядом КМ; систему ориентации и стабилизации, чтобы стабилизировать свое положение и совершить поворот в случае необходимости; систему энергопитания и солнечные батареи, для обеспечения работоспособности всего КА; двигатели для сближения с КМ и его сброса с орбиты; бортовая аппаратура, что будет приводить в действие все системы спутника.

2.1 Компоновка КА

Проектируемый наноспутник – 27–юнитовый кубсат (27 Unit CubeSat), состоящий из, непосредственно, корпуса внутри которого находятся бортовая аппаратура, системы ориентации и стабилизации, приемопередатчики, источники питания, двигатели и целевая аппаратура, которая будет выполнять задачу ловли или свода с орбиты КМ.

Далее рассмотрим аппаратуру, входящую в КА: Вся аппаратура, кроме двигателей и корпуса является продуктами компании ООО «Спутникс».

Бортовая аппаратура

Бортовой аппаратурой выбрана плата бортового вычислительного модуля, которая управляет спутником, и состоит из следующих устройств:

- автономного контроллера системы ориентации и стабилизации;
- энергосберегающего микроконтроллера управления датчиками;
- гироскопа и магнитометра;
- блока управления электромагнитными катушками;
- датчика температуры;

- таймера реального времени с дополнительным источником питания;
- системы энергопитания;
- системы централизованного программирования и отладки установленных программ.

Вычислитель Raspberry и все остальные устройства подключаются к бортовой шине. Помимо данной шины используются и другие интерфейсы, которые подключаются через разъем PC104:

- SPI с двумя NSS;
- Шина I2C;
- асинхронный интерфейс UART;
- на отдельном разъеме доступен высокоскоростной порт USB 2.0.

установленный коммутатор интерфейсов, используемый для программирования и отладки, обеспечивает до 6-ти двухпроводных интерфейсов для встроенных устройств и внешних плат, которые присоединены по интерфейсу PC104 и используют мультиплексор. Все микроконтроллеры, которые входят в состав собранного КА начинают быть доступными для отладки и прошивки.

Масса данной платы со всеми необходимыми установленными устройствами – 55 грамм, а работает она при температурах от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$. Полезные нагрузки подключаются и запитываются от внутренней шины 5 В, в том случае, если ток питания не превосходит 100 мА.

Если используется 3-осевая система ориентации и стабилизации, то к вычислителю максимум возможно подключить шесть солнечных датчиков. Встроенный в плату микроконтроллер системы ориентации и стабилизации выполняет задачи самостоятельно, при этом используя интерфейс CAN, чтобы принимать и передавать команды, и использовать телеметрию.

Экономичный микроконтроллер обеспечивает CAN-интерфейс для датчиков, управляя бортовыми системами, вместе с этим он проводит контроль выполнения плана полета, чтобы снизить энергопотребление основного

вычислительного модуля. Данный микроконтроллер самостоятельно проводит запуск стабилизации, когда необходимо, воспользовавшись встроенным драйвером электромагнитных катушек.

Система бортового вычислительного модуля позволяет работать в экономичном режиме, используя соответствующий микроконтроллер для каждого из режимов:

- экономичный микроконтроллер при сборе данных;
- контроллер системы ориентации и стабилизации в режиме ожидания команд;
- мощные вычислительные средства Raspberry Pi для работы с полезной нагрузкой.

В каждом программируемом устройстве есть средства, которые способствуют обновлению ПО во время полета.

Основными характеристиками являются:

- гибкая одноуровневая структура: все подключенные устройства соединены шиной CAN;
- слот подключения Raspberry Compute Module CM3 и Raspberry Compute Module CM1;
- подключение к шине CAN датчиков: магнитометр, угловая скорость, температура, напряжения и токи;
- драйвер электромагнитных катушек;
- бортовой контроллер системы ориентации и стабилизации;
- экономичный микроконтроллер с функцией демпфирования угловой скорости и контроля выполнения полетного плана;
- средства для обновления ПО во время полета;
- система отладки со множеством необходимых функций.



Рисунок 1 – Бортовой вычислительный модуль

Ниже представим характеристики модуля в виде таблицы.

Таблица 1 – Характеристики БВМ

Размеры	86,2x93,6x4 мм
Масса	55 г
Напряжение питания	5..14 В
Потребляемая мощность,	0,25 Вт– работают только датчики
Потребление питания внешними устройствами	Шина 5 В при токе до 100 мА для полезных нагрузок
Выключатель	3 канала до 600 мА каждый
Драйвер электромагнитных катушек	3 канала до 500 мА каждый
Состав телеметрической информации о собственном состоянии	Напряжения и токи питания, напряжения и токи катушек, показания магнитометра, угловая скорость, температура
Диапазон рабочих температур	-40...+85°C
Диапазон температур при хранении	-50...+105°C
Механическая вибрация	12 g
Механический удар	50 g

Система ориентации и стабилизации

Для стабилизации КА используем блок маховиков, который представляет из себя полный набор исполнительных элементов для систем ориентации и стабилизации, в него входят четыре маховика с драйверами и электроникой для управления.

Маховики и управляющая электроника сбалансированы и откалиброваны, при этом они создают вращательный момент, нужный для поворота КА. В блоке маховиков существует одно соединение с информационной и силовой шиной космического аппарата. Каждый драйвер управляется по-отдельности.

Таблица 2 – Характеристики блока маховиков

Размеры	97x97x80 мм
Масса	520 г
Напряжение питания	4–15 В
Потребляемая мощность	2..8 Вт
Интерфейс передачи данных	CAN 2.0B
Диапазон скоростей двигателя	± 6000 об/мин
Точность управления скоростью	<10 об/мин
Максимальный момент силы, крутящий момент (X/Y/Z оси)	9,1/9,1/4,7 мН*м
Момент импульса, накопленный момент (@6000 об/м, X/Y/Z оси)	$\pm 18/18/9,6$ мН*м*с
Собственная телеметрия	У каждого двигателя: температура, напряжение, сила тока, скорость вращения, момент
Рабочая среда	Вакуум
Диапазон рабочих температур	$-30...+85^{\circ}\text{C}$
Диапазон температур при хранении	$-50...+105^{\circ}\text{C}$
Механическая вибрация	12 g
Механический удар	50 g

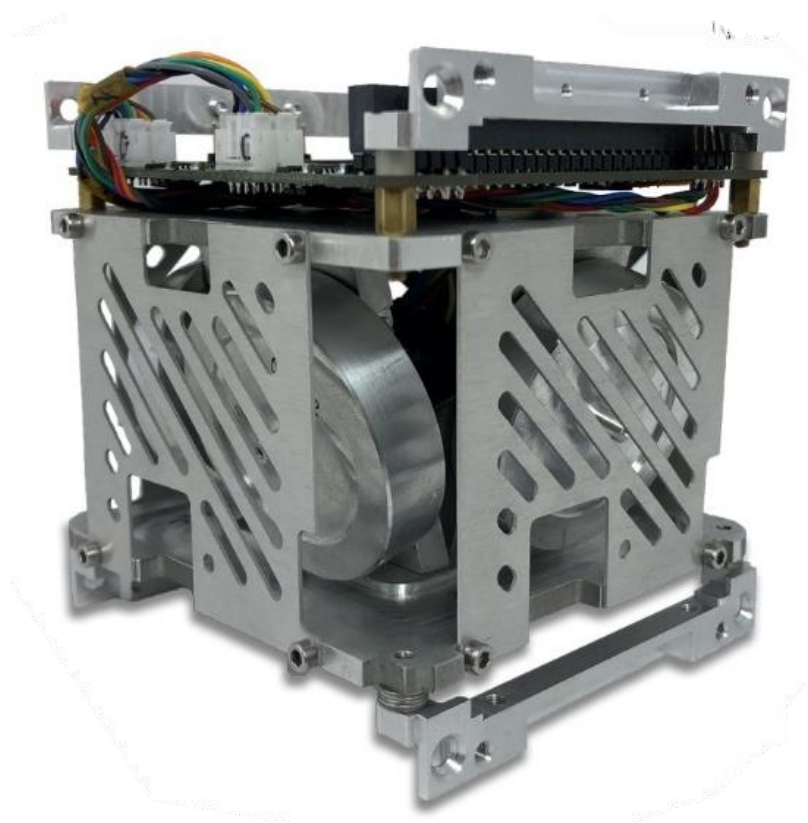


Рисунок 2 – Блок маховиков

Приемопередатчики

Приемопередатчик УКВ–диапазона представляет собой плату, которая подключается к стеку плат, входящего в основной блок электроники спутника. На плате размещен разъем SMA, который необходим для подключения антенны, и интерфейс, с помощью которого происходит развертывание антенны.

Данная плата приемопередатчика работает по настраиваемой частоте от 434 до 436 МГц в полосе пропускания не шире 20 КГц. При этом скорость передачи доходит до 9600 бод, что является достаточным условием для обмена телеметрией, командами и данными с ПН. Выходная мощность может достигнуть максимальной отметки в 1 Вт и чувствительности в 119 дБм, эти характеристики были оптимизированы под передачу с низкой околоземной орбиты, с которой обычно получают информацию от космического аппарата. Приемопередатчик работает при температурах $-40...+85^{\circ}\text{C}$, вес – около 40 г. Часы реального времени подключены к автономному источнику питания,

Потребляемая мощность, максимум	3,5 Вт – передача, 0,2 Вт – прием
Рабочая частота	434–438 МГц, опция 400–401 МГц
Выходная мощность	30–33 дБм
Тип модуляции	GMSK
Скорость передачи данных	57600, 38400, 19200, 9600, 4800, 2400 бит/с
Чувствительность приемника	–119 дБм
Состав телеметрической информации о собственном состоянии	Температура микроконтроллера и приемопередатчика, напряжение, ток, мощность прямого и обратного излучения, показатель уровня сигнала (RSSI), текущее время

Источники энергии

Система энергопитания следит и управляет всем энергопитанием спутника от аккумуляторного блока, панелей СБ, которые можно подключить в количестве до 14 штук. Контакт для зарядки внешних аккумуляторов находится на разъеме РС104 и, в основном, имеет соединение с разъемом USB сервисной панели. Для проведения обмена данными с блоком аккумуляторов необходимо воспользоваться специальным интерфейсом.

Имеется возможность использования солнечных панелей со встроенными электромагнитными катушками. Плата системы энергопитания имеет три входных разъема, используемых солнечными панелями, один разъем используется для одной оси аппарата. По каждой из осей солнечные панели соединяются друг с другом с помощью кабельной системы и имеют подключение к отдельному разъему, что дает возможность нарастить катушки, которые входят в состав каждой солнечной панели, и используются для суммирования магнитных полей. Катушки подключаются к драйверам, используя разъем РС104. Устройства для зарядки работают по алгоритму, что отслеживает точки максимальной мощности, а после происходит поддержка двух типов фотоэлементов: GaAs и Si, если уровень напряжения правильный.

В данную систему энергопитания входит 4-канальный выходной коммутатор питания, имеющий защиту по току и напряжению и формирующий телеметрию на каждом канале. Вся телеметрия передается через шину CAN, включает в себя такую информацию как: настоящее состояние батарей, входная мощность, температуру, тип неисправностей, выявленных в процессе работы. Кроме этого, имеются 3 внешних сигнала, что используются для управления вспомогательным коммутатором питания, который может отдельно активировать различные датчики, включая солнечные, а также бортовой компьютер.

Используя датчики температуры, нагреватели и переключатели, которые встроены в систему, происходит защита блока аккумуляторов, и энергопитание функционирует при температурах от 40 до 85°C. Также имеется необходимость проводить предварительный расчет температурных условий каждого полета.

Аппаратный сторожевой таймер настроен работать с периодом 25 часов и имеет возможность быть сброшенным только по команде, поступающей из ЦУПа. Данная возможность исключает закливание ПО системы управления. Кроме того, для выполнения функции супервизора программных функций нужно использовать программные сторожевые таймеры.

Отказоустойчивая конфигурация доступа к памяти и наличие встроенного загрузчика обновлений программного обеспечения во время полета обеспечивает надежность ПО.

Основные характеристики системы энергопитания:

- три независимых друг от друга устройства зарядки, которые имеют функцию поиска точки максимальной мощности;
- КПД преобразования доходит до 86%;
- поддержка использования панелей солнечных элементов Si и GaAs;
- 4 выходных канала с ограничениями по току;
- коммутатор питания с таймерами, устойчивый к отказам и перебоям;
- подключение датчиков отделения аппарата;
- аппаратный сторожевой таймер с большим периодом;

– довольно большой набор телеметрии.

Таблица 4 – Характеристики системы энергопитания

Размеры	96x89x14 мм
Масса	58 г
Число каналов солнечных панелей	3
Тип солнечных панелей	GaAs, Si
Напряжение солнечных панелей	3..6 В
Максимальный ток солнечной панели в канале	1500 мА
Максимальный суммарный ток солнечных панелей	3000 мА
Напряжение системной шины	8 В (от солнечных панелей, зарядного устройства) 6,0 В – 8,4 В (от батарей)
Выходных каналов	4
Напряжение выходных каналов	Совпадает с напряжением системной шины
Максимальный ток выходного канала	1500 мА
Суммарный ток на выходе	5000 мА
Тип батареи	LiFePO4, Li-Ion
Напряжение батареи	2S (5,0 В – 8,5 В)
Напряжение зарядки	4,5..5,5 В
Предельное значение тока зарядки	1.1А
Энергопотребление, максимум	0,16 Вт – без энергопотребления солнечных панелей
«Remove Before Flight»	Датчики отделения Два отдельных разъема, отдельное отключаемое заземление питания бортовых часов
Экономичный микроконтроллер	Оборудование: процессор Cortex-M4 16 МГц; флэш-память 256 Кб; оперативная память 64 Кб; энергопотребление 15 мВт. Программное обеспечение: сторожевые таймеры; сигналы точного времени; отслеживание уровня заряжения; проверка выполнения плана полета;

	загрузчик/отладчик
Период аппаратного сторожевого таймера	25 часов
Каналов нагреваия батарей	2
Максимальный ток канала нагреваия батарей	1000 мА
Состав телеметрии	Входные напряжения и токи, напряжения и токи батареи, токи выходных каналов, температура
Диапазон рабочих температур	-40...+85°C
Диапазон температур при хранении	-50...+105°C
Механическая вибрация	12 g
Механический удар	50 g



Рисунок 4 – Система энергопитания

Таблица 5 – Характеристики блока аккумуляторов

Размеры	97x83x34,5 мм
Вес	360 г
Тип аккумулятора	Li-Ion
Напряжение аккумулятора	2S (5,0В – 8,5В)

Емкость	10.6 А·ч (39,8 Вт·ч)
Предел защиты по току	5,0 А
Пределы защиты по напряжению	5,0 V, 8,5 V
Число каналов нагревателей аккумуляторов	2
Сопротивление нагревателя	40 Ом
Состав телеметрии	Напряжение, температура
Диапазон рабочих температур	-40...+85°C (-20...+60°C для увеличения срока работы аккумуляторов)
Диапазон температур при хранении	-50...+105°C
Механическая вибрация	12 g
Механический удар	50 g



Рисунок 5 – Блок аккумуляторов

Солнечные панели

Данные солнечные панели основаны на кремниевых фотоэлектрических преобразователях и электромагнитных катушках, которые встроены в них.

Данная панель устанавливается на боковую стенку корпуса наноспутника. В панели есть встроенная электромагнитная катушка, которую возможно использовать в системе ориентации и стабилизации аппарата.

Основные характеристики солнечных панелей:

- прочная механическая конструкция, имеющая защитное покрытие;
- наличие супердиодной схемы защиты;
- используется встроенная электромагнитная катушка;
- при использовании нескольких панелей происходит суммирование получаемой мощности;
- существование протокола функциональных испытаний на каждую солнечную панель.



Рисунок 6 – Солнечная панель

Таблица 6 – Характеристики солнечных панелей

Размеры	98x82,6x8,6 мм (толщина 1,7 мм)
Масса	32 г
Тип элемента	Si
Напряжение открытой цепи (V_{oc})	5,4 В
Ток короткого замыкания (I_{sc})	330 мА
Напряжение при максимальной мощности (V_{mp})	4,4 В

Ток при максимальной мощности	280 мА
КПД	18%
Эквивалентная площадь катушки	1,9 м ²
Сопротивление катушки	200 Ом
Диапазон рабочих температур	–40...+105°С
Механическая вибрация	12 g
Механический удар	50 g

Двигатели на КА

Для полета к КМ необходимо чтобы КА мог двигаться по трем осям, аппарат представляет собой куб с 6 гранями, на каждую ось которого, нужно поставить по двигателю.

Выбор остановился на плазменных двигателях, а именно на плазменном двигателе Плас–34, разработанного в ОКБ «Факел».

Двигатели типа ПлаС имеют одну особенность, что отличает их от других двигателей подобного рода. Эта особенность заключается в комбинированной разрядной камере, выходная часть которой образована диэлектрическими кольцами, что расположены в зоне самого интенсивного роста радиальной составляющей магнитной индукции, донная же часть состоит из внутренней полости примыкающего к выходным кольцам полого магнитного анода–газораспределителя, что изолирован электрически от других элементов конструкции двигателя.

Преимущества полого магнитного анода: можно минимизировать колебания плазмы, используя облегченный процесс замыкания электронов на анод из любой зоны РК и оптимизацию процесса ионообразования благодаря эффективному использованию ширины УК; возможно сформировать оптимальную структуру магнитного поля, имеющего повышенный градиент в канале по направлению анода – срез РК.

Выполняя РК комбинацией металлокерамических материалов, есть возможность существенно снизить угрозу аккумуляции статического

электричества, а также предотвратить возникновение электрических пробоев вдоль стенок камеры, что является довольно важным во время эксплуатации при низких температурах.

В ОКБ «Факел» разработали плазменные двигатели с полым магнитным анодом малой мощности. Ниже представлен двигатель ПлаС–34.



Рисунок 7 – Плас–34

Таблица 7 – Основные характеристики двигателя

Рабочее тело	Хе
Напряжение разряда, В	150..300
Ток разряда, А	0,60..1,5
Мощность разряда, Вт	100..360
Тяга, мН	до 22
Удельный импульс тяги, с	до 1300
КПД, %	до 35
Цена тяги, Вт/мН	18..21
Масса, кг	0,97
Габаритные размеры, мм	100×90×85

Корпус

В компоновку космического аппарата также входит корпус, что является каркасом для всего КА. В корпус устанавливаются вся аппаратура, двигатели и электроника. 3D-модель корпуса представлена на рисунке ниже.

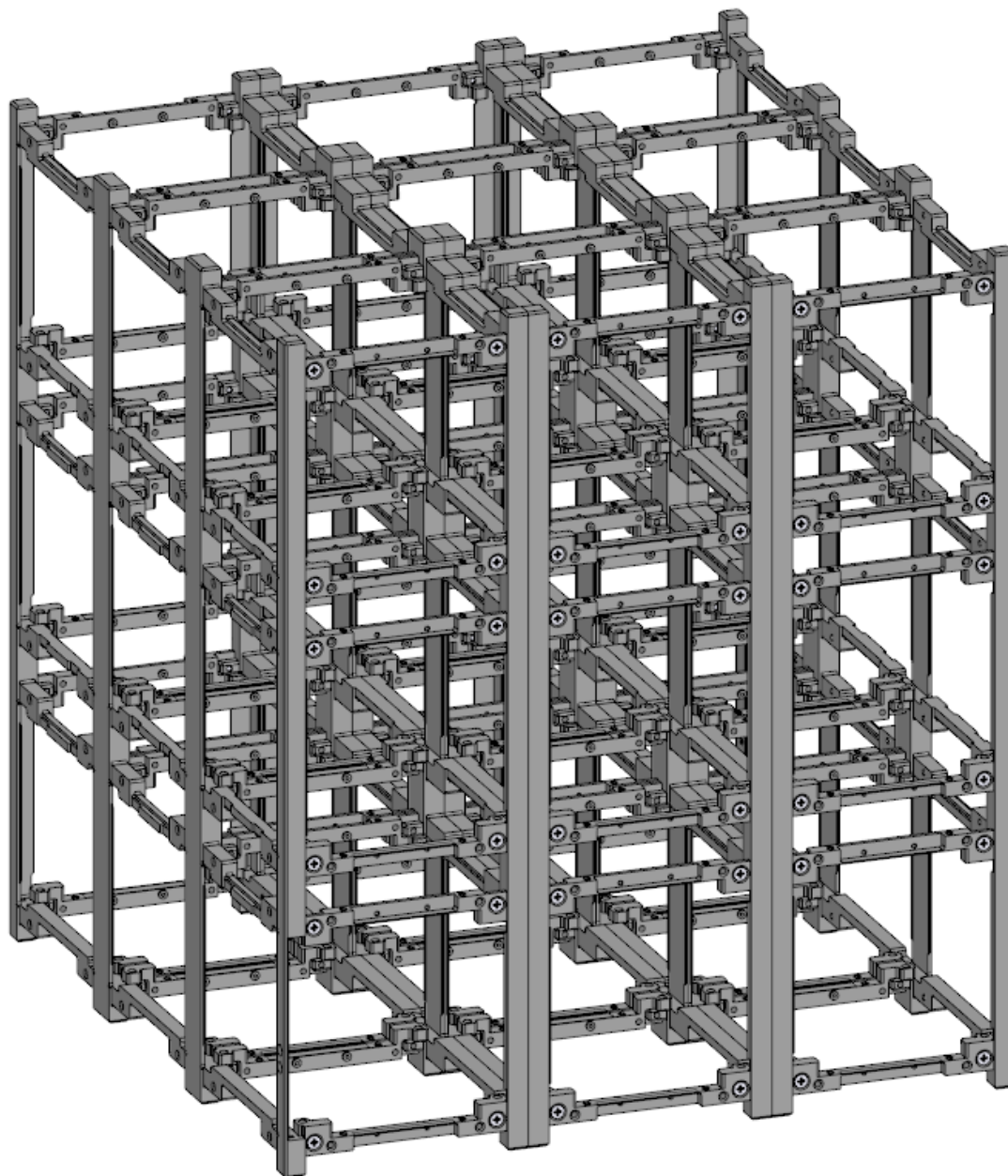


Рисунок 8 – 3D-модель корпуса спутника

2.2 Описание работы КА

После вывода КА на орбиту РН, происходит выбор космического объекта, для сближения. Далее производится расчет перелета на орбиту КМ, затрат топлива, оценки времени перелета, необходимых импульсов.

Осуществляется первый импульс для перехода на переходную орбиту. В нашем случае используется двигатель малой тяги, и в данном случае импульсы будут продолжительными, и трасса сближения с орбитой космического мусора будет проходить несколькими витками, прежде чем КА перейдет на орбиту КМ.

Второй импульс будет осуществлен для торможения и закрепления на орбите космического объекта, подлежащего своду с орбиты.

С помощью маневрирования и системы ориентации при необходимости производится разворот спутника, чтобы направить воздействие двигателя на космический объект. Далее включается двигатель для сброса КО с орбиты, и в противодействие включается второй двигатель с меньшим импульсом, дабы спутник сманеврировал и не сбился с орбиты.

2.3 Расчет межорбитального перелета

Для начала найдем массу космического аппарата:

Таблица 8 – Массовая сводка

Корпус аппарата, кг	3,1
Двигатели, кг	12,61
Бортовая аппаратура, кг	0,138
Система энергопитания, кг	0,418
Солнечные батареи, кг	2,31
Система ориентации и стабилизации, кг	0,52

В результате масса КА равна 19, 096 кг.

Космический аппарат выводится на низкую околоземную орбиту попутной нагрузкой на ракете–носителе. Для перехода с НОО на орбиту космического мусора аппарату необходимо осуществить маневрирование с помощью двух импульсов.

Для расчета допустим, что наши орбиты являются компланарными. Обе орбиты круговые.

Таблица 9 – Параметры начальной и конечной орбит

Параметры	Начальная орбита	Конечная орбита
Высота, км	200	1000
Наклонение, град.	51,6	51,6

Скорость на начальной орбите найдем с помощью следующей формулы [6]:

$$V_n = \sqrt{\frac{\mu_3}{R_3 + H}}, \quad (1)$$

где R_3 – радиус Земли;

μ_3 – гравитационный параметр Земли;

H – высота орбиты.

$$V_n = 7,788 \text{ км/с}.$$

Найдем первый импульс скорости:

$$\Delta V_1 = \sqrt{\frac{2\mu_3}{r_n} - \frac{2\mu_3}{r_n + r_k}} - V_n, \quad (2)$$

где r_n и r_k – радиус-векторы начальной и конечной орбит.

$$\Delta V_1 = 0,22 \text{ км/с}.$$

Вычислим скорость на конечной орбите:

$$V_k = \sqrt{\frac{\mu_3}{r_k}}, \quad (3)$$

$$V_k = 7,354 \text{ км/с}.$$

Второй импульс скорости:

$$\Delta V_2 = V_k - \sqrt{\frac{2\mu_3}{r_k} - \frac{2\mu_3}{r_H + r_k}}, \quad (4)$$

$$\Delta V_2 = 0,214 \text{ км/с}.$$

Найдем массу топлива, необходимую для каждого импульса:

$$m_1 = m_0 \left(1 - e^{\frac{-|\Delta V_1|}{I_{y\partial}}} \right), \quad (5)$$

где m_0 – начальная масса КА;

$I_{y\partial}$ – удельный импульс двигателя, равен 1300 с.

$$m_1 = 0,313 \text{ кг}.$$

$$m_2 = (m_0 - m_1) \left(1 - e^{\frac{-|\Delta V_2|}{I_{y\partial}}} \right), \quad (6)$$

$$m_2 = 0,3 \text{ кг}.$$

Определим время работы двигателей при первом и втором импульсах:

$$t_1 = \frac{m_1}{m_q}, \quad (7)$$

$$t_2 = \frac{m_2}{m_q}, \quad (8)$$

где m_q – отношение тяги к удельному импульсу двигателя (тяга равна 0,022

Н).

$$t_1 = 181600c,$$

$$t_2 = 173700c.$$

На рисунке ниже показан перелет с начальной орбиты (красная линия) на орбиту космического мусора (синяя линия), и путь перелета (черная линия).

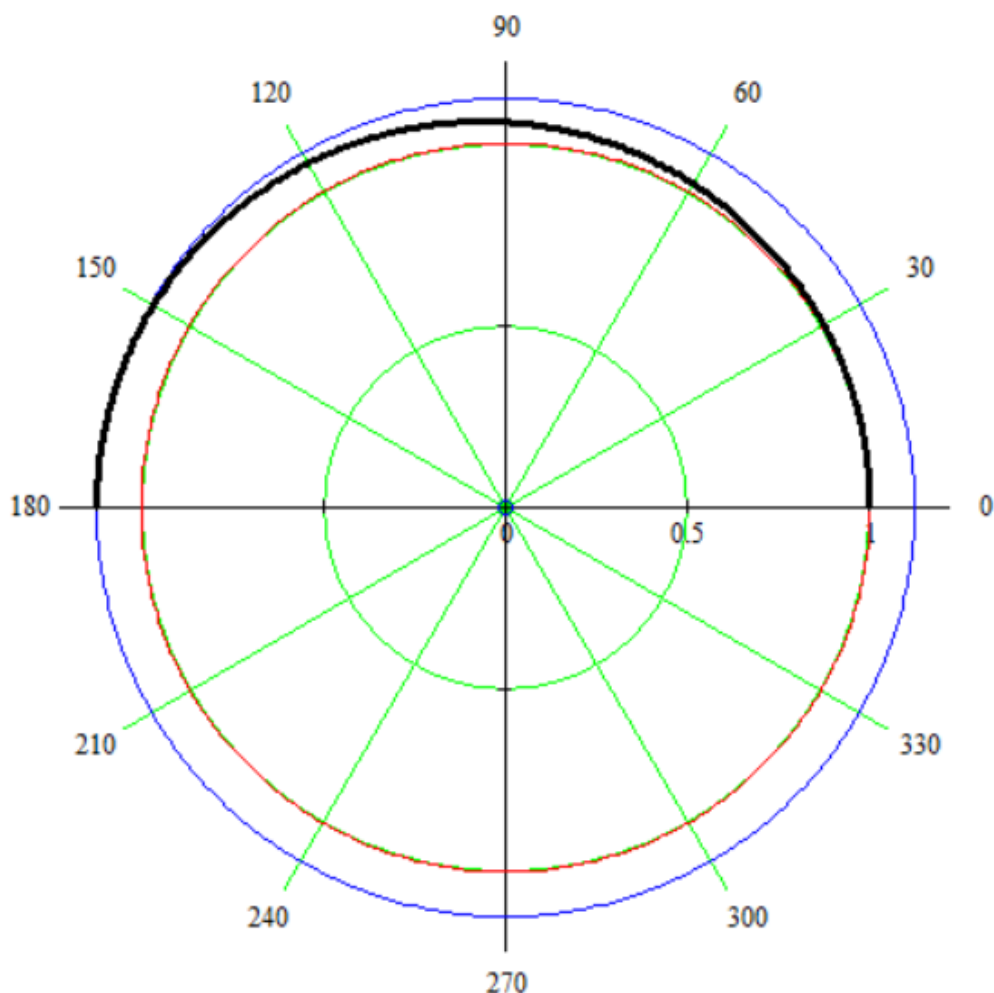


Рисунок 9 – Межорбитальный перелет

На рисунке показан немного упрощенный вариант, так как перелет будет осуществлен несколькими витками.

2.4 Расчет тормозного импульса для спуска с орбиты КА

После выполнения своей задачи космическому аппарату необходимо совершить тормозной импульс для спуска с орбиты для последующего сжигания в атмосфере, чтобы не увеличивать количество КМ на орбите.

Для расчета определим необходимые параметры по формулам (9) – (13) [7]:

Безразмерная высота орбиты:

$$\bar{r} = \frac{H_{\kappa} + r_{\text{э}}}{R_{\text{з}}}, \quad (9)$$

где H_{κ} – высота орбиты, с которой будет осуществлен спуск;

$r_{\text{э}}$ – экваториальный радиус Земли;

$R_{\text{з}}$ – средний радиус Земли.

$$\bar{r} = 1158 \text{ м}.$$

Расчет скорости.

Безразмерная скорость на орбите:

$$\bar{V} = \frac{1}{\sqrt{\bar{r}}}. \quad (10)$$

Скорость на орбите:

$$V = \bar{V} V_{\kappa}, \quad (11)$$

$$V = 232 \text{ м/с}.$$

Расчет тормозного импульса.

Безразмерный тормозной импульс:

$$\Delta \bar{V} = \frac{1}{\sqrt{\bar{r}}} - \bar{V}, \quad (12)$$

$$\Delta \bar{V} = -232.$$

Тормозной импульс:

$$\Delta V = \Delta \bar{V}_k, \quad (13)$$

$$\Delta V = 1834 \text{ км/с}.$$

Итак, необходимый тормозной импульс для схода с орбиты равен 1834 км/с.

2.5 Анализ ситуации в околоземном космическом пространстве

Сейчас происходит приближение эры мегасозвездий, когда многотысячные группировки спутников будут находиться на низких околоземных орбитах. Такие группировки будут использоваться для телекоммуникаций и прочего, чтобы обеспечить малую задержку в отправке и получении информации, а также для обеспечения полного покрытия поверхности Земли. В связи с данным развитием еще сильнее проявляется угроза космического мусора.

Специализированные космические аппараты, предназначенные для обнаружения и устранения неисправных спутников, будут играть важную роль в обеспечении безопасности мегасозвездий.

Спутники, находящиеся на низких орбитах, со временем замедляют свою скорость под действием аэродинамических сил, вызванных взаимодействием с разреженными верхними слоями атмосферы Земли. С этим сопротивлением связано замедление орбитальной скорости спутника, и, в конечном итоге, спутник начинает падать обратно в атмосферу. Время, через которое это произойдет, зависит от высоты орбиты и может составлять от нескольких недель до нескольких лет или даже столетий. На высотах более 800 км сопротивление воздуха начинает меньше воздействовать на КО, и в таком случае различные объекты могут оставаться на орбите в течение длительного времени.

На каждой заданной высоте космической орбиты наблюдается определенная концентрация космического мусора, которая определяется балансом между образованием новых объектов и естественными механизмами очистки. Образованию космического мусора способствуют операции запуска спутников, разрушение объектов и другие события, которые приводят к выбросу различных фрагментов и обломков. Таким образом, концентрация космического

мусора в пространстве является результатом сложного взаимодействия между процессами образования и естественной очистки. Она зависит от высоты и широты орбиты, а также от интенсивности и характера операций в космосе.

Самое огромное и максимальное количество мусора собирается на высотах 800–1000 км, 1400 км. Плотность КМ на ГСО и возле орбит группировок навигационных спутников на много меньше.

Учитывая частоту запусков, которая просчитывается каждый год и составляет примерно 110 запусков в год, а также взяв во внимание, что в будущем разрушения будут происходить со средней исторической скоростью 10 – 11 в год, можно сделать вывод, что с течением времени в космосе будет все больше и больше объектов КМ.

На рисунке 10 представлена модель Земли, на которой космический мусор представлен белыми треугольниками с траекториями, которые также отмечены белыми линиями. Большая часть объектов КМ находятся на орбитах с довольно высокими углами наклона, которые близятся по своим значениям к 80°.

Все траектории на изображении показаны в координатах ECEF, а значит, что, вся траектория вращается на запад благодаря вращению Земли. Спустя некоторое количество периодов орбиты все объекты космического мусора пройдут через лучи наблюдения радаров, что и показано на рисунке 11.

На рисунке обозначены зоны покрытия обсерваторий, которые расположены на территории нашей страны, а их зоны радиовидимости не совпадают.

Выбранные обсерватории:

- 084 – Главная астрономическая обсерватория РАН;
- ГАИШ – Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга;
- 115 – Специальная астрофизическая обсерватория РАН;
- Иркутская обсерватория;

- С06 – обсерватория Сибирского государственного аэрокосмического университета;
- С15 – уссурийская астрофизическая обсерватория.

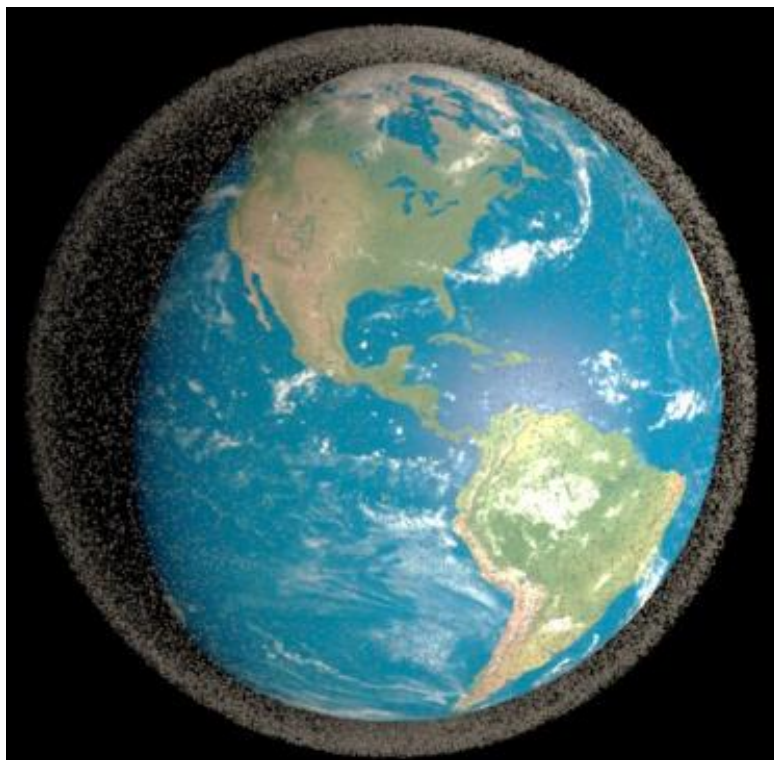


Рисунок 10 – Космический мусор на НОО

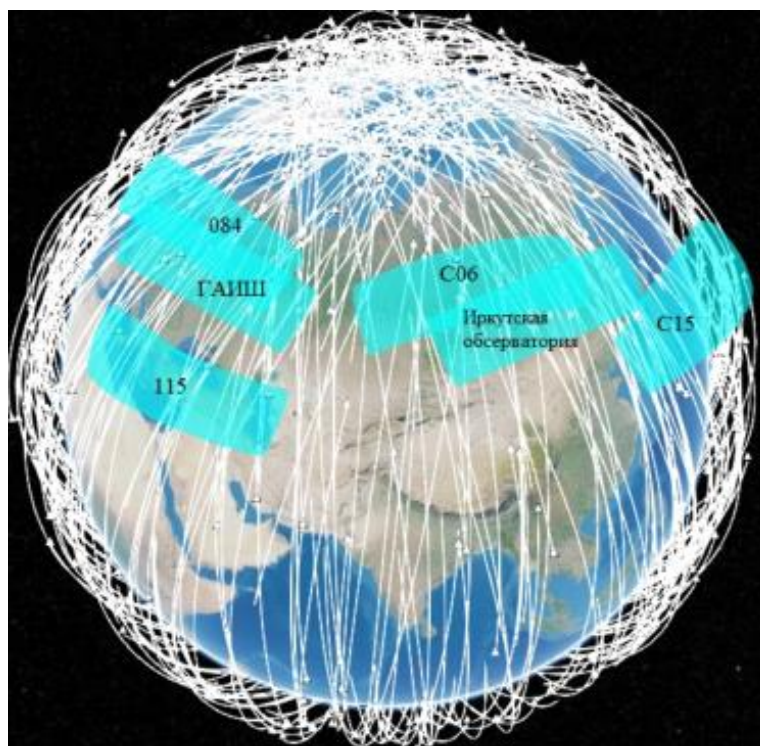


Рисунок 11 – Траектории космического мусора

Развитие космических технологий сделало огромный вклад в различные области человеческой жизни. Спутники, обращающиеся вокруг Земли, играют важную роль в обеспечении быстрой коммуникации и сбора ценных данных для различных исследований и картографирования. На данный момент на орбитах Земли находится больше 2500 действующих спутников, большинство из которых находятся на низкой орбите. Эти спутники предоставляют нам возможность получать данные о погоде, глобальном изменении климата, навигации, телекоммуникациях и многом другом. Они играют ключевую роль в обеспечении связи в отдаленных и труднодоступных районах, а также в научных исследованиях и мониторинге природных явлений.

В течение последних десятилетий количество, выведенных из эксплуатации или мертвых космических аппаратов на орбите Земли значительно увеличилось. Эти неактивные объекты до сих пор находятся в околоземном космическом пространстве и представляют из себя угрозу для активных миссий и спутников.

Небольшие фрагменты и частицы космического мусора также представляют значительные угрозы для функционирующих космических аппаратов. Серьезную проблему представляет даже маленький осколок, который способен вызвать неполадки или же разрушить действующий спутник после столкновения. По оценкам Европейского космического агентства, в околоземном пространстве существует более 128 млн. обломков и кусков материала.

В связи с тем, что космические организации продолжают размещать новые спутники и запускать миссии, становится важным стремиться к устойчивому использованию космического пространства. Это включает в себя обнаружение, анализ, классификацию и применение мер по смягчению последствий космического мусора. Обеспечение безопасности функционирующих спутников и минимизация рисков столкновения становится все более неотъемлемой частью управления космическим пространством.

В данном случае, для обнаружения рядом со спутником КМ воспользуемся бистатическим радаром. Бистатический радар состоит из набора бистатического

излучателя и бистатического приемника. Датчик, принимая сигналы вдоль пути, создает верхние стороны треугольника, с бистатическими обнаружениями, которые относятся к диапазону излучателя [8].

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Технологический процесс стенки корпуса

Начальной стадией создания технологического процесса является изучение рабочих чертежей и технических условий. После этого проводится контроль всех чертежей, проверяется на технологичность конструкция создаваемого изделия. Потом определяем последовательность всех операций, проводим выбор необходимого оборудования и оснастки, затем проводим расчеты режимов и нормирование. Если требуется, то выполняются расчеты на точность, устанавливаются припуски на обработку, промежуточные размеры и другие параметры. Это позволяет оптимизировать производственные процессы, обеспечить эффективное использование ресурсов, повысить доступность и качество изделия. Важным аспектом проектирования технологических процессов является учет требований стандартов и нормативных положений.

Когда разрабатывается чертеж имеется необходимость провести анализ конструкции детали с учетом требований к ней, свойств сплава, серийности и решить возможность ее отливки. В чертеж отливки, который разрабатывается по чертежу детали, входят следующие вопросы

- выбор положения отливки в форме;
- выбор базы;
- назначение припусков на механическую обработку;
- допуски на размеры и вес отливок;
- формовочные уклоны и галтели;
- отверстия и полости.

Когда выбирается плоскость разъема, необходимо обратить внимание на то, что извлечение отливки из пресс-формы должно быть без затруднений, а сама отливка должна оставаться в подвижной форме и удаляться с помощью выталкивающего механизма. Отливка должна быть размещена в подвижной полуформе вертикально, и плоскость разъема должна находиться у основания

отливки. Важно, чтобы при производстве отливки не возникало нарушение целостности и прочности детали, а также не было проблем с ее извлечением из пресс-формы. Правильный выбор плоскости разъема и удобное расположение отливки в пресс-форме позволяют обеспечить эффективную и безопасную процедуру извлечения готовой детали. Таким образом, выбор плоскости разъема и правильное расположение отливки являются важными факторами, которые следует учитывать при разработке и производстве деталей методом литья под давлением.

Базовая поверхность отливки является ключевой поверхностью, на которой деталь крепится в механическом приспособлении для последующей обработки. От базовой поверхности производится разметка отливки. При выборе базовой поверхности обращают внимание на несколько требований:

- базовая поверхность не должна подвергаться механической обработке после отливки;
- базовая поверхность должна быть оформлена одной плоскостью в пресс-форме, чтобы обеспечить правильное положение и крепление отливки;
- базовые элементы не должны содержать литники и другие отъемные части;
- за базовую поверхность принимается внутренняя полость отливки.

Выбор правильной базовой поверхности отливки играет важную роль в обеспечении точности и качества последующей механической обработки. Он также влияет на надежность и функциональность готовой детали. При разработке технологического процесса литья под давлением важно правильно определить базовую поверхность и ее особенности.

Припуски на механическую обработку устанавливаются для обеспечения заданных размеров и шероховатости поверхности детали согласно требованиям чертежа. Размер припусков зависит от различных факторов, таких как тип сплава, размеры детали, класс точности и положение отливки. Основные припуски определены в соответствии с ГОСТ Р 53464–2009. Припуск на

механическую обработку обычно составляет 0,5 мм.

Установка припусков на механическую обработку позволяет компенсировать возможные отклонения при литье и обеспечить точность и требуемые размеры детали после последующих операций обработки. При выборе припусков важно учитывать стандарты и требования к точности для конкретного типа детали и её использования.

Допуски линейных размеров в отливке являются суммарными и ограничивают погрешности, возникшие на различных этапах производства отливки, чтобы соответствовать указанным параметрам. В данном случае, допуски линейных размеров для данной отливки составляют 0,22 мм в соответствии с ГОСТ Р 53464–2009. Номинальная масса отливки определяется весом детали с учетом припуска на механическую обработку. Отклонение массы отливки зависит от ее номинального значения, способа литья и точности изготовления. Допуски массы отливок составляют 2% в соответствии с ГОСТ Р 53464–2009. Эти допуски и отклонения являются стандартными требованиями, которые помогают обеспечить соответствие размеров и массы отливки заданным параметрам и обеспечить требуемую функциональность и точность детали. ГОСТ Р 53464–2009 является основным регулирующим документом в данном контексте.

Литейные уклоны используются для облегчения извлечения полуформы из пресс-формы. Литейные уклоны для внешних поверхностей составляют 30° , а для внутренних -1° . Литейные радиусы назначаются, чтобы предотвратить образование усадочных трещин в отливках и обеспечить соединение поверхностей. Литейные радиусы также повышают долговечность формы. Минимальная величина литейных радиусов составляет 0,5 мм. Таким образом, литейные уклоны и радиусы играют важную роль в процессе литья и формирования деталей, обеспечивая удобство извлечения и предотвращая возникновение дефектов в отливках. Конкретные значения уклонов и радиусов зависят от типа детали и требований конкретного процесса литья.

Отверстия в отливке выполняют литьем, используя неподвижные стержни.

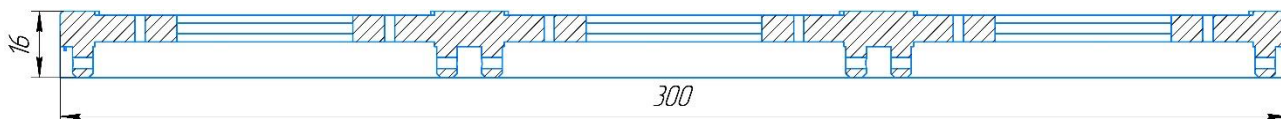


Рисунок 12 – Эскиз отливки

Чертеж методики заливки

При разработке методики заливки решаются такие задачи, как выбор способа формовки, выбор разъема формы, определение границ, количества и мест установки стержней в форме, выбор литниковой системы и ее расчет, определение габаритных размеров формы, выбор вентиляции формы, выбор способа сборки форм и выбор положения форм при заливке.

Взамен формы используется постоянная металлическая форма – пресс-форма. Эта форма имеет одну или несколько полостей, которые полностью повторяют форму отливки. Формообразующие детали пресс-формы изготавливаются из сплавов 3Х3М3Ф, 4Х5МФС. Важно, чтобы полость пресс-формы отличалась от размеров отливки на величину усадки заливаемого сплава.

При выборе плоскости разъема в пресс-форме необходимо обратить внимание на то, чтобы извлечение отливки не вызывало затруднений и, чтобы она оставалась в подвижной форме для удаления выталкивающим механизмом. Также важно иметь в форме минимальное количество стержней простой конфигурации и стремиться к минимальному числу разъемов и стержней. В данном случае, пресс-форма имеет прямую вертикальную плоскость разъема.

Отливка использует 36 неподвижных стержней, которые устанавливаются в пресс-форме перпендикулярно плоскости разъема. Чтобы облегчить удаление отливки, стержни имеют конусность. Они крепятся буртиком, который опирается на подкладную плиту. Это обеспечивает надежное крепление стержней и упрощает процесс удаления отливки из формы.

Литниковая система представляет собой сеть каналов, которые позволяют жидкому металлу пройти из камеры прессования в формообразующую полость

пресс-формы. Существуют три типа литниковых систем: прямые, внутренние и внешние. В прямой системе не используется отдельный подводящий канал, металл поступает в форму напрямую из литникового хода. Внутренняя система применяется для отливок с центральными или другими отверстиями, внутри формы размещаются подводящие каналы и питатели. Внешняя литниковая система используется для подачи металла в многогнездные формы. В данном случае выбрана внутренняя литниковая система, которая позволяет получать несколько отливок в пресс-форме. Питательный канал подводится к боковой стенке отливки.

Размеры формы определяются в зависимости от конструкции отливки, количества отливок в форме, диаметра камеры прессования и толщины пресс-формы. Эти факторы влияют на габаритные размеры формы, которая должна обеспечивать достаточное пространство для размещения отливок и обеспечивать надлежащее выполнение процесса заливки.

Перед заливкой первой порции расплава, который содержит воздушные включения, рядом с полостью пресс-формы размещаются специальные резервуары, называемые промывники. Объем промывников может составлять от 20% до 40% от объема отливки. Промывники соединяют с полостью формы с помощью каналов, толщина которых равна толщине питателей. Для удаления воздуха и газа из полости пресс-формы используются специальные вентиляционные каналы. Эти каналы располагаются в плоскости разъема на неподвижной части пресс-формы и вдоль выталкивателей. Глубина вентиляционных каналов составляет от 0,05 мм до 0,15 мм, а ширина – от 10 мм до 30 мм. Вентиляционные каналы обеспечивают эффективное удаление воздуха и газа из формы, предотвращая их несовершенства в отливке.

Сборка пресс-формы требует специальных стенов. Однако, операция сборки не является сложной, если детали правильно изготовлены и обработаны с использованием единых баз.

Расплавленный металл заливается в горизонтальную камеру прессования,

которая расположена по оси машины и перпендикулярно плоскости разъема формы. Камера прессования непосредственно связана с неподвижной половиной формы. В верхней части камеры находится окно, через которое производится заливка металла. При движении пресс–поршня, металл через питательный канал заполняет рабочую полость формы.

Подготовка машины к работе

Перед началом работы необходимо проверить технические параметры машины и затянуть все болты пресс–формы. Также проводится смазка машины, включающая смазку направляющих колонок и втулок, цилиндров системы выталкивания отливок и направляющих траверсы. После этого осуществляется проверка работы машины в действии, включая раскрытие и холостое прессование. Это позволяет убедиться в корректной работе машины перед началом процесса заливки.

Подготовка пресс–формы к работе

Перед началом работы важно убедиться, что пресс–форма надежно закреплена, плотно закрыта и все механизмы функционируют исправно. Затем необходимо нагреть форму с помощью электронагрева до температуры 200°C. Детали камеры прессования должны быть смазаны, при этом смазку следует наносить с помощью манипулятора или специального инструмента. Эти действия обеспечивают готовность пресс–формы к процессу заливки.

Заливка металла

Заливка производится при температуре 630°C с использованием дозатора манипулятора А9740. По команде оператора, рычаг поворачивает ковш к заливочному окну и выпускает металл в камеру прессования. Ковш остается в этом положении, пока не произойдет слив остатков металла. Затем дается команда на прессование, и ковш и рычаг возвращаются к раздаточной печи САТ–0,25. Ковш опускается в металл на глубину ниже уровня металла в печи. Уровень погружения ковша определяется измерительным преобразователем, который учитывает измерение уровня металла в печи при ее опорожнении.

Оператор дает команду, и ковш поднимается с печи. Избыточный металл сливается обратно в печь, и ковш останавливается над печью до получения команды на следующий цикл перемещения.

Запрессовка жидкого металла

Для запуска машины литья под давлением необходимо нажать две кнопки. Это приводит к запуску гидропневматического аккумулятора, который в свою очередь двигает пресс–поршень. Металл заполняет рабочую полость формы через литниковые каналы. Охлаждение отливки в пресс–форме происходит за 6 секунд.

Извлечение отливок

Манипулятор–съемник выполняет функцию захвата готовых отливок, сопровождает их при выталкивании из формы, и выносит их из рабочей зоны. Затем он укладывает отливку в штамп обрезного пресса, готовя их к дальнейшей обработке или использованию.

Обрезание литников

После этапа выталкивания отливки из пресс–формы, производится обрезка литников и облоя на прессе. В нижней неподвижной плите пресса есть специальное окно, через которое происходит удаление литников. Отливки, находящиеся в верхней подвижной части, удаляются с помощью гидровыталкивателей. Для того чтобы перехватить выталкиваемую отливку и сбросить ее в соответствующую емкость, прессы оборудованы подвижными лотками. Этот процесс позволяет удалить излишки материала и достичь требуемой формы и размера окончательной отливки.

Визуальный контроль

После процесса обрезки литников и облоя проводится осмотр отливки на наличие трещин и оценивается качество поверхности. Отливка также сравнивается с эталоном, чтобы проверить соответствие требуемым стандартам и качеству. Это позволяет выявить любые дефекты или отклонения от нормы и принять необходимые меры для их исправления или улучшения.

Контроль геометрии

Отливка проверяется на соответствие геометрическим размерам, указанным в чертеже, с помощью штангенциркуля. Замеры выполняются для убедительности, что отливка имеет правильные размеры и соответствует требованиям. Это важный этап контроля качества, который позволяет удостовериться, что отливка соответствует заданным параметрам и геометрии.

Зачистка отливок

Для удаления остатков литниковой системы проводится зачистка деталей на стационарном обдирочно-шлифовальном станке МЗ–48. Этот процесс позволяет удалить ненужные элементы, такие как литники и другие части, которые остались после производства отливки. Зачистка на станке обеспечивает чистую и гладкую поверхность детали, готовую для дальнейшей обработки или использования.

Исправление дефектов

Для исправления дефектов отливок основными средствами являются заварка с использованием аргонодуговой сварки и заделка с помощью эпоксидных замазок, таких как ЭД–5, ЭД–6 и ЭД–20. Аргонодуговая сварка позволяет проводить ремонт металлических дефектов путем создания качественного металлического соединения. Эпоксидные замазки, такие как ЭД–5, ЭД–6 и ЭД–20, применяются для заделки небольших дефектов и трещин, обеспечивая прочность и герметичность после применения. Эти методы помогают исправить дефекты и восстановить качество отливок.

Теперь отливка готова и производится ее контроль.

Основной целью контроля является выявление дефектов в отливках и определение их соответствия химическому составу, механическим свойствам, структуре и геометрии. Хорошее качество деталей может быть обеспечено путем разработки и четкого выполнения технологического процесса в соответствии с утвержденной технологией. Методы контроля качества отливок могут быть разделены на разрушающий и неразрушающий контроль.

Разрушающий контроль может быть проведен на специальных образцах, а также на образцах, вырезанных из различных участков контролируемой отливки. Однако, в таком случае дальнейшее использование отливки по назначению становится невозможным, так как происходят разрушения или повреждения контролируемого образца. Разрушающие методы контроля включают определение химического состава, механических свойств, анализ макро- и микроструктуры материала.

Неразрушающий контроль не влияет на последующую работоспособность отливок, и они остаются полностью пригодными для эксплуатации. Поэтому неразрушающий контроль играет важную роль в современном машиностроении. Методы неразрушающего контроля включают: контроль геометрии, визуальный контроль, рентгеноконтроль, оптический контроль, радиационный контроль, ультразвуковую дефектоскопию, цветную дефектоскопию, люминесцентный контроль и другие. Эти методы позволяют обнаруживать и оценивать дефекты, не вызывая повреждений или разрушений отливок. Таким образом, неразрушающий контроль имеет большое значение для обеспечения качества и надежности отливок в современной промышленности.

В нашем случае применим следующие виды контроля:

Контроль химического состава проводится в цеховой или заводской лаборатории с помощью метода спектрального анализа. Спектральный анализ основан на изучении спектра излучения, которое возникает при воздействии люгового разряда на поверхность материала. По спектру лучей можно определить качественный и количественный состав сплава. В химический анализ включаются расплавы всех плавок, где проверяются основные элементы. Этот метод контроля позволяет убедиться в соответствии сплава требуемым химическим спецификациям, гарантируя качество и надежность отливок.

Визуальный контроль включает оценку чистоты поверхности отливок путем сравнения с эталоном. Визуально проверяют отливки на наличие дефектов, и их сравнивают с допустимыми дефектами, описанными в

технических условиях или принятых эталонах. Этот метод позволяет выявить визуально заметные дефекты, такие как трещины, включения, неровности поверхности и другие несоответствия. Оценка визуального контроля помогает гарантировать соответствие отливок требованиям и обеспечивает высокое качество и надежность изделий.

Для контроля геометрии отливок проводится проверка размеров согласно литейному чертежу, на котором указаны требуемые размеры. Этот контроль осуществляется в литейном цехе и включает два вида проверки: периодический контроль всех размеров отливок и постоянный контроль переменных размеров. При освоении новой пресс-формы после ее изготовления и доводки, размеры отливок проверяются путем обмера нескольких партий и сравниваются с размерами на чертеже. Для более точного измерения размеров ребер и стенок, отливки могут быть разрезаны на части после заливки. При длительной эксплуатации пресс-формы, оформляющая полость может подвергаться износу, поэтому проводится периодическая проверка размеров отливок. Контроль размеров отливок осуществляется от базовых поверхностей, которые впоследствии обрабатываются в механическом цехе. Это позволяет убедиться, что отливки соответствуют требуемым геометрическим размерам.

Приемочный контроль включает визуальную проверку качества готовой отливки, а также составление сопроводительной карты. Визуальная проверка позволяет убедиться в соответствии отливки требованиям качества и выявить возможные дефекты или недостатки. Сопроводительная карта содержит информацию о проверке качества, результаты контроля и другие данные, необходимые для документации и учета готовых отливок. Такой контроль гарантирует, что каждая отливка, прошедшая прием, соответствует требованиям и качеству.

Таблица 10 – Дефекты отливок при литье под давлением

Дефекты	Причины образования	Меры предупреждения	Устранения
Трещины	Задержка раскрытия пресс-формы, высокая температура заливки металла, высокое содержание вредных примесей, низкая температура пресс-формы, провисание пресс-формы	Укрепить пресс-формы, ускорить раскрытие пресс-формы, повысить температуру работы	Ускорять раскрытие пресс-формы, наварка жидкого металла
Приваривание сплава к пресс-форме	Низкая твердость рабочих поверхностей пресс-формы	Воронить, азотировать рабочую поверхность пресс-формы	Незначительный дефект
Задиры на поверхности отливок	Местный перегрев пресс-формы	Изменить подвод металла в форму, повысить содержание железа в сплаве	Неисправим
Нечеткие контуры отливок	Малое давление прессов, низкая температура пресс-формы, малое сечение питателя	Повысить давление прессования, повысить температуру работы, увеличить сечение питателя	Механическая обработка
Газовые раковины и пористость	Высокая скорость прессов изменяя смазку пресс-формы, нерациональная конструкция литниковой системы	Низкая скорость прессования, уменьшить длины смазки, улучшить литниково-вентиляционные системы	Неустраним
Увеличение размеров отливок, несоответствие геометрии отливки требованиям чертежа	Отход подвижных половинок формы при прессе	Проверить усилие зажимание пресс-формы, уменьшить давление пресса	Газовая электросварка

	Неправильное определение величины усадки	Уточнить выбранную величину усадки	Не устраним
--	--	---------------------------------------	-------------

3.2 Маршрутно–операционная карта сборки КА

Маршрутно–операционная карта сборки спутника представлена ниже.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

В технологической части проекта мы рассмотрели процесс изготовления корпуса космического аппарата. В процессе изготовления корпуса обслуживающий персонал может столкнуться с опасными и вредными производственными факторами, а также возможностью получения травм. Чтобы предотвратить нежелательные последствия, необходимо соблюдать определенные правила безопасности при выполнении литейных работ.

Сначала рассмотрим факторы, которым может подвергнуться персонал:

- выделение в воздух вредных веществ: фенола, формальдегида, аэрозолей и др.;
- повышенные запыленность, загазованность и температура воздуха рабочей зоны;
- повышенная температура поверхностей оборудования, оснастки и отливок;
- повышенные уровни шума и вибрации;
- движущиеся транспортное и грузоподъемное оборудование, подвижные части технологического литейного оборудования;
- электромагнитные и ионизирующие излучения;
- физические перегрузки из-за тяжести и напряженности труда;
- повышенная травмоопасность;
- повышенный уровень инфракрасной радиации.

4.1 Общие требования безопасности при литейных работах

Требования по безопасности для литейных работ были установлены и описаны в утвержденном государством документе ГОСТ 12.3.027–2004.

Литейные работы, которые включают использование или образование вредных веществ 1-го или 2-го классов опасности, должны проводиться непрерывным замкнутым циклом, исключая контакт работника с этими веществами и выделение вредных веществ в воздух рабочей зоны в количествах,

превышающих предельно допустимые концентрации. Применение специальных систем улавливания и утилизации этих веществ и контроль за содержанием их в воздухе рабочей зоны обязательны.

Литейные работы должны быть выполнены только на оборудовании, которое указано в технологической документации, и с соблюдением технологических режимов в пределах допустимых параметров оборудования. Важно не перегружать оборудование, чтобы обеспечить безопасную и эффективную работу.

Безопасность технологических процессов во время проведения литейных работ должна обеспечиваться выполнением требований при:

- пожароопасных работах;
- работах с применением веществ, способствующих образованию взрывоопасной среды;
- проведении погрузочно-разгрузочных работ;
- транспортировании грузов;
- работе абразивным и эльборовым инструментом;
- соблюдении метеорологических условий на рабочих местах;
- соблюдении допустимого уровня шума на рабочих местах и средств защиты, санитарных норм допустимых уровней шума на рабочих местах;
- соблюдении допустимых параметров вибрации на рабочих местах;
- соблюдении предельно допустимого содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны;
- изготовлении форм и стержней из песчано-смоляных смесей – по нормативной документации, утвержденной в установленном порядке;
- обеспечении освещенности в производственных помещениях и на рабочих местах;
- использовании конвейеров для межоперационного перемещения грузов;
- использовании тары для перемещения грузов;

- использовании ручных электрических и пневматических машин;
- использовании грузоподъемных машин, механизмов, приспособлений, грузозахватных органов и устройств, правил устройств и безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов;
- использовании оборудования для проведения литейных работ.

Литейные работы, при которых используются легковоспламеняющиеся жидкости, вредные вещества или сопровождаются выделением тепла и пыли, должны проводиться на специально оборудованных участках, которые должны быть изолированы от других цеховых помещений.

Отходы технологических процессов литейных работ следует подвергать очистке, правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами и санитарными нормами проектирования промышленных предприятий.

Предельно допустимые нормы выбросов опасных веществ устанавливаются на предприятии для каждого источника загрязнения отдельно.

Оборудование, агрегаты и другие технологические средства, применяемые при литейных работах, в том числе иностранного производства, подлежат обязательной сертификации на соответствие требованиям безопасности согласно утвержденной номенклатуре.

4.2 Средства защиты при проведении литейных работ

Работающих в литейных цехах необходимо обеспечить средствами коллективной и индивидуальной защиты от непосредственного воздействия опасных и вредных производственных факторов.

Средства коллективной защиты должны обеспечивать:

- нормализацию воздушной среды в производственных помещениях и на рабочих местах через системы вентиляции, очистки, кондиционирования воздуха, локализации вредных производственных выбросов;
- нормализацию освещения производственных помещений и рабочих мест с применением естественного освещения, современных источников света,

осветительных приборов, светофильтров, светозащитных устройств и оптимального формирования световых проемов;

- защиту от шума с применением оградительных, звукоизолирующих, звукопоглощающих устройств, глушителей шума и других мер, включая технические меры подавления шума в самом источнике;

- защиту от вибрации применением вибробезопасного оборудования, оградительных, виброизолирующих, виброгасящих и вибропоглощающих устройств, внедрением рациональной организации труда и отдыха для работников виброопасных профессий;

- защиту от воздействия повышенных и пониженных температур воздуха в рабочей зоне;

- защиту от воздействия повышенных и пониженных температур воздуха в рабочей зоне с обеспечением эффективной работы систем вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха производственных помещений;

- защиту от воздействия механических факторов внедрением оградительных, предохранительных устройств, блокировок, автоматического контроля и сигнализации, дистанционного управления, знаков безопасности и других мер;

- защиту от воздействия химических факторов внедрением оградительных, герметизирующих устройств, устройств для вентиляции и очистки воздуха, заменой токсичных веществ и др.

Обеспечение работающих средствами индивидуальной защиты нужно проводить по типовым отраслевым нормам бесплатной выдачи рабочим и служащим специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты.

Средства индивидуальной защиты.

Работающих, для защиты рук необходимо обеспечить резиновыми и хлопчатобумажными перчатками, рукавицами, защитными пастами и мазями.

После завершения работы обязательное мытье рук и применение смягчающих кремов и мазей.

При выполнении работ со связующими, катализаторами отверждения и песчано–смоляными смесями следует использовать спецодежду, обеспечивающую защиту от воздействия: кислотостойкую специальную одежду; рабочие комбинезоны, рабочие фартуки; резиновые маслостойкие сапоги, головные уборы из хлопчатобумажных тканей.

4.3 Требования безопасности при изготовлении отливок литьем под давлением

Пресс–формы и стержни перед запрессовкой металла должны быть просушены и подогреты до температуры, установленной в технической документации.

Пресс–формы перед каждой запрессовкой металла следует очищать от посторонних включений. Для очистки и смазки пресс–форм следует применять приспособления, исключающие нахождение рук рабочего в зоне пресс–формы.

Реле времени на кристаллизацию отливки должно быть настроено на время, достаточное для затвердевания пресс–остатка.

При необходимости осмотра и обслуживания пресс–форм со стороны, противоположной рабочему месту оператора, машина должна быть отключена.

Со стороны, противоположной рабочему месту, в зоне нахождения пресс–формы должна быть установлена вертикальная вентиляционная панель или поворотный зонтик сверху машины для вытяжки вредных паров и газов с отсосом воздуха в количестве не менее 3600 м³/ч с каждого квадратного метра панели.

Для дозированной подачи расплавленных сплавов следует применять устройства, исключающие пролив расплава или разбрызгивание во время выдачи доз.

Подогрев тигельных раздаточных печей для машин литья под давлением следует проводить электрическим током или газом. При этом газовые горелки

следует оснащать устройствами контроля пламени и предохранителем дефицита газа.

Перед заливкой металла в автоклав крышка автоклава должна быть закрыта и закреплена.

Во избежание выбросов расплавленного металла не допускается забрасывать «холодные» отходы в тигель раздаточной печи. Температура загружаемых отходов устанавливается технологическим процессом, утвержденным в установленном порядке. Загрузку металла в тигель следует проводить медленным опусканием при выключенной печи.

Между печью и машиной следует устанавливать отбортованные в сторону машины металлические щиты высотой не менее 2 м или другие средства защиты зеркала расплавленного металла.

Между соседними машинами должны быть установлены щиты из листовой стали не короче машины и не менее 2 м или другие средства защиты от разбрызгивания металла.

Используемые в гидросхемах жидкости должны быть трудновоспламеняемыми.

Дуговые плавильные печи не должны быть расположены в одном помещении с машинами для литья под давлением.

Машина должна быть надежно экранирована металлическим щитом от проезда, по которому транспортируется ковш с расплавленным металлом. На период пополнения раздаточной печи металлом гидравлический привод машины должен быть отключен.

Помещение, в котором эксплуатируются машины для литья под давлением, должно иметь не менее двух выходов.

Складирование возле машин горячих отливок следует проводить в специальную тару.

Отливки следует удалять от машин транспортными средствами.

Работа на машинах литья под давлением допускается, только если есть в наличии:

- блокировки от произвольного запираения при монтаже пресс–формы и при обслуживании машины;
- блокировки подачи рабочего давления при раскрытой пресс–форме;
- блокировки раскрытия пресс–формы;
- блокировки при удалении металлических стержней и отливки из раскрытой пресс–формы при наличии рабочего давления над зеркалом расплава;
- клапана аварийного ручного сбрасывателя давления;
- защитных кожухов или щитов, перекрывающих зоны возможного случайного разбрызгивания расплавленного металла;
- осушителей сжатого воздуха или инертного газа, используемых для создания рабочего давления;
- аппаратуры обеспечения технологической выдержки отливки в пресс–форме;
- вытяжной вентиляционной панели с отсосом воздуха не менее 2000 м³/ч с каждого квадратного метра панели;
- устройства, предотвращающего повышение давления газа в дозаторах и печах сверх установленного.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

5.1 Затраты на материальные расходы

В данном разделе рассмотрим затраты на проектирование и изготовление космического аппарата.

Проведем расчет затрат на материалы для изготовления корпуса, аппаратуру для КА. Данные сведем в таблицы 11 и 12.

Таблица 11 – Затраты на материалы, и затраты на изготовление корпуса

Алюминий 7075	3500 у. е.
Винты с потайной головкой	2700 у. е.
Работа по изготовлению	15000 у. е.
Итого	21200 у. е.

Таблица 12 – Затраты на аппаратуру для сборки КА

Наименование	Цена, у. е.
Плата БВМ	900
Плата приемопередатчика	900
Антенна	900
Плата системы энергопитания	800
Блок аккумуляторов	1000
Двигатели, 1 шт.	100000
Солнечные панели, 1 шт.	200
Корпус	21200
Проводные шлейфы	500
Итого	336200

Затраты на изготовление и сборку КА условно составят 336200 у. е.

5.2 SWOT–анализ

Проведем SWOT–анализ для оценки сильных и слабых сторон данного проекта, а также чтобы определить риски и возможности, которые могут стать результатом реализации проекта (создание КА и его последующий запуск на орбиту).

Данный анализ проводится в три этапа. Начнем с первого этапа.

На первом этапе определим сильные и слабые стороны проекта, и возможности с угрозами из внешней среды, которые могут повлиять на реализацию научно–исследовательского проекта. Но для начала дадим определение каждому из этих понятий.

Сильные стороны – факторы, что характеризуют конкурентоспособность научной работы. Они показывают, что в сравнении с другими подобными проектами, данный проект имеет преимущество.

Слабые стороны – минусы проекта, что ограничивают достижение цели.

Возможности представляют собой любую благоприятную ситуацию для реализации проекта.

Угрозы – любые неблагоприятные ситуации, которые угрожают конкурентоспособности проекта, или же полностью разрушают.

Сильные стороны:

- С1 – экономичность (по экономическим затратам, по сравнению с аналогичными проектами будет дешевле);
- С2 – простота (конструкция аппарата и его сборка проще, чем у других КА);
- С3 – доступность (запуск можно совершать попутной нагрузкой).

Слабые стороны:

- Сл1 – в России еще не запускались 27–Unit CubeSat, и некоторые испытательные стенды невозможно использовать, а также есть необходимость отдельной разработки транспортно–пускового контейнера;
- Сл2 – нет подходящего и часто используемого двигателя.

Возможности:

- В1 – инновационная разработка;
- В2 – продвижение реализации проектов наноспутников типа CubeSat;
- В3 – увеличение финансирования молодежных проектов (распространение конкурсов и грантов).

Угрозы:

- У1 – отсутствие спроса на новые технологии производства;
- У2 – снижение поддержки проектов, не связанных напрямую по цели с государством.

На втором этапе необходимо выявить соответствие между сильными, слабыми сторонами и возможностями, угрозами. Данный этап поможет понять степень необходимости изменений.

Результаты соответствия представим в таблицах 13 и 14.

Таблица 13 – Сравнение возможностей и сильных, слабых сторон

Возможности проекта	Сильные стороны			Слабые стороны	
	С1	С2	С3	Сл1	Сл2
В1	–	–	–	+	–
В2	+	+	+	+	+
В3	+	–	+	–	–

Таблица 14 – Сравнение угроз и сильных, слабых сторон

Угрозы проекта	Сильные стороны			Слабые стороны	
	С1	С2	С1	Сл2	Сл1
У1	–	–	–	+	+
У2	–	–	–	–	–

На основе составленных сопоставлений проведем третий этап, в котором и определим основные решения данного проекта проекта. Результаты представим в виде таблицы.

Таблица 15 – Итоговая матрица SWOT

	<p><i>Сильные стороны:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – С1 – экономичность; – С2 – простота; – С3 – доступность. 	<p><i>Слабые стороны:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Сл1 – не было запусков 27–Unit CubeSat в России; – Сл2 – нет специального двигателя.
<p><i>Возможности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – В1 – инновационная разработка; – В2 – продвижение реализации проектов CubeSat; – В3 – увеличение финансирования молодежных проектов. 	<p>B2C1C2C3 B3C1C3</p>	<p>B1Сл1</p>
<p><i>Угрозы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – У1 – отсутствие спроса на новые технологии; – У2 – снижение поддержки некоторых проектов. 		<p>У1Сл1Сл2</p>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части данной выпускной квалификационной работы были рассмотрены сведения о наноспутниках и их актуальности, как о студенческих проектах. Проанализирована проблема загрязнения космического пространства, способы ее устранения и масштабы данной глобальной проблемы.

Во второй части подобраны аппаратура для спутника, спроектирован корпус и его 3D–модель. Была создана 3D–модель собранного космического аппарата. Рассчитан межорбитальный перелет с орбиты (на которую КА будет выведен ракетой-носителем) на орбиту объекта космического мусора. Также произведен расчет необходимого тормозного импульса для схода с орбиты космического аппарата.

В третьей части разобран технологический процесс изготовления корпуса спутника. Составлена маршрутно–операционная карта сборки космического аппарата.

В четвертой части рассмотрена техника безопасности при изготовлении корпуса КА. Определены требования при работе на литейном производстве и необходимые средства индивидуальной защиты.

В пятой части рассчитаны затраты на изготовление корпуса спутника и сборку космического аппарата. Проведен анализ SWOT, и выявлены основные направления действия и реализации данного проекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угрозы : сб. трудов конференции / под ред. Л. М. Зеленого, Б. М. Шустова. – 2019. – 236 с.
- 2 ШколаМосква. Ру Экология космоса: космический мусор [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://nau.shkolamoskva.ru/article_space_009. – 30.10.2023.
- 3 Вениаминов, С. С. Космический мусор - угроза человечеству : моногр. / С. С. Вениаминов, А. М. Червонов ; под ред. Р. Р. Назирова, О. Ю. Аксенова. – 2-е изд., перераб. И доп. – Москва : Механика, управление и информатика, 2013. – 208 с.
- 4 Введение в ракетно-космическую технику : учебное пособие / А. П. Аверьянов [и др.]. – М. : Инфра–Инженерия, 2018. – 380 с.
- 5 Герасименко, Д. Ю. Проблема космического мусора и возможные пути ее решения / Д. Ю. Герасименко, Р. М. Шихалиев // XI Конгресс молодых учёных : сб. науч. тр. / ун–т ИТМО. – 2022. – С. 651 – 655 с.
- 6 Константинов, М. С. Механика космического полета : учебное пособие / М. С. Константинов. – Москва : Изд–во Машиностроение, 1989. – 408 с.
- 7 Феоктистова, О. Г. Разработка модели утилизации космического мусора при сжигании в атмосфере / О. Г. Феоктистова, И. И. Туркина // Научный вестник МГТУ ГА. – 2022. – Т. 25, № 5. – С. 80–92.
- 8 Баркова, М. Е. К вопросу о построении трассы космического аппарата для утилизации космического мусора и объекта космического мусора / М. Е. Баркова // Труды МАИ. – 2022. – № 125. – С. 1–22.
- 9 ГОСТ 12.3.027–2004. Работы литейные. Требования безопасности. – Москва : Стандартинформ, 2005. – 39 с.