

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Система электропитания малого космического аппарата

УДК 621.311.6:629.78-022.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Д	Смердова Ирина Олеговна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев Александр Георгиевич	Д. Т. Н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гайказян Мария Вигеновна	Кандидат экономических наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна	ассистент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютеева Полина Васильевна	Кандидат технических наук		

Результаты обучения по направлению
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки (специальность): 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ): Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) Тютеева П.В.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Д	Смердовой Ирине Олеговне

Тема работы:

Проектирование контактора постоянного тока бортовой сети	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.12.2018 № 113271/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект проектирования –DC-DC понижающий преобразователь напряжения . Технические данные: Входное напряжение $U_{вх} = 40 \text{ В}$; Стабилизированное выходное напряжение $U_{вых} = 12 \text{ В}$; Максимальный выходной ток $I_{вых} = 1,25 \text{ А}$; Частота переключений конвертера $f = 300 \text{ кГц}$; Выходная мощность $P_{вых} = 15 \text{ Вт}$.
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Анализ характеристик малых космических аппаратов; Аналитический обзор теории по понижающему DC-DC преобразователю и системы электроснабжения малого космического аппарата в целом; Выбор и расчет параметров схемы понижающего преобразователя напряжения; Разработка имитационной модели понижающего преобразователя;
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Имитационная схема понижающего преобразователя; Характеристики, полученные в результате имитационного моделирования; Диаграмма Ганта.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гайказян М.В.
Социальная ответственность	Сотникова А.А.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев Александр Георгиевич	Д. Т. Н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Д	Смердова Ирина Олеговна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Д	Смердова Ирина Олеговна

Школа	Инженерная школа энергетики	Направление	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов технического проекта: заработные платы сотрудников, страховые отчисления, накладные расходы.</i>	Положения об оплате труда в ТПУ. Прайс-листы канцелярских товаров и услуг.
2. <i>Нормы расходования ресурсов</i>	Социальные отчисления: 30,2%
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений</i>	Комплексное исследование технического проекта Определение ресурсной эффективности
2. <i>Планирование и формирование бюджета технического проекта</i>	Смета затрат на проект
3. <i>Формирование сметы</i>	Группировка затрат по статьям: - материальные затраты - затраты на заработную плату - отчисление во внебюджетные фонды - накладные расходы
Перечень графического материала	
1. <i>Матрица SWOT</i> 2. <i>Диаграмма Ганта</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.02.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Д	Смердова Ирина Олеговна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Д	Смердовой Ирине Олеговне

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования	Объектом исследования является система электропитания для малого космического аппарата
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Основные организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны в соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03; Социальное страхование работников
2. Производственная безопасность	В данной части необходимо проанализировать следующие вредные факторы: отклонение показателей микроклимата в помещении, превышение уровней шума, повышенный уровень электромагнитных излучений, поражение электрическим током, психофизиологические факторы, недостаточная освещенность.
3. Экологическая безопасность:	Утилизация отходов производства и потребления (источники отходов).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	В результате нарушения работы оборудования может возникнуть пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.02.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Д	Смердова Ирина Олеговна		

Оглавление:

Реферат	9
Введение	10
1. Анализ малых космических аппаратов (МКА)	12
1.1. Классификация МКА.....	12
2. Разновидности наноспутников.....	17
2.1. Массогабаритные показатели наноспутников формата CubeSat.....	17
2.2. Основные элементы спутника формата CubeSat.....	18
3. Микроспутники	24
3.1. Конструкция микроспутника.....	24
3.2. Основные требования системы энергоснабжения микроспутника	25
3.3. Выбор аккумуляторной батареи.....	26
4. Архитектура системы энергоснабжения	29
4.1 Система энергоснабжения с РРТ	29
4.2 Система энергоснабжения посредством прямой передачи электроэнергии от солнечных батарей	30
4.2.1. Схема без регулирования напряжения на шине электропитания....	31
4.2.2. Схема с контролем зарядки батарей, но без регулирования напряжения на шине электропитания.....	32
4.2.3. Схема с полным регулированием напряжения на шине электропитания	33
5. Преобразователь напряжения	35
5.1. Принцип работы понижающего преобразователя напряжения.	36
5.2. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)	37
6. Расчетная часть	41
6.1 Выбор входного конденсатора.....	42
6.2 Выбор силового ключа	42
6.3 Выбор диода	44
6.4 Выбор индуктивности в схеме преобразователя	44
6.5 Выбор выходного конденсатора.....	45
7. Имитационное моделирование.....	48

7.1. Оценка адекватности модели.....	49
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	51
8.1. SWOT – анализ системы электропитания малого космического аппарата.....	51
8.2. Планирование работ и их временная оценка	54
8.3. Разработка графика проведения технического проекта.....	57
8.4. Составление сметы затрат на разработку ТП	57
8.5. Определение стоимости материальных затрат	58
8.6. Затраты на заработанную плату	60
8.7. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	61
8.8. Затраты на накладные расходы	61
8.9. Формирование сметы затрат технического проекта	62
8.10. Определение ресурсоэффективности проекта	62
9. Социальная ответственность	65
9.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	65
9.1.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства	65
9.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	68
9.2. Производственная безопасность	69
9.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	70
9.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего).....	74
9.3. Экологическая безопасность.....	76
9.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	77
Заключение	80
Список используемых источников	82

Реферат

Выпускная квалификационная работа 84с., 18 рис., 15 табл., 27 источников.

Объектом исследования является система электропитания малого космического аппарата.

Цель работы – разработать понижающий DC-DC преобразователь для системы электропитания микроспутника.

В процессе исследования проводились расчёты с помощью программы Mathcad и моделирование с помощью программного обеспечения Matlab, текст выполнен в текстовом редакторе MicrosoftWord 2016.

В результате исследования определены: характеристики малых космических аппаратов, структура системы электроснабжения малого космического аппарата, проведен расчет элементов схемы понижающего преобразователя напряжения, составлена его имитационная модель; рассмотрены производственная и экологическая безопасности проекта; рассчитаны затраты на проектирование.

Степень внедрения: настоящая работа является теоретической разработкой одного из возможных вариантов понижающего DC-DC преобразователя для системы электропитания микроспутника.

Область применения: авиация и космонавтика.

Введение

Важнейшей тенденцией в космической отрасли за последние десять лет является уменьшение массы и габаритов космических аппаратов (КА). Миниатюризация космических аппаратов имеет столь широкое распространение, в связи с применением новых технологий при производстве бортовой аппаратуры, а также интеграцией бортовых комплексов, основанных на средствах вычислительных машин нового образца. Спрос на космические аппараты микро и нано классов обуславливается малым сроком их изготовления, по сравнению с большими образцами. Для малых КА это время составляет 1-1,5 года, в то время как для полноразмерных КА от 5 до 10 лет. Космические аппараты микро и нано классов намного дешевле в производстве и выведении на орбиту Земли, а также они имеют различные сферы применения: военные, научные, телекоммуникационные.

Объектом исследования этой работы являются космические аппараты микро и нано класса.

Предметом исследования выступает система электропитания для микроспутника.

Целью настоящей работы является проектирование понижающего DC-DC преобразователя для системы электропитания микроспутника.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести классификации малых космических аппаратов;
2. Рассмотреть разновидности и основные элементы наноспутников;
3. Изучить конструкцию и основные подсистемы микроспутника;
4. Проанализировать и подобрать оптимальную структуру электроснабжения для микроспутника;
5. Рассчитать необходимые элементы для выбранной структуры;
6. Смоделировать полученный преобразователь.

В данной работе систематизирована информация о системе электропитания нано и микроспутников, а также о разработке понижающего преобразователя.

В проведенных исследованиях использованы следующие программные продукты: Mathcad, Matlab.

1. Анализ малых космических аппаратов (МКА)

1.1. Классификация МКА

Малые спутники — тип искусственных спутников земли, малого веса и размера. К малым относятся спутники с массой менее 0.5–1 тонны. Ниже приведена более подробная классификация спутников по различным признакам.

Все существующие космические аппараты классифицируются:

- по массогабаритным показателям;
- по времени активного существования;
- по назначению полезной нагрузки;
- по способу вывода на орбиту;
- по цели запуска;
- по национальной принадлежности

Термин «малый космический аппарат» указывает на деление по массогабаритным показателям. Первый раз определение «малый космический аппарат» было использовано компанией Arianespace в 1990 году. Французская компания Arianespace, являющаяся производителем ракет-носителей Ariane, представила платформу ASAP (Ariane Structure for Auxiliary Payloads), которая представляла собой большую плоскую шайбу диаметром 2,9 метра, размещаемую между последней третьей ступенью ракеты Ariane-4 и выводимым ею основным аппаратом. На данной платформе располагались шесть спутников (рис 1.) значительно меньшего размера, чем основной космический аппарат. 22 января 1990 года с космодрома Куру вместе с основным спутником SPOT-2, имеющим массу 1870кг, Ariane-4 вывела еще 6 малых спутников: американские радиолобительские PACE и Webersat, аргентинский аппарат Lasat, бразильский Microsat-2, два английских спутника UoSat-3 и UoSat-4, массой по 48 кг каждый. В то же время Arianespace предложила

классификацию по массе, и все спутники, масса которых не превышает 1000 кг принято относить к классу малых космических аппаратов (МКА).

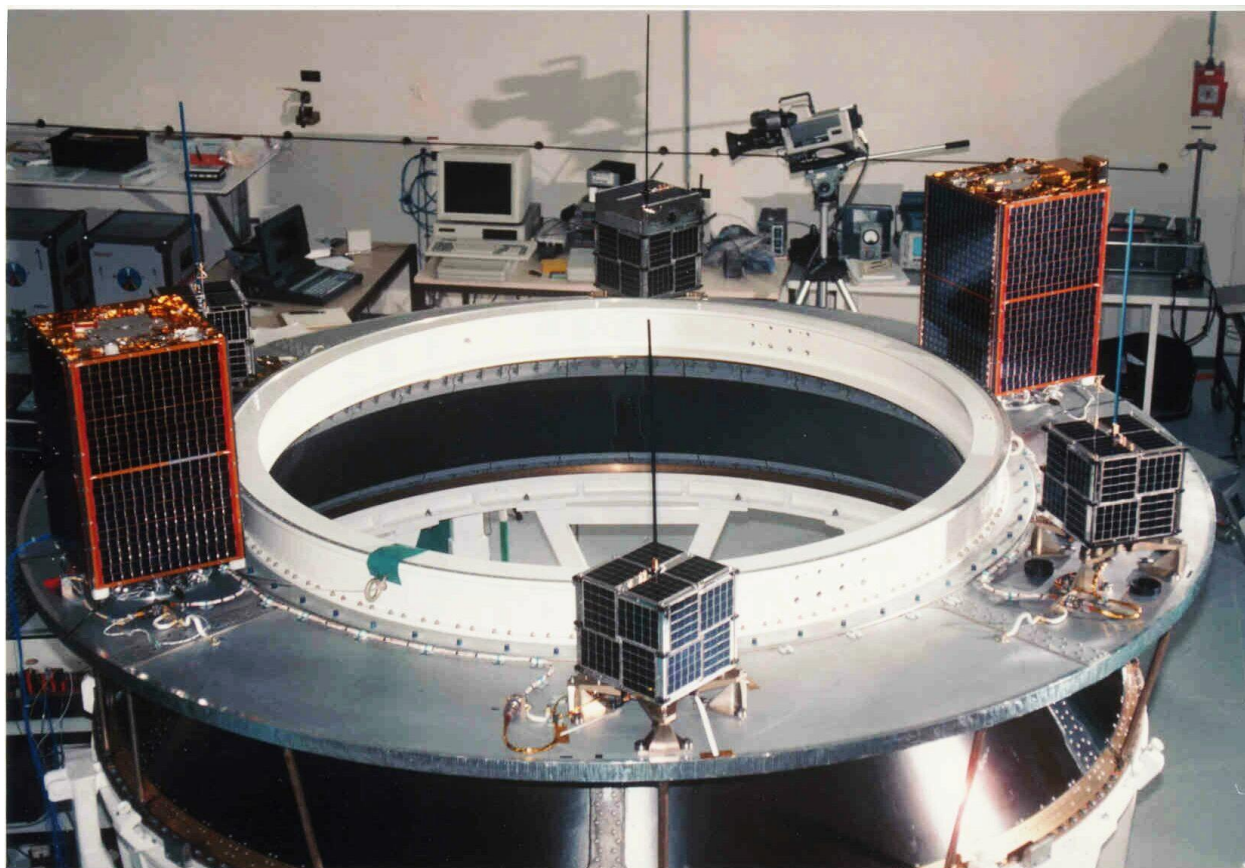


Рисунок 1 – Платформа ASAP фирмы Ariane

Классификация МКА по массогабаритным показателям, примерной стоимости изготовления и времени активного существования:

Таблица 1-Размерный ряд космических аппаратов

Размер	Масса	Стоимость изготовления, млн	Время активного существования
Большие	1000кг	300	Более 10 лет
Малые	<1000кг	100	3-5 лет
Мини	100-500кг	30	2 года
Микро	100-10кг	10	1,5 года
Нано	1-10кг	1	1 год
Пико	0-1кг	0,1	Менее 1 года
Фемто	< 100г	< 0,1	Менее 1 года

Миниспутники представляют спутники массой от 100 до 500 кг вместе с топливом. К ним можно также отнести «лёгкие спутники», имеющие

массу 500-1000 кг. В спутниках подобного вида могут быть использованы компоненты, платформы и технологии относящиеся к «большим» спутникам. [1]

Наноспутники, масса которых до 10 кг, чаще всего находят свое применения для работы в рое, также некоторые группы наноспутников не обходятся без более крупного спутника для связи с Землёй. Широкую область применения имеют наноспутники последнего поколения: от дистанционного зондирования Земли до космических наблюдений, таких как:

- Образовательные программы;
- Астрономические наблюдения;
- Экологический мониторинг;
- Отработка последних технологий, программно-аппаратных решений и методов;
- Анализ геофизических полей;

Пикоспутники - спутники массой до 1 кг, относятся к лёгким наноспутникам. Разрабатываются для работы в группе с наличием более крупного спутника. Запускаются по несколько штук за раз и имеют объем около одного литра.

Фемтоспутники относятся к сверхмалым космическим аппаратам, обладают массой до 100 г. Данные спутники относятся к формату покетсат (карманный), их можно причислить к фемтоспутникам или легким пикоспутникам, имеют размеры в несколько сантиметров. Несколько фемтоспутников компонуют и запускают в одном контейнере.

В настоящее время для вывода малых спутников формата кубсат и покетсат разрабатываются нано-носители. Унифицирование комплектующих и платформ, а также относительно невысокая стоимость позволяет запускать

и разрабатывать подобные спутники небольшим частным компаниям и образовательным учреждениям.

На рисунке 2 представлена классификация космических аппаратов в зависимости от их назначения:



Рисунок 2 – Классификация КА по назначению

Назначение по миссии:

- Одиночные полеты
- Созвездие (Constellation mission) – группа спутников, летящих по отдельным орбитам, объединенные единой задачей, но управляемые по отдельности. Движение может происходить со сдвигом по времени по одной орбите или разным орбитам.
- Групповой полет (Formation Flying mission) – группа спутников, летящая на близком расстоянии друг от друга и объединенная одной. Управление реализуется взаимным положением спутников.

К областям систематического целевого использования малых космических аппаратов относятся:

- Навигация;
- Отработка новых технологий и проведение экспериментов в космосе;
- Связь;
- Исследование атмосферы и океана;
- Метеорологические наблюдения;
- Решение образовательных задач;

Использования в военных целях малых космических аппаратов (МКА):

- Прецизионное нападение на цель высокочастотных боеприпасов;
- Тактическая связь;
- Предупреждение о ракетном нападении;
- Видовая тактическая и стратегическая разведка;
- Контроль космического пространства;
- Защита космических средств на орбите от инспекции и поражения.

2. Разновидности наноспутников

2.1. Массогабаритные показатели наноспутников формата CubeSat

В настоящее время наноспутники чаще всего представлены термином кубсат (CubeSat). Кубсат - формат наноспутника выполненного в виде куба с длиной ребра 10 сантиметров, массой, не превышающей 1.33 кг и объемом 1 литр (рисунок 3). Космический аппарат такого формата принято обозначать как 1U (один юнит). В таблице 2 представлены массогабаритные показатели аппаратов данной концепции.

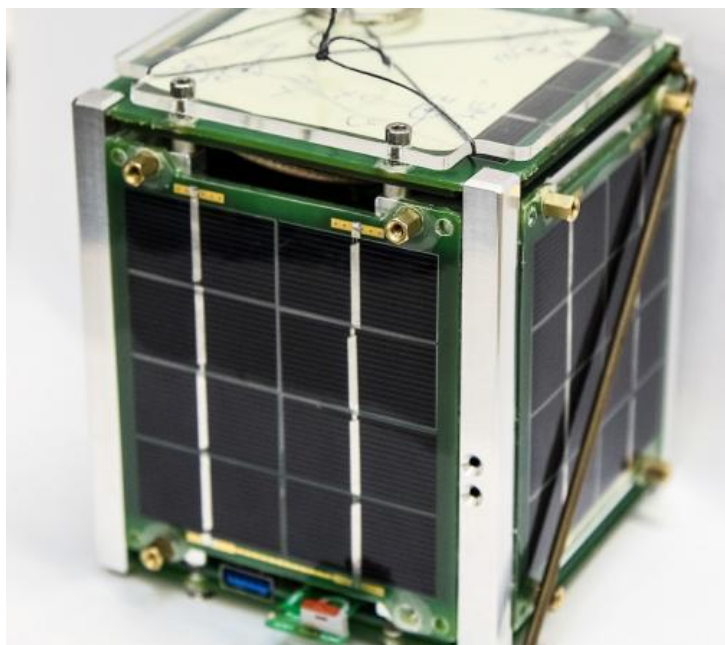


Рисунок 3 – МКА формата Кубсат

Таблица 2 – Массогабаритные показатели МКА формата кубсат

Размер и вес спутников кубсат (CubeSat)		
Обозначение спутника	Размеры, мм	Масса, кг
1U	100*100*113.5	До 1.33
2U	100*100*226.5	До 2.67
3U	100*100*340.5	До 4
4U	100*100*533.5	До 5.33
5U	100*100*665.5	До 6.67

6U	100*200*340.5	До 8
----	---------------	------

Приведенные в таблице размеры получаются умножением стандартных размеров на величину одного юнита. Также в практике встречаются промежуточные размеры спутников 0.5U и 1.5U. Данные размеры масштабируются так, что в P-POD (стандартный пусковой контейнер) размещаются несколько спутников, суммарно имеющие размер 3U (рис 4.)



Рисунок 4 - Пусковой контейнер P-POD и три спутника формата «CubeSat»

2.2. Основные элементы спутника формата CubeSat

Основным элементами любого наноспутника являются:

- Корпус и компоновка
- Бортовой компьютер
- Система управления ориентацией и стабилизации
- Система обеспечения теплового режима
- Система энергоснабжения
- Система связи и аппаратура наземной связи

Конструкция наноспутника имеет вид каркаса, изготовленного из анодированного алюминия, 4 грани - рельсами, по которым происходит скольжение при отделении от ракеты-носителя. Боковые панели покрыты солнечными батареями. На них же располагаются антенны приемника и передатчика. Печатные платы различных систем спутника и полезной нагрузки располагаются внутри. Базовыми системы наноспутника:

- Модуль центрального процессора
- Радиоканал и антенно-фидерные устройства
- Система питания, аккумуляторы и контроллер заряда, солнечные батареи
- Система определения положения спутника
- Система коррекции положения спутника

От базовой системы выведена системная шина, к которой подключаются платы полезной нагрузки. В системной шине располагаются коммуникационные интерфейсы и линии питания. Для отправки собранных данных на Землю полезной нагрузке предоставляется доступ к радиоканалу. [2]

На рисунке 5 представлена схема основных составных частей наноспутника.



Рисунок 5 – Схема основных составных частей наноспутника

Первые аппараты формата «CubeSat» обладают весьма разнообразной компоновкой. Согласно коммерческим предложениям, в структуру набора готовых элементов CubeSatKit компании «Pumpkin, Inc.» входят два типа реализации корпуса аппарата: закрытый и открытый, также компания из Нидерландов ISIS представляет два варианта компоновки наноспутника: в вертикальном и горизонтальном исполнении. Масса корпуса, крепежа и монтажных панелей в обоих случаях составляет 200г.

Бортовой компьютер (БК) является главным элементом спутника. Характеристики БК прежде всего зависят от цели запуска конкретного аппарата на орбиту и от уровня развития электронной элементной базы.

К критериям выбора БК относятся:

- устойчивость к космической радиации;
- работа в широком диапазоне температур;
- низкое энергопотребление.

В наноспутниках формата кубсат применяются электронные компоненты на основе COTS (Commercial Off-The-Shelf — «готовые к использованию») технологии, более дешевые и менее устойчивые к воздействию космической радиации, чем «космические» компоненты, которые используются в больших КА.

Наноспутники типа 2U и 3U за счет большего объема дают возможность использовать более мощностные процессоры. К примеру, в наноспутниках типа 2U - TU Sat используется процессор Intel 80386 для инициализации и хранения научной информации, а в японском Cute - 1.7+APD в качестве БК применены карманные компьютеры Hitachi PDA NPD-20JWL. За счет малой массы подобных компьютеров (150 – 200 г) появляется возможность дублировать БК для повышения надежности.

Система энергоснабжения наноспутников формата «CubeSat» состоит в большинстве случаев из солнечных панелей, обеспечивающих спутник

энергией на солнечной стороне орбиты, и аккумуляторных батарей, питающих бортовые системы в тени, что составляет примерно треть активного существования для большинства наноспутников такого формата. [3]

Спутники, которые рассчитаны на краткосрочные полеты, используют, как правило, аккумуляторные батареи «PolySat» и «Libertad». Si-, GaAs-, CIGS-элементы используются в солнечных батареях одиночных наноспутников, а на двойных и тройных спутниках формата «CubeSat» используются раскрывающиеся панели солнечных батарей (рис 6).



Рисунок 6 – Варианты размещения солнечных батарей

Анализ энергетических бюджетов показал, что запас энергии на борту одиночного спутника составляет от 1 до 10 Вт, а на борту двойного около 20 Вт. Данные цифры не являются предельными для данной категории КА, т.к. при последующем совершенствовании аккумуляторных и солнечных батарей будет увеличиваться бортовой энергетический запас. Это позволит аппаратам такого типа выполнять более серьезные и сложные миссии.

Система связи на борту наноспутника формата «Cubesat» выполняет передачу сигналов радиомаяка, прием команд управления, передачу телеметрии, полученной от полезной нагрузки аппарата.

В частотном диапазоне 430 МГц осуществляется передача кодом Морзе сигнала радиомаяка. Через J – режим любительской радиосвязи осуществляется передача команд управления и телеметрической информации. На спутник поступают команды управления в диапазоне 144 МГц, передаются данные - 430 МГц. При помощи пакетной радиосвязи происходит обмен информации со скоростью 1200 бит/с.

Наземная станция слежения включает в себя такую аппаратуру, как: компьютер, модем, трансивер и антенну. Ключевыми компонентами станции пакетной радиосвязи являются компьютер и модем, объединенные в общий блок – контроллер терминального узла. В качестве антенн выступают две крестообразные антенны типа «волновой канал Яги» (430 МГц/144 МГц) и один плоский рефлектор. Антенны такого типа управляются компьютером с помощью данных о положении спутника в формате TLE.

Точность ориентации в пространстве большинства кубсат типа 1U составляет 10° . Ориентация в пространстве осуществляется за счет магнитных и солнечных датчиков.

Цифровые трехосные магнетометры применяются для определения ориентации спутника. Роль солнечных датчиков могут выполнять солнечные батареи, в которых изменение тока происходит в зависимости от положения аппарата относительно Солнца или фотодиоды, размещенные на гранях аппарата.

Температурные датчики (термисторы) входят в состав системы, из-за существенной зависимости солнечных датчиков от температуры.

Три катушки, которые расположены на взаимно перпендикулярных гранях используются для управления ориентации. В спутниках используется пассивная стабилизация по магнитному полю Земли с помощью расположенного на борту постоянного магнита, а для рассеяния энергии колебаний спутника используется гистерезисный демпфер.

Множество проектов наноспутников используют пассивные способы управления тепловым режимом (специальная облицовка и окраска). При переходе с теневой стороны орбиты на освещенную, внешние элементы КА подвергаются тепловым воздействиям от -120°C до $+100^{\circ}\text{C}$, скачок температуры может произойти за несколько минут. Из-за такого перепада может возникнуть выход из строя или сбой бортовой аппаратуры. Перепад температуры внутри спутника происходит менее интенсивно - от -20 до $+20^{\circ}\text{C}$. Основные электронные компоненты, отвечающие стандарту COTS, способны работать в диапазоне от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$.

3. Микроспутники

3.1. Конструкция микроспутника

За последние годы в аэрокосмической промышленности наблюдается тенденция к уменьшению количества тяжелых спутников. В процессе разработки электронного дизайна в направлении миниатюризации спутников удалось уменьшить вес крупных спутников и создать аналогичные с техническими характеристиками, которые имеют массу не более 100 кг. МС характеризуются относительно низкой стоимостью производства, сниженным энергопотреблением, невысокой массой. Проектирование таких космических аппаратов - это переход на новый уровень развития космических технологий. [4]

Анализ существующих вариантов конструкций МС демонстрирует, что невысокую стоимость, возможность широкой унификации и простоту МС позволяет сочетать кубическая форма (500 х 500 х 500 мм) или форма прямоугольного параллелепипеда (640 х 500 х 440 мм), конструктивно представляющих собой силовые каркасы с прикрепленной к ним аппаратурой. Каркас МС может быть выполнен из алюминиевого сплава. Особенностью конструкций является их модульность: каждая подсистема располагается на отдельной плате. При компоновке учитываются: требование совпадения центра масс с геометрическим центром; минимизация моментов инерции, симметрии; электромагнитная совместимость и т.д.

При помощи активной магнитной цепи стабилизации аппарат стабилизирован по трем осям. Для этого, как правило, используется алгоритм управления, распределенного по времени. Электропитание КА обеспечивается солнечными батареями (СБ), которые располагаются на корпусе с пяти сторон (30 Вт – вырабатывают в штатном режиме, 20 — 25 Вт – при «кувыркании» спутника), при помощи аккумуляторных батарей (АБ), когда МС находится в тени. 28 В - основное напряжение бортовой сети. Два бортовых компьютера на базе процессоров Intel составляют систему управления. В качестве периферийных устройств к компьютеру подключены

все системы, которые требуют управления. Также, к бортовому компьютеру подключены датчики телеметрии, которые контролируют:

- энергопотребление, уровень разряда/заряда аккумуляторов, ток с СБ, ток от аккумуляторов и т.д.;
- температуру сторон корпуса, компьютера, аккумуляторов;
- потребляемые аппаратурой мощности;
- события типа «включен/выключен», контактные, разделения, раскрытия и т.д.

3.2. Основные требования системы энергоснабжения микроспутника

Для регулирования, выработки, хранения и распределения электроэнергии при работе космического аппарата на орбите предназначена система энергоснабжения (СЭП). [5]

Система энергоснабжения состоит из следующих элементов:

- источник энергии - панели солнечных батарей;
- аккумуляторные батареи;
- преобразователи энергии;
- система управления и контроля;

Солнечные батареи должны питать нагрузку и заряжать аккумуляторные батареи на свету. Аккумуляторные батареи должны обеспечивать электроэнергией нагрузку в области тени. Нерегулируемая электроэнергия должна напрямую передаваться на те устройства спутника, которые могут питаться нерегулируемым напряжением. Остальные устройства, которые требуют регулируемого напряжения питания, должны питаться при помощи DC-DC преобразователей.

В спутнике должна быть система приоритета, которая позволяет отключать некритичные подсистемы спутника, когда уровень энергии стал меньше некоторого минимального значения. Нужные значения напряжения и тока должны передаваться в качестве данных контроля (телеметрических данных), также при повреждении СБ эта проблема должна быть решена

посредством передачи телеметрической информации. Это позволит предотвратить выход из строя системы.

Аккумуляторные батареи должны быть выбраны очень аккуратно, так как от них зависит надежность спутника, поэтому необходимо резервирование их комплекса. [6]

Требования к СЭП с точки зрения космических условий по температуре:

- Рабочая температура для СБ от -80°C до $+100^{\circ}\text{C}$, для аккумуляторной Li-Ion батареи от -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$, DC-DC преобразователи, зарядные устройства, регуляторы тока, переключатели и другие элементы СЭП: -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$
- Допустимая температура для СБ от -80°C до $+100^{\circ}\text{C}$, для аккумуляторной Li-Ion батареи от -40°C до $+65^{\circ}\text{C}$, DC-DC преобразователи, зарядные устройства, регуляторы тока, переключатели и другие элементы СЭП: -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$

3.3. Выбор аккумуляторной батареи

В микроспутниках преимущественно используются Li-Ion и NiCd батареи. NiCd батареи применяются на всех типах спутников: пико, микро, нано и больших. Сравнение характеристик Li-Ion и NiCd батарей приведены в таблице 3. [7]

Таблица 3 – Сравнительный анализ характеристик батарей

Характеристики \ Тип	Li-Ion	NiCd	Вывод
Плотность энергии, Вт*ч/кг	90-120	30-40	Меньший вес
Плотность энергии, Вт*ч/L	260-300	120-150	Меньший объем
КПД, %	96	72	Снижение энергии на зарядку
Тепловая мощность, шкала 1-10	3	8	Снижение количества (размеров) радиаторов
Рабочее напряжение одного элемента батареи, В	3.6	1.2	Меньшее количество батарей

Число циклов при глубине разрядки 80%	650	500	Более длительный срок работы
Предельная глубина разрядки, позволяющая получить тах число циклов для LEO, %	30	20	
Собственная разрядка, %/день	0.3	1	Малая утечка, легкость управления перед запуском
Эффект памяти	Нет	Да	Не требуется периодическое восстановление емкости
Допуск перезарядки	Крайне малый	Средний	Небольшая вероятность повреждения или взрыва батареи при зарядке
Перезарядка	Дост. сложно	Дост. просто	Более легкое управление зарядкой (меньшая точность контроля)
Управление зарядкой	СССВ + Балансировка	СС	
Параметр контроля	Напряжение	Нет?	Лучшая возможность контроля
Хорошая известность в космическом применении	Нет	Да	Доказано устойчивое поведение в вакууме
Максимальный длительный ток нагрузки (мА)	<2С	<3С	Большой ток на нагрузку
Внутреннее сопротивление при 250С, мОм	150-250	100-200	Большой ток на нагрузку
Время зарядки, ч	3-6	0.5-1	Быстрее заряжается
Рабочая температура разрядки, 0С	0...45	0...45	
Рабочая температура разрядки, 0С	-20...60	-20...60	
Модульное исполнение	Да	Нет	Возможна конструкция из одного элемента или параллельного соединения без устройств защиты.

Выбор определенного типа батареи зависит от конструкции, назначения, времени эксплуатации спутника, орбиты. Главным требованием, предъявляемым к выбору батареи, является надежность, а именно, устойчивость к механическим перегрузкам, ударам, колебаниям, которые

имеют место при выводе спутника на орбиту, устойчивость конструкции, и поведения батареи в космических условиях (радиация, энергетические частицы, глубокий вакуум).

4. Архитектура системы энергопитания

Систему электропитания спутника можно поделить на три основные группы:

- контроль солнечных батарей;
- зарядка и контроль аккумуляторных батарей;
- регулирование и преобразование напряжения шины электропитания.

Должен осуществляться контроль электрической энергии, вырабатываемой СБ, поскольку перезарядка аккумуляторных батарей недопустима. Чтобы не допустить внутреннего перегрева спутника, при выработке большого количества энергии солнечными панелями, лишняя энергия должна быть снижена. При использовании в системе зарядного устройства, происходит предотвращение перезарядки батареи. Напряжение на шине должно регулироваться, т.к. некоторые системы спутника могут требовать стабильного напряжения питания.

Существуют две наиболее распространенные архитектуры системы электропитания:

- Система с использованием устройства отслеживания и выборки максимальной мощности солнечных батарей (PeakPowerTracker, PPT);
- Система прямой передачи электроэнергии от солнечных батарей.

4.1 Система энергопитания с PPT

На рисунке 7 представлена простейшая схема электропитания:

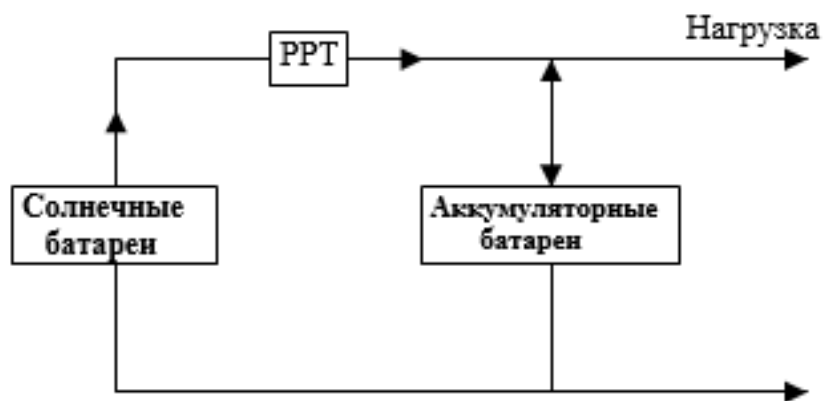


Рисунок 7 - Схема электропитания с РРТ

РРТ представляет собой последовательно соединенное устройство, извлекающее из солнечных батарей ровно столько энергии, сколько требуется.

РРТ – это коммутационный преобразователь напряжения постоянного тока высокой частоты, регулирующий выходное напряжение посредством изменения рабочего цикла. В зависимости от электропотребления спутника, РРТ измеряет выходную мощность солнечных батарей и регулирует напряжение, повышая или понижая его.

4.2 Система энергопитания посредством прямой передачи электроэнергии от солнечных батарей

В данной системе электропитания от СБ электроэнергия передается на блок аккумуляторных батарей и нагрузку напрямую, но есть вероятность возникновения проблемы: нужно ограничить избыточную мощность СБ, чтобы предотвратить внутренний перегрев спутника.

При добавлении шунтирующего регулятора это возможно осуществить. Данное устройство соединяется параллельно с СБ. При превышении некоторого предела выходного напряжения СБ, шунтирующий регулятор ограничивает его.

Как правило, реализуется один из двух способов ограничения выходного напряжения:

- при помощи отключения клемм соответствующих солнечных панелей;
- регулирование напряжение с помощью операционного усилителя и транзистора.

4.2.1. Схема без регулирования напряжения на шине электропитания

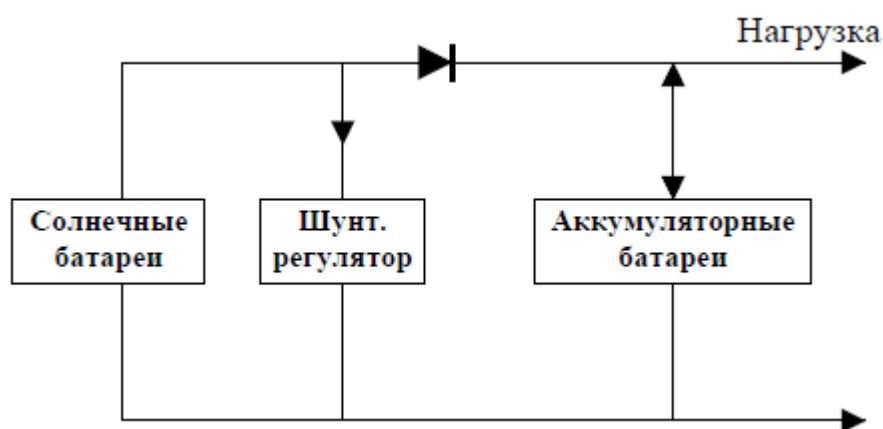


Рисунок 8 - Схема без регулирования напряжения на шине электропитания

При освещении СБ, напряжение на шине электропитания будет равно напряжению СБ минус падение напряжение на блокирующем диоде. Напряжение на шине будет равно напряжению аккумуляторных батарей, в случае, когда СБ не освещаются. Также возможен случай при работе солнечных и аккумуляторных батарей одновременно, когда нагрузке требуется большой ток.

СБ выдают довольно стабильное напряжение, при нагрузке, не требующей большого тока, следовательно, не будет сильно изменяться напряжение на шине электропитания, при освещении солнечных панелей. Когда солнечные батареи не освещаются, напряжение аккумуляторных батарей изменяется и равно напряжению нагрузки, поскольку батареи находятся в процессе разрядки (рис. 8).

4.2.2. Схема с контролем зарядки батарей, но без регулирования напряжения на шине электропитания

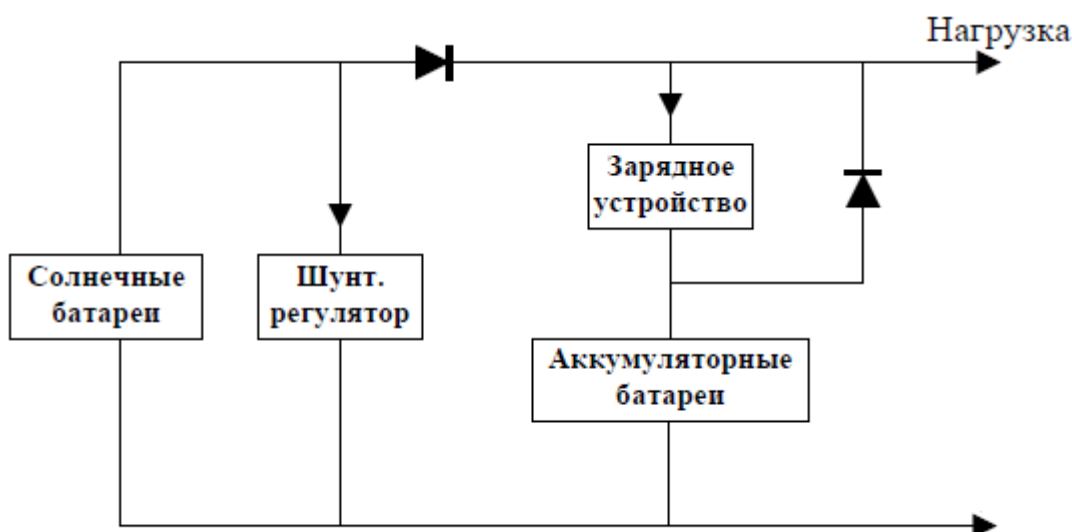


Рисунок 9 - Схема с контролем зарядки батарей, но без регулирования напряжения на шине электропитания

Схема, представленная на рисунке 9 работает подобно схеме, описанной в пункте 4.2.1, но теперь контроль зарядки батарей осуществляется зарядным устройством. Зарядное устройство должно иметь входное напряжение большее, чем напряжение батареи при зарядке, поэтому напряжение СБ должно быть хотя бы на 0.5В выше, чем конечное напряжение зарядки аккумуляторных батарей.

Батареи защищены от перезарядки, при помощи зарядного контура. При освещении солнечных панелей, диод батарей смещен обратно. Этот диод предотвращает зарядку батарей через контур. Напряжение СБ равно нулю в тени, диод батарей будет смещен прямо, позволяя батареям разряжаться через себя на нагрузку.

При обеспечении напряжения на шине электропитания аккумуляторными батареями, оно изменяется, поскольку напряжение батарей уменьшается при разрядке. При последовательном соединении элементов в одну батарею, в большом диапазоне может изменяться напряжение на шине.

В данную схему требуется добавить преобразователь напряжения постоянного тока (DC-DC преобразователь), если нагрузка критична к качеству напряжения.

4.2.3. Схема с полным регулированием напряжения на шине электропитания

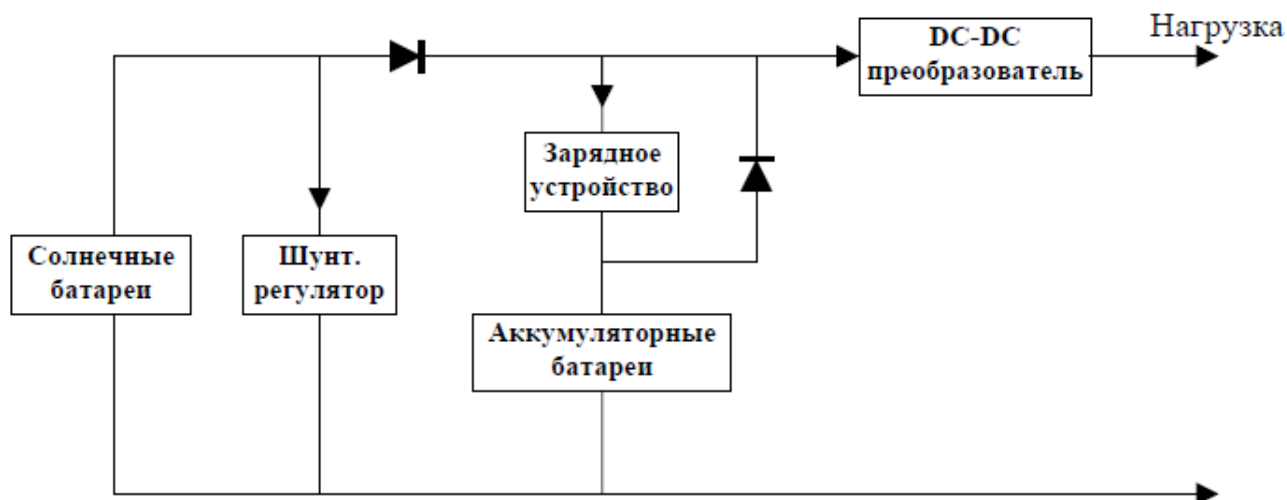


Рисунок 10 - Схема с полным регулированием напряжения на шине электропитания

В данной схеме (рис. 10) при освещении солнечных батарей при значении напряжения, которое было задано заранее, диод батарей должен быть обратно смещен. Если это условие не будет соблюдаться аккумуляторные батареи будут разряжаться даже в том случае, если СБ вырабатывают энергию.

DC-DC преобразователь обеспечивает стабильное напряжение нагрузки, он должен выдавать одинаковое выходное напряжение, независимо от того, чем оно обеспечивается – солнечными батареями или аккумуляторными батареями.

В зависимости от температуры аккумуляторных батарей и глубины разрядки, напряжение аккумуляторных батарей может быть, как выше, так и ниже напряжения нагрузки. Поэтому преобразователь может обеспечивать как повышение, так и понижение входного напряжения.

Рекомендуется выбрать схему с полным регулированием на шине питания потому что она обеспечивает большую надежность по сравнению с аналогичными схемами архитектуры энергопитания микроспутника. За счет добавления DC-DC преобразователя обеспечивается стабильное напряжение на нагрузке с постоянным выходным значением.

В расчетной части данной работы будет рассчитан один элемент схемы с полным регулированием питания – DC-DC преобразователь напряжения.

5. Преобразователь напряжения

В малых спутниках электропитание осуществляется от солнечной батареи или аккумуляторной батареи, следовательно, преобразование напряжения до нужного уровня возможно осуществить при помощи DC-DC преобразователей.

Принцип работы DC-DC преобразователя заключается в том, что постоянное напряжение преобразуется в переменное, с частотой в несколько десятков или сотен килогерц, повышается (понижается), а затем выпрямляется и подается на нагрузку. Такой вид преобразователи называется импульсными. [8]

Преобразователи напряжения можно классифицировать следующим образом:

- Понижающие преобразователи - выходное напряжение ниже входного: возможно получение напряжения в несколько вольт при входном напряжении от 12 до 50 В, без особых потерь на нагрев регулирующего транзистора. Выходной ток такого типа преобразователей будет зависеть от потребности нагрузки, что определяет схемотехнику преобразователя.
- Повышающие преобразователи - выходное напряжение выше входного. К примеру, при входном напряжении 5 В, выходное напряжение 30 В, также возможно его плавное регулирование и стабилизация.
- Универсальные преобразователи - выходное напряжение удерживается на заданном уровне, при том, что входное напряжение может быть, как выше входного, так и ниже. Применимы к использованию в случае, когда входное напряжение может изменяться в значительных пределах.

- Инвертирующие преобразователи - получение на выходе напряжения обратной полярности относительно источника питания. Используются в случаях, когда требуется двухполярное питание.

В данной работе будет рассмотрен понижающий преобразователь с последовательным ключом.

5.1. Принцип работы понижающего преобразователя напряжения.

На рисунке 11 представлена функциональная схема понижающего преобразователя напряжения.

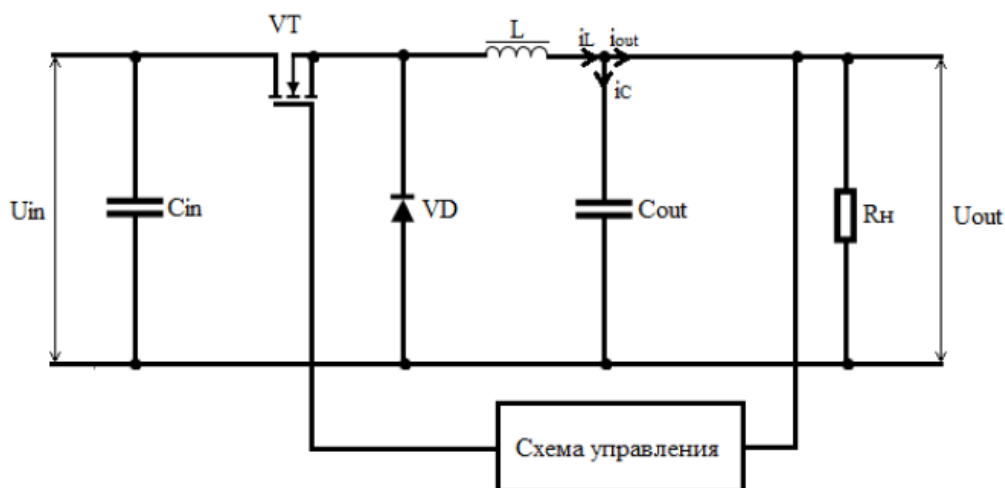


Рисунок 11 – Функциональная схема понижающего преобразователя напряжения

Входное напряжение U_{in} подается на конденсатор C_{in} (входной фильтр). Транзистор осуществляет высокочастотную коммутацию тока. Можно использовать биполярные транзисторы, либо транзисторы структур: MOSFET, IGBT. Также, в схеме представлен разрядный диод VD и выходной фильтр LC_{out} , с которого напряжение поступает на нагрузку R_n , подключенную последовательно с VT и L .

5.2. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)

На рисунке 12 представлен график выработки импульсов системой управления.

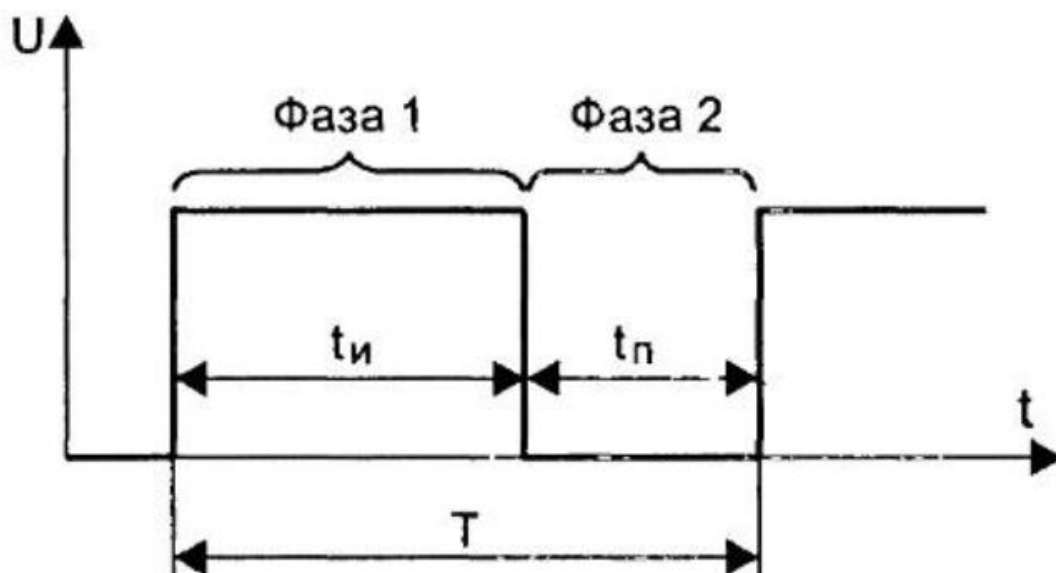


Рисунок 12 – Импульсы управления

Система управления вырабатывает прямоугольные импульсы управления с постоянным периодом или частотой. На рис. 5.2 $t_{и}$ – время импульса, когда транзистор открыт; $t_{п}$ – время паузы, когда транзистор закрыт. Коэффициентом заполнения D называется соотношение $t_{и}/T$.

Коэффициент заполнения может изменяться от 0 до 1. При значении $D = 1$ ключевой транзистор находится в состоянии полной проводимости, а при $D=0$ транзистор закрыт.

Именно за счет изменения коэффициента заполнения и ширины управляющего импульса $t_{и}$, происходит регулирование выходного напряжения. Данный метод регулирования называется широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Также стабилизация выходного напряжения происходит при помощи ШИМ практически во всех импульсных блоках. [9]

В данном примере коэффициент заполнения D будет определять, сколько времени будет открыт (фаза 1) или закрыт (фаза 2) ключевой транзистор. Ниже для этих фаз схема представлена двумя рисунками. На рисунках 13 и 14 не показаны элементы, которые в данной фазе не используются.

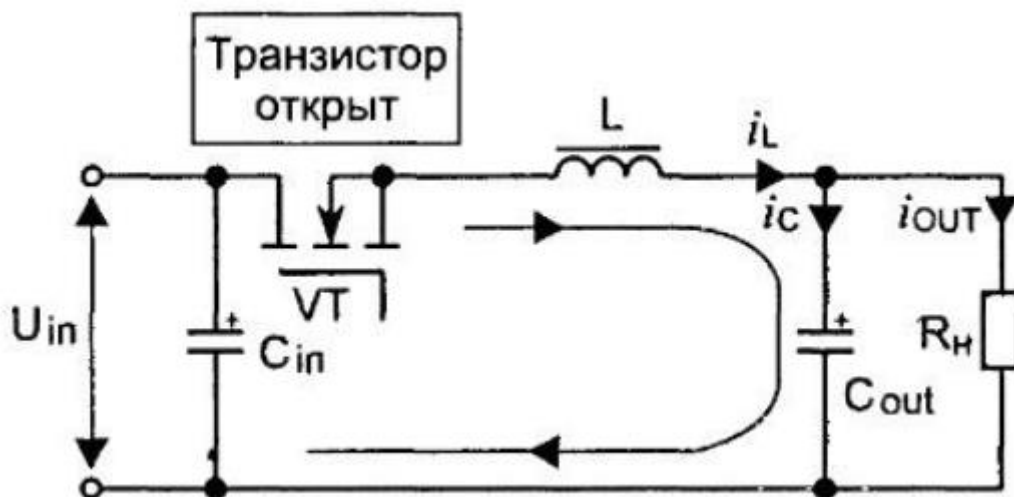


Рисунок 13 – Фаза 1, транзистор открыт

Ток от источника питания проходит через индуктивный дроссель L , нагрузку R_H , и заряжающийся конденсатор C_{out} , когда транзистор открыт. Также через нагрузку течет ток, дроссель L и конденсатор C_{out} накапливают энергию. Ток i_L постепенно возрастает, сказывается влияние индуктивности дросселя. Данная фаза называется накачкой.

Когда напряжение на нагрузке достигнет заданного значения (определяется настройкой устройства управления), транзистор VT закрывается и устройство переходит ко второй фазе, которая называется фазой разряда.

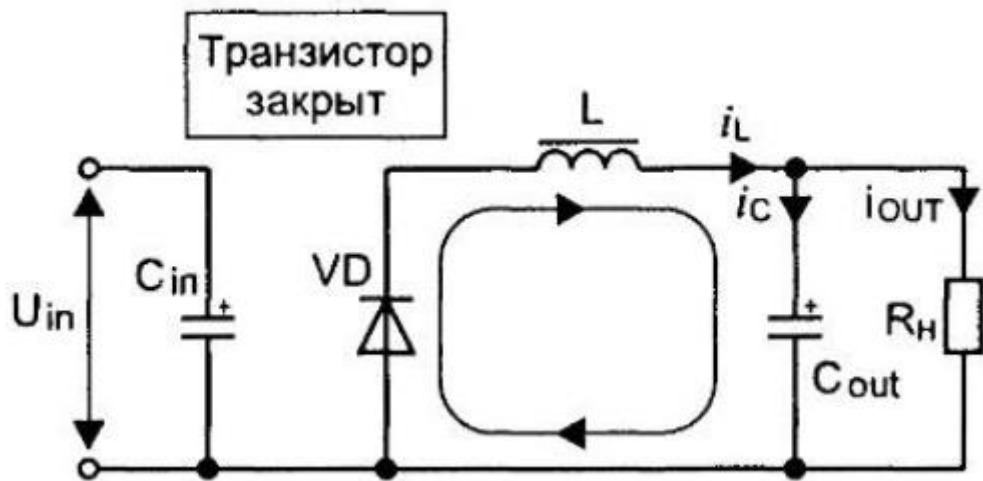


Рисунок 14 – Фаза 2, транзистор закрыт

Когда транзистор VT закрыт пополнения энергии в дросселе не происходит, т.к. источник питания отключен. Индуктивность L стремится воспрепятствовать изменению величины и направлению тока, который протекает через обмотку дросселя.

Ток не может мгновенно прекратиться и замыкается через цепь «диод-нагрузка». Поэтому диод VD называется разрядным диодом. Чаще всего, это быстродействующий диод Шоттки. Когда период управления фазы 2 заканчивается схема переключается на фазу 1, и процесс повторяется снова. В рассмотренной схеме максимальное напряжение на выходе может быть равным входному, и никак не более. Повышающие преобразователи применяются для получения выходного напряжения больше входного. [10]

Предполагается, что включение и выключение происходит без задержек, активное сопротивление нулевое, т.е. все компоненты схемы идеальные. Много зависит от качества применяемых компонентов и паразитной емкости монтажа, поэтому при практическом изготовлении подобных схем приходится учитывать многие факторы.

Преобразователь может работать в режиме разрывных токов, при недостаточной индуктивности, что недопустимо для источников питания.

Если индуктивность достаточно большая, то работа будет происходить в режиме неразрывных токов, что позволяет с помощью выходных фильтров получить постоянное напряжение с приемлемым уровнем пульсаций. [11]

6. Расчетная часть

DC-DC преобразователи широко распространены в вычислительной и электронной технике. Они преобразуют входное напряжение в стабилизируемое напряжение, меньшее по величине. При помощи ключа, индуктивности, входного, выходного конденсаторов и диода понижающие преобразователи передают со входа на выход небольшие порции энергии, снижая и стабилизируя выходное напряжение. У понижающих преобразователи лучший КПД, чем у линейных стабилизаторов, но большие размеры.

В данной работе рассматривается понижающий преобразователь с фиксированной частотой переключения и широтно-импульсной модуляцией (рис 15.), работающий в режиме непрерывных токов. Входные данные:

- Напряжение на входе $U_{вх} = 40 \text{ В}$;
- Стабилизированное напряжение на выходе $U_{вых} = 12 \text{ В}$;
- Выходная мощность $P_{вых} = 15 \text{ Вт}$;
- Максимальный выходной ток $I_{вых} = 1,25 \text{ А}$;
- Частота переключений конвертера $f = 300 \text{ кГц}$.

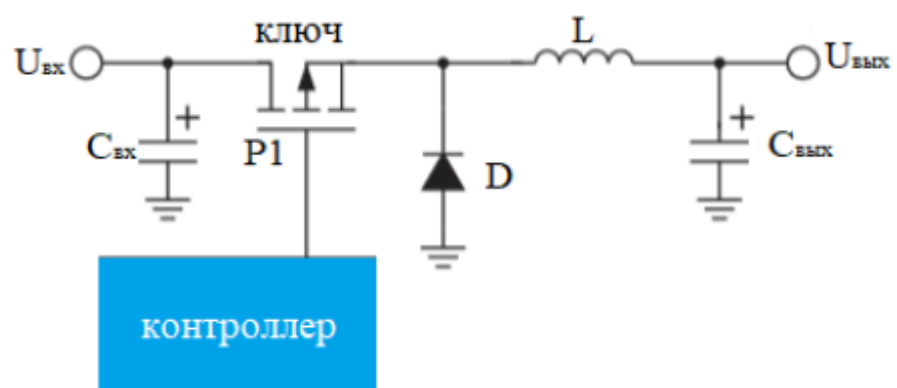


Рисунок 15 – Схема понижающего преобразователя напряжения

6.1 Выбор входного конденсатора

В данном преобразователе импульсный характер потребления тока, поэтому для того, чтобы снизить пульсации потребуется применение сглаживающего конденсатора. Использование конденсаторов с низким эквивалентным последовательным сопротивлением (ESR) дает лучшие результаты. Так как входной конденсатор должен демпфировать токовые пульсации, формула для расчета будет иметь вид:

$$I_{C1} = I_{\text{ВЫХ}} \cdot \frac{\sqrt{U_{\text{ВЫХ}} \cdot (U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}})}}{U_{\text{ВХ}}} = 1,25 \cdot \frac{\sqrt{12 \cdot (40 - 12)}}{40} = 0,573 \text{ A}$$

Входная емкость составит 22 мкФ, при данной величине пульсирующего тока.

Возможно использование различных типов конденсаторов в схемах преобразователей напряжения. Для данной работы можно использовать полимерный конденсатор ECASD61C226M030K компании Murata.

Предпочтительнее использование именно полимерных конденсаторов, поскольку они надежнее, чем танталовые и керамические. Танталовые конденсаторы при выходе из строя замыкаются накоротко, создавая короткое замыкание на входе стабилизатора, а это может привести к возгоранию устройства. Керамические конденсаторы удобны в случаях, когда площадь печатной платы или высота компонентов ограничены, но из-за керамики схема может быть подвержена механическим вибрациям керамического конденсатора, возникающим из-за ферроэлектрических свойств конденсатора и пьезоэлектрических явлений, происходящих вследствие пульсаций напряжения на конденсаторе, а это явление крайне нежелательно.

6.2 Выбор силового ключа

Прежде всего для внешнего ключа необходимо определить максимальную температуру перехода ($T_{J\text{max}}$) и максимальную температуру окружающей среды ($T_{A\text{max}}$). $T_{J\text{max}}$ не должна быть больше 115-120 °С, а

T_{Amax} не должна превышать 60 °С. Максимальная окружающая температура равна 60 °С.

Рассчитаем максимально допустимый перепад температур для силового ключа:

$$T_J = T_{Jmax} - T_{Amax} = 115 - 60 = 55 \text{ °С}$$

Максимальная мощность, рассеиваемая силовым ключом, вычисляется из допустимого максимального перепада температур для ключа:

$$P_{Dtot} = \frac{T_J}{Q_{JA}} = \frac{55}{62} = 0,887 \text{ Вт}$$

На тепловое сопротивление между переходом ключа и окружающей средой влияют тип корпуса силового ключа и количество меди на печатной плате.

Пусть потери на сопротивлении ключа составляют примерно 60% от всех потерь в ключе, тогда для максимально допустимого сопротивления открытого ключа при температуре 25 °С:

$$R_{\text{коткр}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}} \cdot \frac{1}{I_{\text{ВЫХ}}^2 \cdot (1 + 0,005 \cdot (T_{J\text{гор}} - 25^\circ\text{С}))} \cdot P_{Dtot} \cdot 60\%$$

$$R_{\text{коткр}} = \frac{40}{12} \cdot \frac{1}{1,25^2 \cdot (1 + 0,005 \cdot (55 - 25))} \cdot 0,887 \cdot 60\% = 0,987 \text{ Ом}$$

Мощность, рассеиваемая ключом, зависит от его сопротивления в проводящем состоянии и потерь на переключение. Потери на сопротивлении открытого ключа:

$$P_{Rk} = \frac{U_{\text{BSX}}}{U_{\text{ВХ}}} \cdot I_{\text{ВЫХ}}^2 \cdot R_{\text{коткр}} = \frac{12}{40} \cdot 1,25^2 \cdot 0,987 = 0,462 \text{ Вт}$$

6.3 Выбор диода

Диод обеспечивает протекание тока через индуктивность при запертом MOSFET-ключе. Рекомендуется использовать диод Шоттки для снижения потерь на диоде и устранения эффекта обратного восстановления. Диод выбирается с максимальным обратным напряжением, которое должно быть не ниже максимального напряжения питания и допустимым током, большим, чем значение максимального тока в нагрузке.

Рассеиваемая мощность является ограничительным фактором при выборе диода. Средняя мощность для наихудшего случая рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{диод}} = \left(1 - \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}\right) \cdot I_{\text{ВЫХ}} \cdot U_{\text{диод}} = \left(1 - \frac{40}{12}\right) \cdot 1,25 \cdot 0,3 = 0,09 \text{ Вт}$$

где $U_{\text{диод}}$ – падение напряжения на диоде при заданном выходном токе $I_{\text{ВЫХ}}$ (0,3 В для диода Шоттки).

В качестве диода в данной работе выбирается диод Шоттки - КД289БС.

6.4 Выбор индуктивности в схеме преобразователя

При импульсной коммутации необходимо обеспечить постоянство тока в нагрузке для этого используется катушка индуктивности (дроссель). Снижение величины пульсаций тока в нагрузке и пульсаций выходного напряжения происходит за счет увеличения индуктивности дросселя. Но дроссели с большей индуктивностью имеют большие габариты, большее резистивное сопротивление и меньший обратный ток насыщения. Компромиссных результатов можно достигнуть при выборе значения амплитуды тока пульсаций (LIR) в дросселе порядка 30 % от максимально допустимого значения тока инвертора. Индуктивность при этом можно рассчитать по формуле:

$$L = (U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}}) \cdot \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{\text{LIR} \cdot I_{\text{ВЫХ}}}$$

$$L = (40 - 12) \cdot \frac{40}{12} \cdot \frac{1}{300000} \cdot \frac{1}{0,3 \cdot 1,25} = 74 \text{ мкГн}$$

где f – частота переключений понижающего преобразователя. Выберем ближайший номинал, который равен 75 мкГн из стандартного ряда индуктивностей.

Нужно проверить, что пиковый ток в индуктивности ниже максимального значения тока в нагрузке. Для этого выберем дроссель, не входящий в насыщение при максимально допустимом токе пульсаций, тогда пиковое значение тока пульсаций:

$$I_{\text{инд}} = (U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}) \cdot \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{L}$$

$$I_{\text{инд}} = (40 - 12) \cdot \frac{40}{12} \cdot \frac{1}{300000} \cdot \frac{1}{75 \cdot 10^{-6}} = 0,375 \text{ А}$$

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{вых}} + \frac{I_{\text{инд}}}{2} = 1,25 + \frac{0,375}{2} = 1,44 \text{ А}$$

Для того, чтобы скомпенсировать разброс параметров компонентов и разницу между расчетными и реальными значениями ток насыщения выбирается больше, чем пиковый ток. Для данных расчетов – 2 А.

6.5 Выбор выходного конденсатора

Слишком большое эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора (equivalent-seriesresistance, ESR) приводит к большим пульсациям напряжения, а недостаточная величина емкости – к большим выбросам. Поэтому на выходе понижающего преобразователя необходим конденсатор, который будет подавлять выбросы и пульсации в схеме.

На выходе преобразователя, при резком уменьшении нагрузки, возникает скачок напряжения, который значительно превышает стабилизируемое значение. Для предотвращения выброса в нагрузку излишков энергии, которая запасена в индуктивности, и превышения

максимально допустимого значения выходного напряжения, следует правильно определить емкость выходного конденсатора. Выброс напряжения на выходе рассчитывается по формуле:

$$C_0 = \frac{L \cdot (I_{\text{ВЫХ}} + \frac{I_{\text{ИНД}}}{2})^2}{(\Delta U + U_{\text{ВЫХ}})^2 - U_{\text{ВЫХ}}^2} = \frac{75 \cdot 10^{-6} \cdot (1,25 + \frac{0,375}{2})^2}{(100 \cdot 10^{-3} + 12)^2 - 12^2} = 64 \text{ мкФ}$$

где $U = 100 \text{ мВ}$ – максимальное значение выброса напряжения на выходе. К полученному значению добавляется разброс емкости конденсаторов равный 20%, в итоге емкость составит 77 мкФ. Ближайшее стандартное номинальное значение – 82 мкФ. Выходные пульсации на конденсаторе рассчитываются по формуле:

$$U_{C_{\text{ВЫХ}}} = \frac{1}{2 \cdot C_0} \cdot \frac{U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}}}{L} \cdot (\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \cdot \frac{1}{f})^2$$

$$U_{C_{\text{ВЫХ}}} = \frac{1}{2 \cdot 82 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{40 - 12}{75 \cdot 10^{-6}} \cdot (\frac{40}{12} \cdot \frac{1}{300000})^2 = 20 \text{ мВ}$$

Понижающий преобразователь дает величину выходных пульсаций менее 2 %, в рассматриваемом случае 24 мВ.

Последовательное сопротивление выходного конденсатора является основным фактором, влияющим на размах пульсаций. Величина ESR рассчитывается следующим образом:

$$ESR_{C_0} = \frac{1}{I_{\text{ИНД}}} \cdot (\Delta U - \frac{1}{2 \cdot C_0} \cdot \frac{U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}}}{L} \cdot (\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \cdot \frac{1}{f})^2)$$

$$ESR_{C_0} = \frac{1}{0,375} \cdot (0,24 - \frac{1}{2 \cdot 82 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{40 - 12}{75 \cdot 10^{-6}} \cdot (\frac{40}{12} \cdot \frac{1}{300000})^2) = 0,125 \text{ Ом}$$

Неустойчивость преобразователя может быть вызвана конденсатором со слишком низким ESR. Для выходного конденсатора, емкость которого 100 мкФ, значение ESR не должно превышать 570 мОм, в данном случае 125 мОм. В качестве выходного конденсатора можно использовать танталовый конденсатор 593D107X9010D2TE3 компании Vishay.

Таким образом, в расчетной части данной работы рассчитаны элементы, необходимые для работы схемы и для дальнейшего имитационного моделирования понижающего преобразователя.

7.Имитационное моделирование

После расчета всех элементов схемы необходимо оценить полученные значения и проверить работоспособность. В программной среде MatlabSimulink создается имитационная модель понижающего преобразователя напряжения. [12]

Модель понижающего преобразователя напряжения состоит из следующих элементов:

- DC VoltageSource – данный блок вырабатывает постоянное по уровню напряжение;
- C1, C2 – блоки, представляющие собой конденсаторы с последовательно подключенным сопротивлением;
- L – блок индуктивности с последовательно подключенным сопротивлением, учитывающим сопротивление самой катушки индуктивности;
- VD – представляет собой модель полупроводникового силового диода;
- R – блок резистора;
- MOSFET – модель полевого транзистора с параллельно включенным обратным диодом;
- PulseGenerator – блок формирования прямоугольных импульсов.

В реальных условиях входное напряжение неидеально, но при разработке схемы был использован идеальный источник входного напряжения, что является допущением. [13]

Полученная модель представлена на рисунке 16.

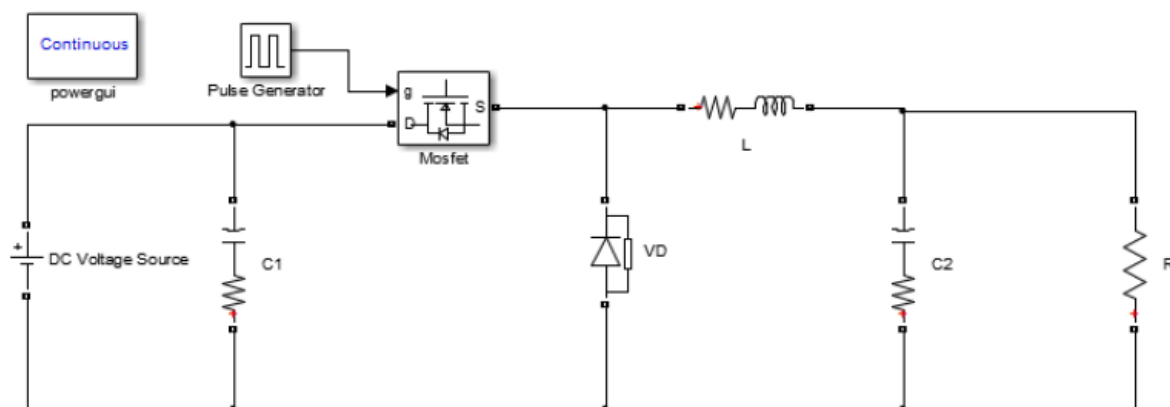


Рисунок 16 – Имитационная модель понижающего преобразователя напряжения

7.1. Оценка адекватности модели

Система справляется с возложенными на нее функциями, об этом можно судить по данным полученным при испытании имитационной модели. Напряжение источника представлено на рисунке 17, напряжение на нагрузке – на рисунке 18.

Из полученных графиков видно, что рассчитанный понижающий преобразователь напряжения работоспособен. Погрешность напряжения на выходе составляет 24 мВ, что не выходит за пределы исходных данных задания и соотносится с расчетными значениями.

В данном разделе была создана имитационная модель понижающего преобразователя напряжения, которая позволяет адекватно оценивать и анализировать процессы преобразования энергии в микроспутнике.

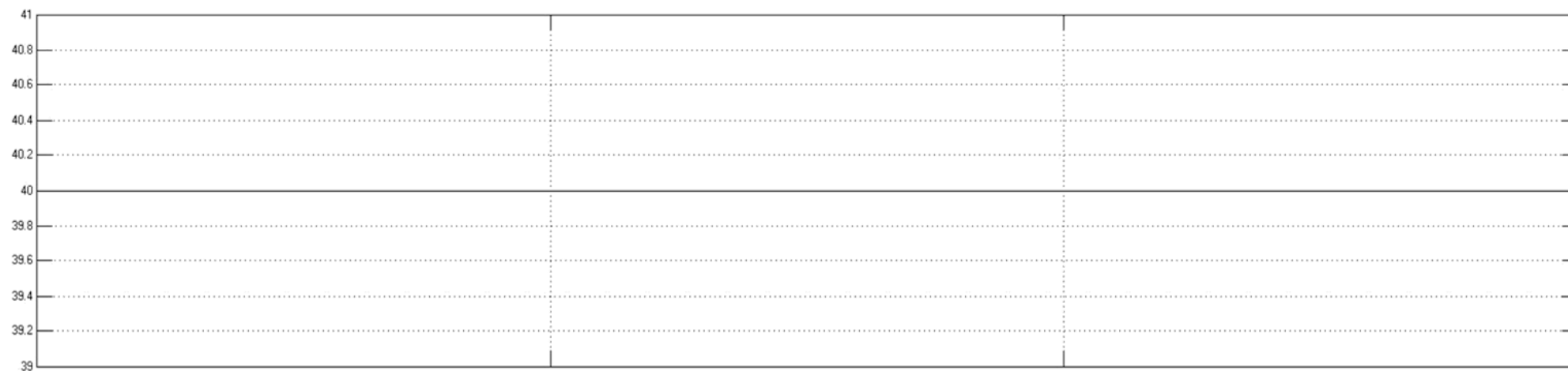


Рисунок 17 – Напряжение источника напряжения

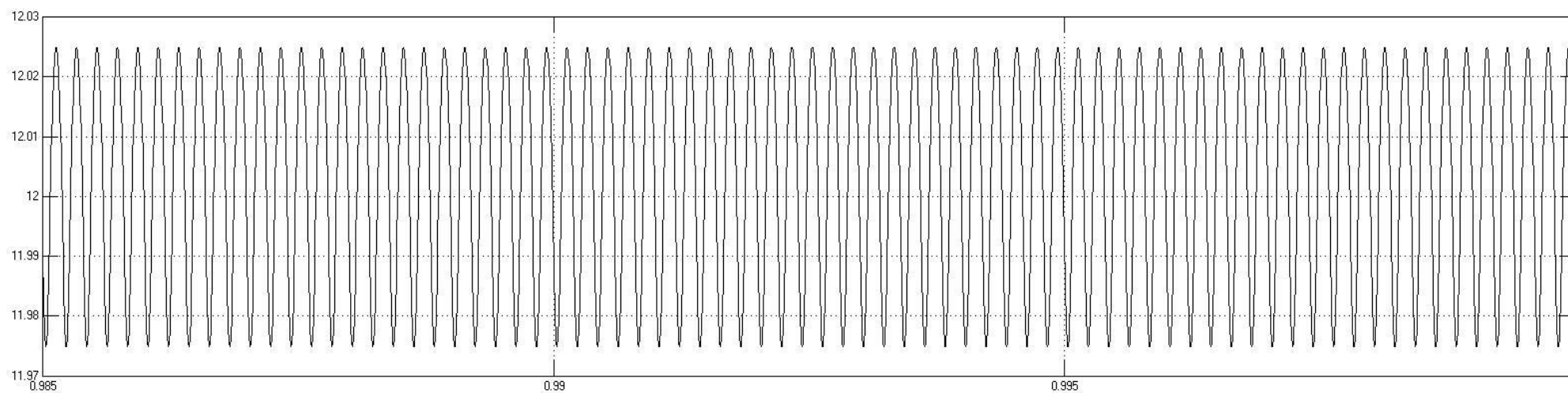


Рисунок 18 – Напряжение источника напряжения

8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность технического проектирования определяется не столько масштабом проекта, оценить который на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для выполнения технологического проекта и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы будущего проекта.

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования системы электропитания малого космического аппарата, спроектированной в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово–временные показатели процесса проектирования и материальные затраты технического проекта.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- составление SWOT– анализа работы проектируемого стенда;
- планирование технико–конструкторских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

8.1. SWOT – анализ системы электропитания малого космического аппарата

SWOT–анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта.

Применительно к проектируемой системе электропитания малого космического аппарата, SWOT–анализ позволит оценить сильные и слабые стороны, а также его возможности и угрозы. [14]

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	С1. Высокая энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Квалифицированный персонал. С4. Повышение безопасности производства С5. Уменьшение затрат на ремонт оборудования.	Сл1. Трудность монтажа системы. Сл2. Высокая стоимость оборудования.
Возможности:		
В1. Увеличение производительности энергоблоков. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Снижение затрат на таможенные пошлины за счет малого количества иностранных компонентов. В4. Повышение стоимости конкурентных систем.	В1: С1, С2, С3, С4. В2: С1. В3: С5. В4: С1, С2, С5.	- В2: Сл1, Сл2 В3: Сл2. В4: Сл2.
Угрозы:		

У1. Отсутствие спроса на технологии производства.	У1: С3.	У1: Сл1, Сл2.
У2. Ограничения на экспорт технологии.	-	-
У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции.	У3: С5;	У3: Сл1, Сл2.
У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства	У4: С1, С2, С5.	У4: Сл2.

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз (табл. 5, 6), позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз.

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
В1	+	+	+	+	-
В2	+	-	-	-	-
В3	-	-	-	-	+
В4	+	+	-	-	+
	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
В1	-	-	-	-	-
В2	+	+	-	-	-
В3	-	+	-	-	-
В4	-	+	-	-	-

Таблица 6 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
У1	-	-	+	-	-
У2	-	-	-	-	-
У3	-	-	-	-	+
У4	+	+	-	-	+
	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
У1	+	+	-	-	-

У2	-	-	-	-	-
У3	+	+	-	-	-
У4	-	+	-	-	-

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 2 и 3, показывает, что угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

8.2. Планирование работ и их временная оценка

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования.

После получения и уточнения темы выпускной квалификационной работы, нужно решить ряд задач для выполнения проекта:

1. Провести обзор литературы по теме – изучение теоретической части;
2. Сбор исходных данных для проектирования системы – поиск технической документации подобного устройства предыдущего поколения с целью выявить требуемые параметры системы;
3. Составление эскизного проекта – составление примерной конструкции и узлов схемы согласно с заложенной концепцией, а также составление их взаимодействия между собой;
4. Проектирование схемы – создание предварительной схемы, подбор компонентов, проведение расчета параметров элементов схемы и выбор конкретных компонентов;
5. Корректировка и доработка – при необходимости провести исправление и перерасчет узлов схемы, оптимизация режимов работы электронных компонентов;

6. Выполнение графических работ – оформление всех графических материалов для воспроизведения устройства;
7. Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;
8. Проверка отчёта и графических работ;
9. Исправление ошибок;
10. Подготовка к защите ВКР.

В ходе проектирования выделены два исполнителя: научный руководитель и инженер.

1. Научный руководитель проекта, отвечает за:

- концепцию проекта;
- технические требования;
- корректировку и сопровождение проекта.

2. Инженер, отвечает за:

- концепцию проекта;
- технические требования;
- технико-экономический анализ вариантов возможных решений;
- обоснование конструкторской разработки;
- предварительные схемы и расчеты;
- пояснительную записку;
- конструкторскую разработку узлов и схем изделия;
- расчеты, связанные с обеспечением надежности всех элементов изделий;
- окончательную корректировку работы;
- комплект документации.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в раб. днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого

(среднего) значения трудоемкости $t_{OЖi}$ используется следующая формула [14] :

$$t_{OЖi} = \frac{3t_{\min.i} + 2t_{\max.i}}{5},$$

где $t_{OЖi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i – ой работы чел. – дн.;

$t_{\min.i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i – ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел. – дн.;

$t_{\max.i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i – ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), раб. дни.

Таблица 7- Оценка трудоемкости работ

№	Название работы	Трудоемкость работ, раб. дни					
		Минимально возможное		Максимально возможное		Ожидаемое	
		Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	5	-	5	-	5
3	Составление и описание характеристик объекта исследования	1	4	1	7	1	7
4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	1	7	2	21	1	21
5	Расчет элементов схемы	1	20	2	25	2	24
6	Проверка проекта	1	2	2	7	1	5
7	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	1	21	2	30	2	29
8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими	1	3	1	6	1	5

9	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	-	1	-	1	-
10	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	2	2	2	4	2	3

8.3. Разработка графика проведения технического проекта

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

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 7 строим план – график проведения работ (таблица 8).

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12,5 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая второй декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составит 101 день. Из них:

- 99 дней – продолжительность выполнения работ Инженера;
- 12 дней – продолжительность выполнения работ руководителя.

8.4. Составление сметы затрат на разработку ТП

Планирования себестоимости проведения технического проекта предназначено для экономического обоснования величины затрат на его выполнение. Начальными данными для расчета затрат являются план работ и перечень требуемой аппаратуры, оборудования, сырья и материалов.

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

- материальные затраты;
- расчет полной заработной платы исполнителей;

- расчет отчислений во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

накладные расходы.

8.5. Определение стоимости материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на электронные компоненты, паяльное и измерительное оборудование, расходный материал стоимость доставки.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расхi}$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – предполагаемое количество материальных ресурсов i -го вида, которое необходимо для реализации проекта, натур.ед.;

Π_i – стоимость единицы i -го вида материальных ресурсов, руб./натур.ед.;

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ТД „Канцелярский мир”.

Таблица 9- Материальные затраты

Наименование	Кол-во, шт	Цена за ед., руб	Материальные затраты, руб
Бумага	150	3	450
Ручка	2	50	100
Папка	1	60	60
Калькулятор	1	395	395
Флеш-карта	1	565	565
ИТОГО			1570

Таблица 8 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп-ли	T_{Pi} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Науч. рук.	1													
		Инженер	5													
3	Составление и описание характеристик объекта исследования	Науч. рук.	1													
		Инженер	7													
4	Проведение теоретических обоснований	Науч. рук.	1													
		Инженер	21													
5	Расчет элементов схемы	Науч. рук.	2													
		Инженер	24													
6	Проверка проекта	Науч. рук.	1													
		Инженер	5													
7	Построение макетов(моделей) и проведение экспериментов	Науч. рук.	2													
		Инженер	29													
8	Сопоставление результатов эксперимента с теоретическими	Науч. рук.	1													
		Инженер	5													
9	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Науч. рук	1													
10	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Науч. рук	2													
		Инженер	3													

8.6. Затраты на заработанную плату

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп}$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

$З_{доп}$ – дополнительная заработанная плата, руб.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{р.к.}}{F_d}$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$З_{р.к.}$ – районная доплата, руб. для г. Томск составляет 30 %;

F_d – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт заработной платы приведён в таблице 10.

Таблица 10- Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Тарифная ставка, руб.	Районный коэффициент, руб	Месячная заработанная плата, руб	Дневная заработанная плата, руб.	Кол-во рабочих дней	Основная заработанная плата, руб.
Руководитель	47104	14131	61235	2355	12	28260
Инженер	12300	3690	15990	615	99	60890
Итого						89150

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15);

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 11.

Таблица 11- Расчёт полной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	Основная заработанная плата, руб.	Дополнительная заработанная плата, руб.	Полная заработанная плата, руб.
Руководитель	0,15	28260	4240	32500
Инженер	0,12	60890	7310	68200
Итого		89150	11550	100700

8.7. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления на социальные нужды — элемент себестоимости продукции (работ, услуг), в котором отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством нормам государственного социального страхования в Фонд социального страхования Российской Федерации, Пенсионный фонд Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг) по элементу «Затраты на оплату труда» (кроме тех видов оплаты, на которые страховые взносы не начисляются).

Затраты на социальные отчисления равны 30,2% от затрат на заработную плату:

$$З_{\text{с.о}} = З_{\text{полн}} \cdot 30,2\%$$

Рассчитываем затраты на социальные нужды (отчисления):

$$З_{\text{с.о}} = 100,7 \cdot 0,302 = 30,4 \text{ тыс. руб.}$$

8.8. Затраты на накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование

материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% от общей стоимости проекта.

8.9. Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

На основании затрат на выполнение работы составим таблицу 12.

Таблица 12 - Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	1,6	1
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей проекта	100,7	63,8
3. Отчисления во внебюджетные фонды	30,4	19,2
4. Накладные расходы	25,3	16,0
5. Итого	158,0	100,0

Была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 99 раб. дней для инженера и 12 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 158 тыс.руб, из которых более половины (63,8 %) составляют затраты на оплату труда.

В результате выполнения финансового раздела рассчитан бюджет проекта, который составил 158 тыс.рублей.

8.10. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания

Оценку характеристик проекта проведена на основе критериев, соответствующих требованиям к потребителям бортовой сети самолетов:

1. Материалоемкость – количество материала затрачиваемые на производство продукции. Оптимизация затрат на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии средств.
2. Безопасность – безопасная эксплуатация и безопасное отключение при нештатных ситуациях;
3. Надежность – бесперебойная работа системы во всем диапазоне условий указанных в паспортных данных;
4. Простота и удобство в эксплуатации – эргономичность и удобный интерфейс управления системы;
5. Массогабаритные характеристики – объём и масса, наилучшие характеристики соответствуют меньшей массе и объёму;
6. Энергоэффективность – высокий коэффициент полезного действия системы.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 13.

Таблица 13- Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Материалоемкость	0,10	4
3. Безопасность	0,20	5
3. Надежность	0,20	5
4. Простота и удобство в эксплуатации	0,10	4
5. Массогабаритные характеристики	0,20	5
6. Энергоэффективность	0,20	5
Итого:	1,00	
Интегральный показатель ресурсоэффективности		4,8

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_{p-исп1} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 = 4,8$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.
- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей.
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,8 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволит производить исследование различных режимов работы СЭП малых КА.

9. Социальная ответственность

В этом разделе рассмотрены вопросы, связанные с производственной безопасностью в лаборатории, правила эксплуатации помещения при возникновении опасных ситуаций. Также проведен анализ вредных и опасных факторов и их воздействие на исследователя, а также приведены методы обеспечения безопасности, как для лаборатории, так и для организации в целом. [15]

Выпускная квалификационная работа выполнялась в научно-исследовательской лаборатории «Лаборатория систем электроснабжения летательных аппаратов» – это помещение, оборудовано компьютерной техникой и специальными приборами, и установками, необходимыми для выполнения исследований, связанных с заданием, с помощью использования стандартного и специального программного компьютерного обеспечения.

В процессе выполнения работы возможно столкновение с различными вредными и опасными факторами, в том числе физического, химического и психофизиологического типа в зависимости от выбранной рабочей зоны. Длительная работа в помещении под воздействием вредных факторов неблагоприятно сказывается на здоровье работающего, что неизбежно влечет за собой снижение производительности труда.

9.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

9.1.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства

Сотруднику, постоянно работающему за компьютером, очень нелегко долгое время концентрировать взгляд на экране монитора. Устают глаза, шея, спина, затекают ноги. Для предотвращения негативных последствий воздействия на организм необходимо делать перерывы в работе. Законодательно установлено перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности, закреплено в статье 109 Трудового Кодекса РФ.

Время перерыва зависит от вида и сложности осуществляемой работы путем деления на группы. Выделяют 3 группы: А (работа по считыванию информации с экрана компьютера с предварительным запросом), Б (работа по вводу информации), В (творческая работа в режиме диалога с компьютером).

В зависимости от сложности работы установление числа и длительности перерывов происходит следующим образом:

- для группы А (не свыше 60000 считываемых знаков за смену) перерыв составляет 15 минут, предоставляется два раза – через два часа после начала работы и перерыва на обед;
- для группы Б (не свыше 40000 вводимых знаков за смену) перерыв составляет 10 минут через каждый трудовой час;
- для группы В (не свыше шести 6 часов за смену) перерыв составляет 15 минут через каждый трудовой час.

Если в течение рабочей смены пользователь выполняет разные виды работ, то его деятельность относят к той группе работ, на выполнение которой тратится не менее 50% времени рабочей смены.

Для предупреждения преждевременной утомляемости оператора рекомендуется организовать рабочую смену путем чередования работ с использованием ПК и без нее.

При постоянном взаимодействии с ПК с напряжением внимания и сосредоточенности рекомендуется организация перерывов на 10-15 мин через каждые 45-60 мин работы.

Продолжительность непрерывной работы на ПК без перерыва не должна превышать 1 ч.

Эффективность регламентируемых перерывов повышается при их сочетании с производственной гимнастикой. Производственная гимнастика должна включать комплекс упражнений, направленных на восполнение дефицита двигательной активности, снятие напряжения мышц шеи, спины,

снижение утомления зрения. Она проводится в течение 5 - 7 мин. 1 - 2 раза в смену.

В соответствии с ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» обязательному социальному страхованию подлежат все лица, выполняющие работу в организациях на основании трудовых договоров, а также физические лица, выполняющие работы на основании гражданско-правового договора, если в соответствии с этим договором страхователь (организация) обязан уплачивать страховщику (ФСС) страховые взносы. Все страхователи (предприятия, организации) обязаны перечислять страховщику (ФСС) страховые взносы, которые определены на основании страховых тарифов к фонду оплаты труда предприятия и устанавливаются федеральными законами по видам экономической деятельности. Из этих средств ФСС возмещает работнику, получившему повреждение здоровья на производстве, его утраченный заработок (доход), а также дополнительные расходы. [16]

Условия страховых выплат устанавливаются федеральными законами и, как правило, корректируются на каждый очередной финансовый год.

Установлены следующие виды страховых выплат в случае профессионального заболевания или производственной травмы:

- Пособие по временной нетрудоспособности;
- Единовременное страховое пособие;
- Ежемесячные страховые выплаты;
- Оплата дополнительных расходов на медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию.

Пособие по временной нетрудоспособности вследствие профессионального заболевания и в связи с несчастным случаем на производстве выплачивают застрахованному в размере 100% его среднего заработка за весь период временной нетрудоспособности до его выздоровления или установления стойкой утраты профессиональной

трудоспособности, которую устанавливает учреждение медико-социальной экспертизы и выражает ее в процентах. Оплата дополнительных расходов, связанных с медицинской, социальной и профессиональной реабилитацией застрахованного, приобретение лекарств, санаторно-курортное лечение, оплату отпуска застрахованного, профессиональное обучение и получение дополнительного профессионального образования.

9.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочей зоной была лаборатория с параметрами: линейные размеры 6х5 м, высота 2,5 м, температура в помещении 22°C. Освещение помещения осуществляется с помощью искусственных и естественных источников освещения, вентиляция осуществляется с помощью приточно-вытяжной системы. Так как работа осуществлялась в различных частях рабочей зоны, то постоянным рабочим местом является вся рабочая зона (ГОСТ 12.1.005 – 88). По характеру физической нагрузки согласно ГОСТ 12.1.005 – 88 работа лаборанта относится к разряду легких (категория I) с энергозатратами до 174 Вт, но она сопряжена с большой умственной и нервно-психологической нагрузкой.

Помещения должны иметь естественное и искусственное освещение.

Расположение рабочих мест за мониторами для взрослых пользователей в подвальных помещениях не допускается.

Площадь на одно рабочее место с компьютером для взрослых пользователей должна составлять не менее 4,5 м², а объем не менее 15 м³.

Помещения с компьютерами должны оборудоваться системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточновытяжной вентиляцией.

Для внутренней отделки интерьера помещений с компьютерами должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка 0,7-0,8; для стен 0,5-0,6; для пола 0,3-0,5.

Поверхность пола в помещениях эксплуатации компьютеров должна быть ровной, без выбоин, нескользкой, удобной для очистки и влажной уборки, обладать антистатическими свойствами.

В помещении должны находиться аптечка первой медицинской помощи, углекислотный огнетушитель для тушения пожара.

Искусственное освещение в помещениях эксплуатации компьютеров должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

Основным объектом в условиях исследования и проектирования является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении процесса проектирования.

Конструкция необходимого оборудования и проходы между рабочими местами регламентируется ГОСТом 12.2.032-78 ССБТ.[17]

9.2. Производственная безопасность

В условиях лаборатории на производительность труда лаборанта, находящегося на рабочем месте, влияют вредные производственные факторы, отраженные в таблице 14.

Таблица 14 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата в помещении	+	+		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [18]
2. Превышение уровней шума	+	+		СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 [19]
3. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [18]
4. Поражение электрическим током	+	+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2009[20]
5. Психофизиологические факторы	+	+		СанПиН 2.2.4.3359-16 [21]

6. Недостаточная освещенность	+	+		СП 52.13330.2016 [22]
-------------------------------	---	---	--	-----------------------

9.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Отклонение показателей микроклимата в помещении

Температура в теплый период года 22-25°C, в холодный период года 21-24°C, относительная влажность воздуха 40-60%, скорость движения воздуха 0,1-0,2 м/с. Интенсивность теплового излучения от нагретых поверхностей, осветительных приборов не должна превышать 35 Вт/м².

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Согласно нормам СП 60.13330.2012. объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40м³. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°C, а в теплое время года – за счет кондиционирования.

Превышение уровней шума

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается работающим оборудованием, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникает извне. Шум вызывает головную боль, быструю утомляемость, ослабляет внимание, способствует снижению реакции.

Основным источником шума в комнате являются вентиляторы охлаждения ЭВМ.

Таблица 15 - Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

	Уровни звукового давления в октавных полосах со средне-геометрическими частотами	Уровни звука в
--	--	----------------

Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	дБ
дБ	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Уровень шума колеблется от 35 до 40 дБА. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 при выполнении основной работы на ПК уровень звука на рабочем месте не должен превышать 50 дБА. Следовательно, можно считать, что рабочее место соответствует указанным нормам.

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПК. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, 2,5 В/м в диапазоне от 2 до 400 кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, 250 нТл, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 конструкция ВДТ и ПЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от корпуса не более 0,1 мбэр/ч (100 мкР/ч). Предел дозы облучения для работников (операторов, программистов) составляет 0,5 бэр/год.

Поражение электрическим током

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного соприкосновения с имеющими

соединение с землей металлическими предметами и металлическими корпусами оборудования.

Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПК;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении неизолированного от земли человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением;
- при возможном коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания, блоке развертки монитора.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. При необходимости перерезать провода инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением

при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

Психофизиологические вредные и опасные факторы

Психофизиологическими вредными и опасными факторами являются: напряжение зрения и внимания; интеллектуальные, эмоциональные и длительные статические нагрузки; монотонность труда; нерациональная организация рабочего места. Типичными ощущениями, которые испытывают к концу рабочего дня операторы ПК, являются: переутомление глаз, головная боль, тянущие боли в мышцах шеи, рук и спины, снижение концентрации внимания. Зрительное утомление вызывается особенностями изображения на дисплее ПК. Кроме того, большую нагрузку орган зрения испытывает при вводе информации, так как пользователь вынужден часто переводить взгляд с экрана на текст и клавиатуру, находящиеся на разном расстоянии. Длительная и интенсивная работа на компьютере может стать источником тяжелых профессиональных заболеваний, таких, как травма повторяющихся нагрузок (ТПН), представляющая собой постепенно накапливающиеся недомогания, переходящие в заболевания нервов, мышц и сухожилий руки.

Освещенность

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света. Нормальная освещённость достигается в дневное время за счёт естественного света, проникающего через оконные проёмы, в утренние и вечерние часы за счёт искусственного освещения лампами.

В качестве источников искусственного света используется светодиодные лампы, которые по сравнению с люминесцентными лампами накаливания имеет ряд существенных преимуществ: по спектральному составу близки к дневному, естественному свету; обладают более высоким

КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД люминесцентных ламп); обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у люминесцентных ламп); имеют более длительный срок службы.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 освещенность рабочего стола должна быть не менее 300÷500 лк, что может достигаться установкой местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов на экране. За счет правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м². Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель.

9.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего).

Повышенный уровень шума понижает качество условия труда, создавая при этом вредное воздействие на органы человеческого тела. При работе в условиях достаточно длительного шумового воздействия инженер или руководитель могут испытывать головную боль, раздражение и др. Все это способствует ухудшению работоспособности и качества выполняемой ими работы.

Длительное пользование ПК может оказывать негативное воздействие на центральную нервную систему, а воздействие электромагнитных полей на организм электротехнического персонала, находящегося вблизи источника электромагнитных полей может привести к возникновению различных болезней.

В качестве средств нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест инженера и руководителя можно отнести: источники света, осветительные приборы, световые проемы, светозащитные устройства и светофильтры.

Для понижения воздействия электромагнитного излучения необходимо использовать мониторы с низким уровнем излучения, применять защитные экраны.

Средствами коллективной защиты от повышенной и пониженной температур и ее перепадов являются устройства: оградительные, автоматического контроля и сигнализации и термоизолирующие (например, вентиляторы или вентиляторы-веера, обогреватели).

К средствам защиты от повышенного уровня ионизирующих и инфракрасных излучений относятся оградительные, предупредительные и герметизирующие устройства, а также защитные покрытия.

Для понижения уровня шума, помещение необходимо облицевать звукопоглощающими материалами.

К средствам индивидуальной и групповой защит от повышенного уровня электромагнитных излучений и полей относят: оградительные устройства, защитные покрытия и герметизирующие устройства.

Согласно [23], в стационарных электроустановках трехфазного тока в сети с заземленной нейтралью или заземленным выводом однофазного источника питания электроэнергией, а также с заземленной средней точкой в трехпроводных сетях постоянного тока должно быть выполнено зануление для защиты работающего персонала, так как основное назначение заземления – это снижение напряжения прикосновения до безопасной величины. При занулении фазные и нулевые защитные проводники должны быть выбраны таким образом, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой проводник возникал ток короткого замыкания, обеспечивающий отключение автомата или плавление плавкой вставки ближайшего защитного предохранителя.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены выводы однофазного ИП электроэнергией, с учетом естественных заземлителей и повторных заземлителей нулевого провода должно быть не более 2,4 и 8 Ом соответственно, при междуфазных напряжениях 380, 220 и 127В однофазного ИП.

В качестве защиты от поражения электрическим током, сотрудникам необходимо плановое прохождение инструктажа по технике безопасности. [24].

9.3. Экологическая безопасность

В компьютерах имеется огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке;

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

- Мониторы с электронно-лучевыми трубками необходимо сдать для переработки в ближайший специализированный центр переработки или передать его изготовителю для дальнейшего рециклинга.
- Использовать услуги профессиональной компании по рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку.
- Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники.

9.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможными ЧС при работе в помещении за компьютером могут быть: внезапное разрушение зданий и сооружений, пожар, взрыв в здании, поражение электрическим током. Наиболее вероятное ЧС - пожар в здании.

В рабочем помещении имеется электропроводка напряжением 220 вольт, предназначенная для питания электроприборов и освещения. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, потери ценной информации и другого имеющегося оборудования.

Согласно техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности, каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности. Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. [25]

Данное помещение относится к категории Д (негорючие вещества и материалы в холодном состоянии).

Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия в соответствии с [26]:

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильные размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

1. Противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
2. Обучение персонала правилам техники безопасности;

3. Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

1. Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
2. Обеспечение свободного подхода к оборудованию;
3. Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

К техническим мероприятиям относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В коридоре имеется порошковый огнетушитель типа ОП-5, рубильник, на двери приведен план эвакуации в случае пожара, и, на достигаемом расстоянии, находится пожарный щит.

Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах, расположенных в коридоре. В пунктах первичных средств огнетушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.

Комплекс организационных и технических мероприятий пожарной профилактики, таких как устройство эвакуационных путей, систем обнаружения пожара в случае возникновения пожара может обеспечить безопасность людей, ограничить распространение огня, предотвратить пожар, а также создать условия для успешного тушения пожара. [27]

В результате выполнения данного раздела были установлены возможные опасные и вредные факторы, влияющие на человека и окружающую среду. Установлены нормы шума, электромагнитных излучений, уровень опасности электропоражения. Определены условия освещенности и микроклимат, в условиях которого происходит работа. В итоге даны рекомендации по уменьшению вредного воздействия и снижения рисков при работе.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен анализ систем электропитания малых космических аппаратов (МКА), приведена их классификация по массе аппарата и по назначению миссии, также были проанализированы структуры СЭС КА, типы преобразователей, выбрана схема понижающего DC-DC преобразователя напряжения, изучен принцип её действия.

В расчетной части рассчитаны параметры выбранной схемы понижающего преобразователя и подобраны соответствующие элементы схемы, такие как входной конденсатор, дроссель, диод Шоттке, MOSFET-транзистор и выходной конденсатор.

Затем была создана имитационная модель понижающего преобразователя с использованием программного продукта MatlabSimulink, позволившая получить выходное напряжение 12 В для питания оборудования космических аппаратов, соответствующее требованиям технического задания.

В части финансового менеджмента были рассчитаны затраты на разработку данного проекта которые могли бы составить около 158 тысяч рублей.

В части социальной ответственности и безопасности жизнедеятельности были установлены возможные опасные и вредные факторы, влияющие на человека и окружающую среду. Определены нормы шума, электромагнитных излучений, уровень опасности электропоражения. Установлены условия освещенности и микроклимат, в условиях которого происходит работа. В итоге даны рекомендации по уменьшению вредного воздействия и снижения рисков при работе.

Таким образом, в выпускной квалификационной работе представлен пример разработанной в соответствии с заданием энергопреобразующей аппаратуры для микроспутника.

Список используемых источников

1. Л.А. Макриденко, К.А. Боярчук Микроспутники. Тенденция развития. Особенности рынка и социальное значение.;
2. В. Ю. Ключников, С. А. Клеменьтьев Наноспутники – наиболее перспективный класс малых космических аппаратов / Инноватика и экспертиза. 2016. Выпуск 2 (17).;
3. Д. А. Храмов Миниатюрные спутники стандарта «CUBESAT» / ISSN 15618889. Космічна наука і технологія. 2009. Т. 15. № 3. С. 20–31.
4. Микроспутники / С. И. Климов. - Москва : Ин-т Космических исслед. Российской акад. наук (ИКИ РАН), 2015. – 71с.;
5. Овчинников М. Ю. Малые мира сего / М. Ю. Овчинников // Компьютерр, 2015. – № 15. – С 35-37.;
6. Овчинников М. Ю. «Эх, мчится тройка удалая» / М. Ю. Овчинников // Москва, Компьютерр, 2015. – № 17. – С 15-16.;
7. Карандаев А. Проектирование систем энергопитания для микроспутников / Андрей Карандаев.. – (Молодежный космический центр МГТУ им. Н.Э. Баумана). – 49 С.;
8. Шиняков Ю. А. Энергетический анализ структурных схем систем электроснабжения автоматических космических аппаратов // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. - № 8. С. 152 – 155.;
9. Шиняков Ю. А., Гордеев К. Г., Поданева Ю. В. Сравнительный анализ структурных схем СЭП автоматических КА // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. трудов/ НПЦ “Полюс” Томск, 1997. – С. 14-22;
10. Шиняков Ю. А., Гуртов А. С., Гордеев К. Г., Ивков С. В. Выбор структуры систем электроснабжения низкоорбитальных КА // Томск, 2010.;
11. Алфёров Ж. И., Андреев В. М., Румянцев В. Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики. URL:

- <http://www.ioffe.rssi.ru/journals/ftp/2004/08/p937-948.pdf>//Физика и техника полупроводников. 2004. Т. 38. Вып. 8. С. 937–948.;
12. Герман-Галкин С. Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.;
13. Matlab и Simulink – сообщество пользователей [электронный ресурс] / Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru>, свободный. — Загл. С экрана. — Яз. Рус.;
14. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.;
15. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ/Сост. Е.Н. Пашков, И.Л. Мезенцева – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 24 с.;
16. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018);
17. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.;
18. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».;
19. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.;
20. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.;
21. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»;

- 22.СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
Актуализированная редакция СНиП 23-05-95;
- 23.ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное
заземление, зануление.;
- 24.ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования
и номенклатура видов защиты.
- 25.ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.;
- 26.ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные
положения.;
- 27.ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и
номенклатура поражающих факторов и их параметров.