

Инженерная школа энергетики  
 Отделение Электроэнергетики и электротехники  
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование динамических режимов солнечных батарей малых космических аппаратов

УДК 621.311.243:629.78-022.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Д	Пичугин Алексей Петрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Букреев В.Г.	Д.Т.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения/НОЦ/ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютеева П.В.	к.т.н		

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>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Отделение Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**Бакалаврской работы**

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Д	Пичугину Алексею Петровичу

Тема работы:

<b>Проектирование синхронного двигателя с постоянными магнитами</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.12.2018 №11327/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Литература по теме ВКР. Объект исследования— солнечная батарея в системе электроснабжения малых космических аппаратах.
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературы: фотоэлектрический преобразователь, импульсный преобразователь постоянного напряжения, экстремальный регулятор;</li> <li>2. Анализ режимов работы БС;</li> <li>3. Разработка имитационной модели и системы управления для нее для СЭС малых КА.</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сформированная схемы генератора БС.</li> </ol>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	14.02.19
---	----------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Букреев В.Г.	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Д	Пичугин Алексей Петрович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Д	Пичугину Алексею Петровичу

Школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и Электротехники
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электрооборудование летательных аппаратов

#### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): заработные платы сотрудников, страховые отчисления, накладные расходы.</i>	Заработная плата сотрудников ТП определяется на основании Положения об оплате труда в ТПУ. Страховые отчисления определяются согласно Федеральному закону от 28.11.2018 №446 – ФЗ. Накладные расходы определяются на основании Сметы расходов по проектам ТПУ.
<i>2. Продолжительность выполнения ТП</i>	Приблизительная продолжительность выполнения ТП составит 120 календарных дней
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	30% отчисления на социальные нужды

#### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка потенциала реализации ТП с позиции ресурсоэффективности</i>	Составление SWOT - анализа проекта. Определение научно-технического уровня проекта.
<i>2. Планирование и формирование сметы затрат ТП</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование сметы затрат на ТП: - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.

#### Перечень графического материала:

1. Матрица SWOT
2. График Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.02.2019
--	------------

#### Задание выдал консультант:

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

#### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Д	Пичугин Алексей Петрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
5Г5Д		Пичугину Алексею Петровичу	
<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОЭЭ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электрооборудование летательных аппаратов

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объекты исследования: батарея солнечная, повышающий преобразователь напряжения; Методика исследования: моделирование в программной среде MatLAB; Область применения: энергоэффективность автономных систем электроснабжения; Рабочая зона: электротехническая лаборатория.
--	---

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul>	<p>Выявленные вредные факторы производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-недостаток освещенности рабочей зоны при наличии искусственного и естественного освещения (ГОСТ по СП 52.13330.2011.) Требуемая норма 1000 лк при системе комбинированного освещения.</li> <li>-наличие электромагнитного излучения, обусловленного работой ЭВМ и преобразователей эл. энергии (согласно СанПиН 2.2.4.1191–03 напряженность электростатического поля должна быть менее 15 кВ/м<sup>2</sup>). Защита быть выполнена следующими путями:</li> <li>-снижением мощности источника излучения;</li> <li>-снижением параметров излучения;</li> <li>-ослаблением ЭМП на рабочем месте.</li> </ul>
<p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>Выявленные опасные факторы производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека. Источником питания является сеть промышленной частоты 50 Гц, напряжением 220 В. Также, работа с преобразователем подразумевает манипуляции с проводниками в обесточенном режиме, которые при подключении питания, находятся под напряжением до 220 В.В лаборатории применяются средства защиты:</li> <li>- устройства автоматического контроля и сигнализации;</li> <li>- устройства защитного заземления и</li> </ul>

	<p>зачуления;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-устройства автоматического отключения;</li> <li>- предохранительные устройства;</li> <li>- знаки безопасности.</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Влияние на селитебную зону отсутствует, т.к. объект исследования не производит выбросов и сбросов в окружающую среду. Применяется комплекс мер по утилизации: переплавка металлических составляющих и утилизация непригодных составляющих согласно СНиП 2.01.08-85.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является пожар, по причине:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-нарушения работы электрооборудования, приведшего к возгоранию;</li> <li>-неосторожности обращения с огнем в помещении;</li> <li>-короткого замыкания, приводящего к возгоранию;</li> </ul> <p>Система пожарной защиты предусматривает следующие меры:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-предотвращение распространения пожара за пределы очага;</li> <li>-применение средств пожаротушения;</li> <li>-эвакуация людей в случае пожара;</li> <li>-применение средств пожарной сигнализации и средств извещения;</li> <li>-Средства индивидуальной защиты органов дыхания (респираторы, тканевые повязки).</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>-Необходимо провести анализ безопасности труда при выполнении работ за рабочим местом сидя и стоя, согласно ГОСТ 12.2.032-78 и ГОСТ 12.2.033-78 соответственно.</p> <p>-Рассмотреть рациональную организацию труда сотрудников в течении смены.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Д	Пичугин Алексей Петрович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 68 страниц, 36 рисунков, 21 источник, 16 таблиц.

Ключевые слова: солнечная батарея, моделирование, обратная связь, преобразователь, имитация, максимум мощности, отслеживание точки, имитационная модель, переходный процесс.

Объектом исследования является солнечная батарея (БС).

Цель работы – рассмотреть динамический режим работы солнечной батареи и разработать имитационную модель солнечной батареи в системе электроснабжения малых космических аппаратов (КА).

Результат исследования: имитационная модель СЭС малых КА, способная в автономном режиме отработать изменение входных параметров БС, тем самым обеспечив выходное напряжение системы 100В, а также производить отбор максимальной мощности.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016 на белой бумаге формата А4 с использованием программ MathCAD, пакет MATLAB: Simulink, Mathtype.

## Содержание

Введение .....	10
1. Общие сведения .....	12
1.1. Конструкция фотоэлектрических преобразователей.....	12
1.2. Эквивалентные схемы замещения и принцип работы ФП .....	13
1.3. Рассмотрение схем импульсных преобразователей постоянного напряжения .....	15
1.4. Обзор типовых алгоритмов по поиску точки максимальной мощности.....	17
2. Моделирование солнечной батареи.....	19
2.1. Расчет эквивалентной схемы БС .....	19
2.2. Имитационное моделирование БС .....	24
2.2.1. Моделирование статического режима работы БС .....	24
2.2.2. Моделирование динамического режима работы БС .....	28
2.3. Имитационное моделирование стабилизатора напряжений.....	30
2.4. Имитационное моделирование экстремального регулятора .....	32
3. Имитационное моделирование работы системы электроснабжения малых КА.....	34
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	38
4.1. SWOT-анализ работы технического проекта .....	38
4.2. Планирование работ и оценка времени их выполнения .....	41
4.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования .....	41
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения ТП.....	43
4.2.3. Разработка графика проведения технического проекта .....	45
4.3. Составление сметы затрат на разработку ТП.....	47
4.3.1. Затраты на заработанную плату.....	47
4.3.2. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	49
4.3.3. Затраты на накладные расходы.....	49
4.4. Формирование сметы затрат технического проекта.....	49
4.5. Оценка научно-технического уровня проекта .....	50
5. Социальная ответственность .....	53
5.1. Вредные и опасные производственные факторы.....	53
5.1.1. Вредные факторы .....	54
5.1.2. Опасные факторы .....	59
5.2. Экологическая безопасность .....	60
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	61
5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	63
Заключение.....	66
Список литературы.....	67

## Введение

Солнце обеспечивает Землю огромным количеством энергии, которое многократно превышает человеческие потребности. Использование этого источника энергии затруднено, потому что на Земле, в следствии поглощения энергии атмосферой и потерях на преломлении, солнечное излучение сильно рассеяно. Тогда как в условиях космического пространства солнечное излучение практически не теряет энергии, которую можно преобразовать для питания систем космического аппарата (КА) с помощью солнечной батареи.

Солнечная батарея (БС) — это объединённые последовательно-параллельным способом фотоэлектрические преобразователи (ФП) — полупроводниковые устройства, используя явление фотоэффекта в фотоэлементах (ФЭ) на основе структуры с *p-n* переходом, напрямую преобразует солнечную энергию в электрическую.

В наше время солнечные батареи являются основным источником электроэнергии для космических аппаратов, поскольку нестандартные условия эксплуатации (невесомость, глубокий вакуум) не позволяют широко использовать в условиях космоса традиционные методы получения электроэнергии.

Эффективность использования БС в космосе связана с тем, что БС не требуют запасов сырья для преобразования солнечного излучения в электрическую энергию, из-за чего улучшается очень важный для космических аппаратов параметр — масса.

Улучшение эксплуатационных характеристик систем электроснабжения космических аппаратов выдвигает на первый план необходимость создания эффективных методов проектирования подобных систем, в частности, предсказания и анализа работы солнечных батарей под действием разнообразных факторов окружающего пространства в статическом и динамическом режимах нагрузки.

К таким факторам можно отнести:

1. Изменение уровня освещенности БС;
2. Контрастные изменения температуры из-за глубокого охлаждения конструкции на затенённых участках орбиты, нагрева на освещённых

Необходимо иметь возможность предсказать мощность солнечных батарей под действием разнообразных факторов окружающей среды и оценить поведение ФП в различных режимах работы. Для эффективного использования фотоэлектрических генераторов необходимо стабилизировать выходное напряжение БС, а также знать точку максимальной мощности и обеспечить такой режим, чтобы отдаваемая мощность при изменении окружающих условий была наибольшей [9].

Предсказание поведения и воспроизведение характеристик ФЭ и БС осуществляется с помощью моделирования. По сравнению с экспериментом, математическое моделирование предоставляет более быстрый, гибкий и дешевый способ отработки СЭС. Для воспроизведения характеристик ФЭ и БС чаще всего используются аналитические модели, которые строятся на базе эквивалентной электрической схемы.

# 1. Общие сведения

## 1.1. Конструкция фотоэлектрических преобразователей

В данной работе будет рассматриваться ФП изготовленный из арсенида галлия. ФЭ представляют собой пластину, размеры которой по технологическим особенностям производства ограничены. При последовательном, параллельном, или последовательно-параллельном соединении этих элементов между собой, набираются элементарные генераторы БС, а из них соответственно БС (рис. 1).

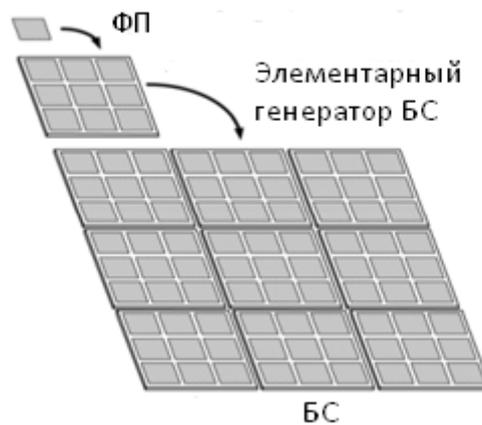


Рисунок 1 – Классификация элементов БС

Каждый элемент изготавливается в виде р-п-перехода. При попадании солнечного света в граничную зону n- и р- типа возникает электродвижущая сила (рис. 2), которая создает электрический ток в замкнутом внешнем контуре, подключенном к контактам ФП. Носители заряда, возникающие в элементе, создают так называемый фототок, который пропорционален уровню солнечной радиации.

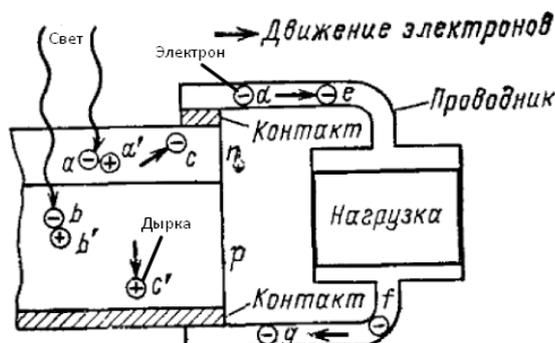


Рисунок 2— Генерирование электрического тока СЭ

## 1.2. Эквивалентные схемы замещения и принцип работы ФП

Свойства ФП изучаются уже с 70-х годов. Для моделирования их характеристик используется несколько наиболее распространенных эквивалентных схем замещения (рис. 2).

Все ФП обладают нелинейными вольт-амперными и вольт-ваттными характеристиками (рис.2д), которые зависят от интенсивности солнечного излучения, температуры окружающей среды и особенностей самой ячейки.

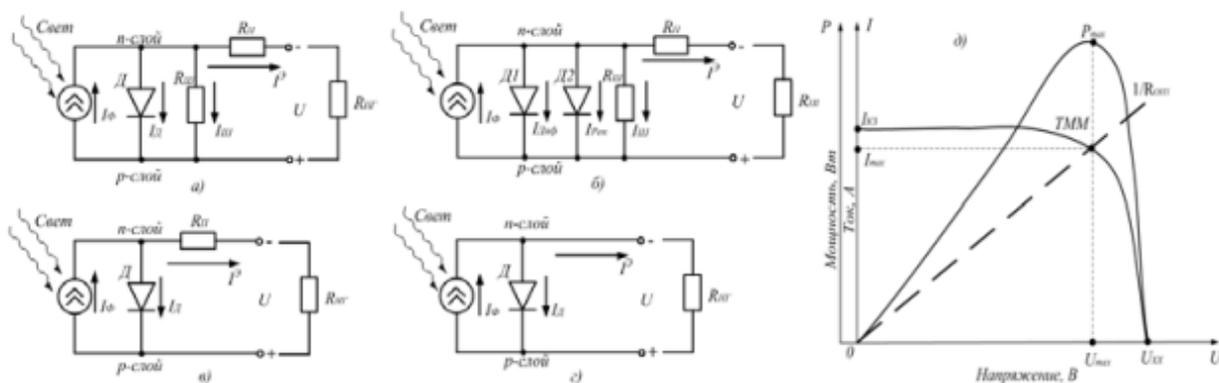


Рисунок 3— Эквивалентные схемы замещения и характеристики ФЭ [1,2]

а) обобщенная; б) модель с двойным экспоненциалом; в) упрощенная; г) идеализированная; д) типовые вольт-амперная и мощностная характеристики фотоэлектрического преобразователя.

Каждая схема замещения имеет свои преимущества и недостатки. Из рис. 2 видно, что все схемы замещения имеют общую часть, представленную в виде источника фототока ( $I_{\Phi}$ ) и параллельно включенного диода ( $D$ ), который моделирует р-п-переход. Некоторые схемы (рис.2а, 2б) содержат шунтовое сопротивление ( $R_{ш}$ ), моделирующее токи утечки, и последовательное сопротивление ( $R_{п}$ ), которое характеризует внутреннее сопротивление элемента и контактов (рис. 2а, 2б, 2в). Изменение  $R_{п}$  значительно сильнее влияет на получаемый результат [1], поэтому оно учитывается во всех схемах замещения, кроме идеализированной (рис.2г).

Схема замещения, показанная на рис. 2г, позволяет получить указанные выше характеристики, но с недостаточно точностью для инженерных расчетов и со значительными отклонениями от реальных характеристик ФП, так как не учитывает ток утечки и внутреннее сопротивление. Схема, показанная на рис. 2а, значительно

улучшает точность получаемых результатов, однако увеличивает время расчета на ПК.

Наиболее точное математическое описание ФП дает модель, представленная на рис.2б. Она конкретнее описывает поведение преобразователя, т.к. вместо одного, параллельно включенного источнику фототока диода, имеет два параллельно включенных диода, которые отображают протекание через р-п-переход диффузионного и рекомбинационного токов. Существенный недостаток данной модели сложность определения параметров выражения для ВАХ ФП. [3]

Проанализировав вышеперечисленные эквивалентные схемы ФП, принимаем схему, изображенную на рисунке 2а, но для определения влияния переменной составляющей тока на выходные характеристики фотопреобразователя в схему необходимо включить индуктивную составляющую фотоэлемента и емкость перехода.

### 1.3. Рассмотрение схем импульсных преобразователей постоянного напряжения

Для расширения диапазона работы солнечного инвертора в качестве промежуточного звена между солнечной батареей (СБ) и нагрузкой используется импульсный преобразователь постоянного напряжения, который может использоваться и как стабилизатор напряжения, и как экстремальный регулятор мощности [2].

Таким преобразователем энергии БС может выступать понижающий, повышающий преобразователи или преобразователь, выполненный по схеме Чука.

В этих схемах задействовано минимальное количество силовых элементов за счет чего повышается КПД, при этом массогабаритные показатели фильтра минимизируются высокими частотами преобразования [4, 5].

Распространённым вариантом преобразователей является понижающий преобразователь (рис. 4). В котором большая выходная индуктивность обеспечивает стабильный ток, протекающий на нагрузку. Однако прерывистое импульсное потребление входного тока требует установки громоздкого С-фильтра [6].

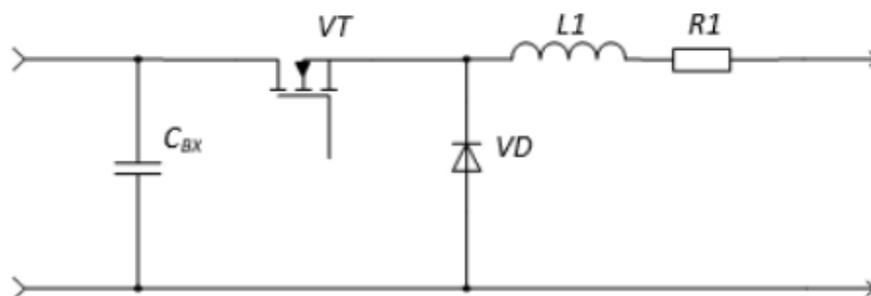


Рисунок 4— Понижающий импульсный преобразователь

Типовой повышающий преобразователь напряжения (ППН) представлен на рисунке 5 и имеет на выходе дроссель, обеспечивающий непрерывность входного тока и стабильность рабочей точки ВАХ по току. Однако его характеристика показывает увеличение напряжения на всем диапазоне регулирования. Это приводит к необходимости использования байпаса для предотвращения превышения напряжения на выходе.

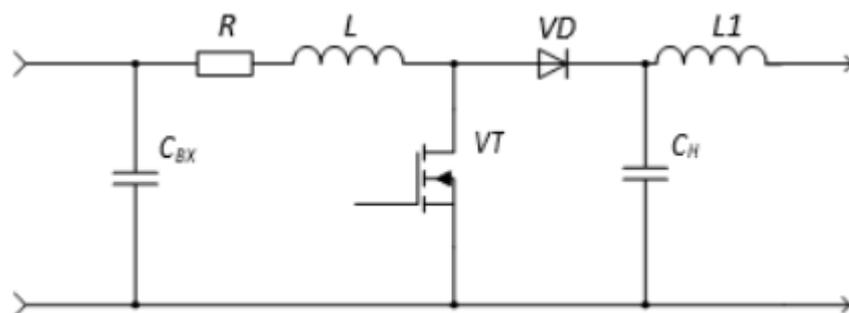


Рисунок 5— Повышающий импульсный преобразователь

Если регулирование точки максимальной мощности и повышения, и понижения напряжений на СБ и выходе можно использовать преобразователь Чука, имеющего входной каскад на основе повышающего, а выходной на основе понижающего преобразователя (рис. 6).

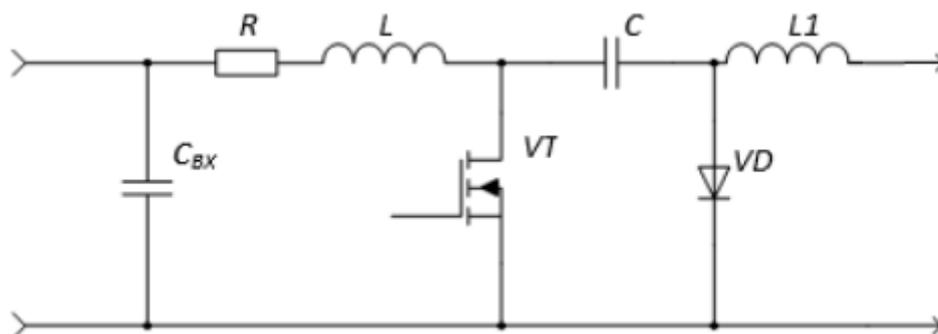


Рисунок 6— Преобразователь Чука

В данной работе будет использоваться повышающий импульсный преобразователь, т.к. по сравнению с понижающим импульсным преобразователем он более эффективен за счет меньших потерь на ключе. [6, 7]

#### 1.4. Обзор типовых алгоритмов по поиску точки максимальной мощности

Реализация режима отбора максимума мощности в максимальной точке вольтамперной характеристики солнечной батареи приводит к повышению энергетической эффективности фотоэлектрических энергетических установок (рис. 7) [13].

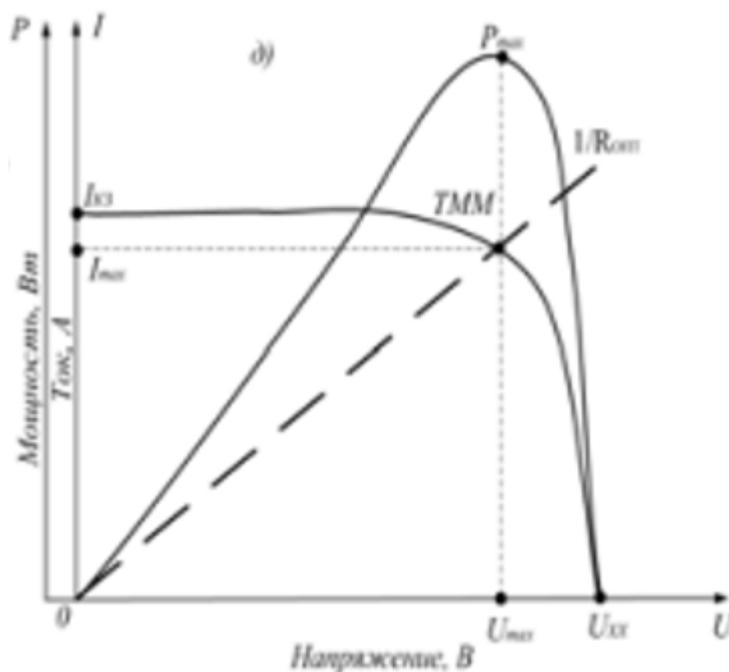


Рисунок 7— Типовые вольт-амперная и мощностная характеристики ФЭ

Обычно используется несколько алгоритмов для оптимизации выходной мощности БС. Рассмотрим два основных метода: метод возмущения и наблюдения и метод возрастающей проводимости [6, 8].

Метода возмущения и наблюдения, путём варьирования скважности силового ключа или изменения задания на входное напряжение, ток или мощность, на небольшую величину изменяет входное сопротивление устройства, вследствие чего изменяется напряжение на СБ и измеряет её выходные параметры. Если мощность увеличивается – экстремальный регулятор продолжает изменять напряжение в этом же направлении, пока мощность не перестанет увеличиваться. Данный метод является наиболее распространённым, несмотря на то что он приводит к колебаниям мощности. Этот метод зависит от кривой  $P = f(U)$ , которая возрастает до точки максимальной мощности и убывает после этой точки. Распространённость

этого метода обусловлена простотой его реализации. Существует возможность повышения точности при использовании адаптивного алгоритма изменения шага.

В методе возрастающей проводимости преобразователь измеряет увеличение тока и напряжение СБ, чтобы предсказать эффект от изменения напряжения.

Метод возрастающей проводимости использует возрастающую проводимость  $dI/dU$  СБ для вычисления знака изменения мощности по отношению к напряжению  $dP/dU$ . Этот метод вычисляет точку максимальной мощности, сравнивая возрастающую проводимость  $\Delta I/\Delta U$  с проводимостью СБ ( $I/U$ ). Когда выполняется условие  $\Delta I/\Delta U = I/U$ , выходное напряжение является напряжением максимальной мощности. Заданное напряжение поддерживается, пока не изменится уровень освещённости, после процесс повторяется.

Т.к. оба метода приводят к колебаниям мощности, то в данной работе будет использоваться метод возмущения и наблюдения из-за его простоты реализации.

## 2. Моделирование солнечной батареи

### 2.1. Расчет эквивалентной схемы БС

Идеализированная эквивалентная схема фотоэлектрического преобразователя имеет вид, показанный на рисунке 8 [1].

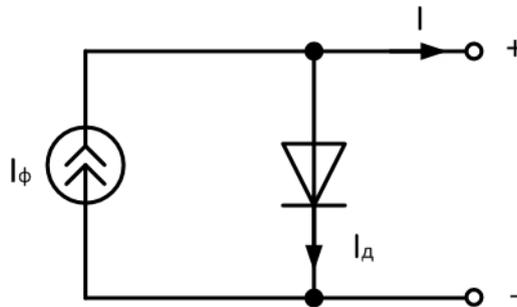


Рисунок 8– Идеализированная модель фотопреобразователя

Источник тока создает фототок  $I_\phi$ , зависящий от плотности потока излучения. Вольт-амперная характеристика элемента определяется величиной  $I_\phi$  и плотностью тока  $I_д$ , протекающего через идеализированный p-n-переход, и напряжением на выходе фотопреобразователя.

На основании данной модели нельзя построить вольт-амперную характеристику фотопреобразователя с точностью, достаточной для инженерных расчетов. Необходимо дополнительно ввести последовательное сопротивление фотопреобразователя  $R_n$  и шунтовое сопротивление фотопреобразователя  $R_{ш}$ . Эквивалентная схема с учетом этих параметров приведена на рисунке 9.

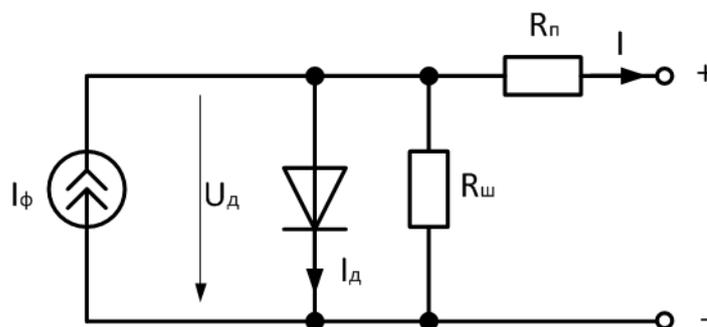


Рисунок 9– Эквивалентная схема фотопреобразователя

Вышеописанные модели не учитывают переменные составляющие тока. Для определения влияния фотопреобразователя на переходные процессы в эквивалент-

ную схему фотопреобразователя необходимо включить емкость перехода  $C_T$  и индуктивную составляющую фотоэлемента  $L_{ФЭ}$ . Таким образом, эквивалентная схема приобретет вид, показанный на рисунке 10.

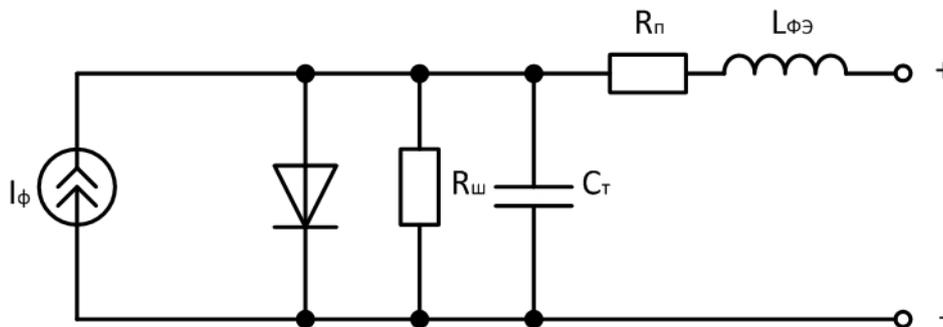


Рисунок 10– Эквивалентная схема фотопреобразователя

Номиналы последовательного сопротивления фотопреобразователя  $R_п$  и шунтового сопротивления фотопреобразователя  $R_ш$  определим из обеспечения 5% наклона горизонтального участка и 20% наклона вертикального участка ВАХ фотопреобразователя, характерных для реальных AsGa фотопреобразователей.

Сымитируем трехкаскадный фотопреобразователя с помощью эквивалентной схемы, показанной на рисунке 3, напряжение холостого хода которого составляет 2,669В.

ВАХ элементарного генератора БС показана на рисунке 11.

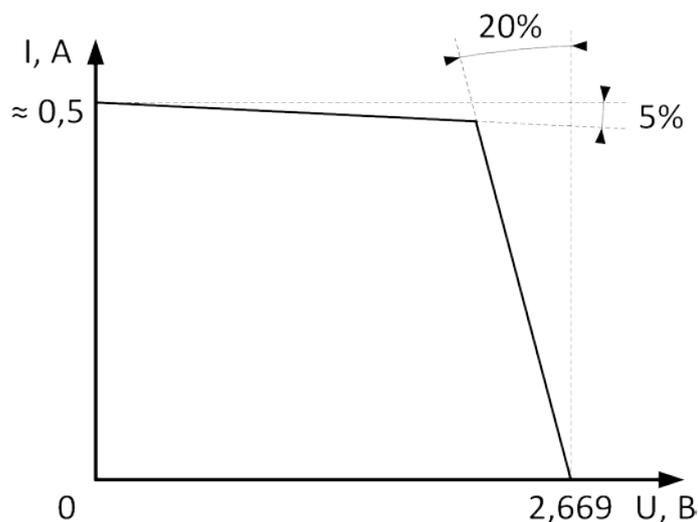


Рисунок 11 – ВАХ фотопреобразователя

Рассчитаем номиналы элементов:

$$U_{\text{xx}} = 2,669 \text{ В}$$

$$I_{\text{кз}} = 0,5 \text{ А}$$

$$R_{\text{ш}} = \frac{2,669 \text{ В}}{0,05 \cdot 0,5 \text{ А}} = 106,76 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{п}} = \frac{0,2 \cdot 2,669 \text{ В}}{0,95 \cdot 0,5 \text{ А}} = 1,124 \text{ Ом}$$

По требованию обеспечения работоспособности ШС, максимальная эквивалентная емкость генератора БС должна быть не более 500 нФ. Для 100-вольтовой системы электропитания примем количество фотопреобразователя в генераторе БС равным 55 шт.

Рассчитаем емкость фотопреобразователя, используя формулу 1:

$$\frac{1}{C_{\text{элемент.генер}}} = \sum_{i=1}^{55} \frac{1}{C_{\text{Т} i}} \quad (1)$$

$$C_{\text{Т}} = \frac{55 \cdot C_{\text{элемент.генер}}}{1} = \frac{55 \cdot 500}{10} \text{ нФ} = 2,75 \text{ мкФ}$$

По требованию обеспечения работоспособности ШС, максимальная эквивалентная индуктивность генератора БС вместе с кабельной сетью должна быть не более 25 мкГн.

Рассчитаем индуктивность для фотопреобразователя:

$$L_{\text{каб.сети}} = 7,33 \text{ мкГн}$$

$$L_{\text{секции}} + L_{\text{каб.сети}} = 25 \text{ мкГн}$$

$$L_{\text{секции}} = \sum_{i=1}^{55} L_{\text{ФЭ} i} = 17,67 \text{ мкГн}$$

$$L_{\text{ФЭ}} = \frac{L_{\text{секции}}}{55} = \frac{10 \cdot L_{\text{элемент.генер}}}{55} = \frac{176,7 \text{ мкГн}}{55} = 3,213 \text{ мкГн}$$

На генераторе БС каждый фотоэлемент шунтирован защитным байпасным диодом с напряжением смещения 0,6 В. Таким образом, эквивалентная схема приобретет вид, показанный на рисунке 12.

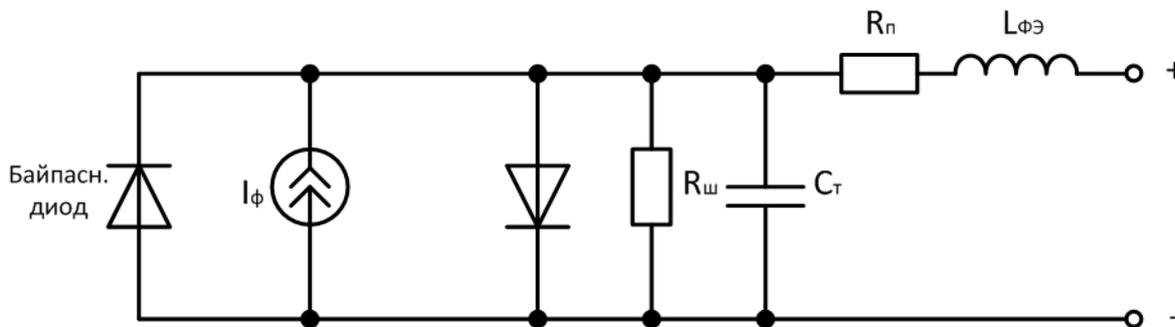


Рисунок 12 – Эквивалентная схема фотопреобразователя

Каждый фотопреобразователь генератора БС в условиях космического пространства представляет собой объект, помещенный в магнитосферную плазму. В этих условиях каждый фотопреобразователь можно представить в виде конденсатора, одной обкладкой которого являются токопроводящие реснички фотоэлемента, другой – магнитосферная плазма, а диэлектриком выступает защитное стекло фотоэлемента. Через магнитосферную плазму, в которую погружен КА, осуществляется гальваническая связь с корпусом КА. Таким образом, окончательная эквивалентная схема приобретет вид, показанный на рисунке 13:

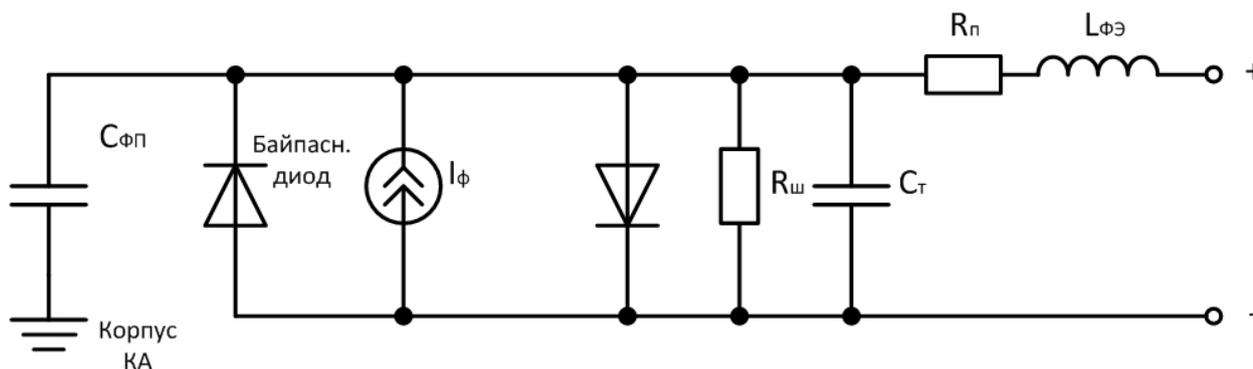


Рисунок 13– Эквивалентная схема фотопреобразователя

Определим номинал емкости этого конденсатора:

$$C_{\text{фп}} = n_{\text{ресн}} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot E_0 \cdot E_{\text{стекла}}}{\ln\left(\frac{4 \cdot h}{a_{\text{ресн}}}\right)} \cdot a_{\text{фп}} \quad (2)$$

где  $n_{\text{ресн}}$  – количество токосъемных ресничек на одном ФП;

$E_0$  – диэлектрическая постоянная,  $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$

$E_{\text{стекла}}$  – диэлектрическая проницаемость защитного стекла ФП;

$h$  – толщина защитного стекла ФП

$a_{\text{ресн}}$  – ширина токосъемной реснички ФП

$a_{\text{фп}}$  – ширина ФП

$$C_{\text{фп}} = 99 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}} \cdot 4,7}{\ln\left(\frac{4 \cdot 100 \text{ мкм}}{38,5 \text{ мкм}}\right)} \cdot 37 \text{ мм} = 0,409 \text{ нФ}$$

Результаты расчета эквивалентных параметров фотопреобразователя сведем в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 Результаты расчета параметров ФП

Наименование	Значение
Выходной ток фотопреобразователя, $I_{\text{ф}}$	0,5 А
Напряжение холостого хода фотопреобразователя, $U_{\text{хх}}$	2,669 В
Последовательное сопротивление фотопреобразователя, $R_{\text{п}}$	1,124 Ом
Шунтовое сопротивление фотопреобразователя, $R_{\text{ш}}$	106,76 Ом
Емкость перехода фотопреобразователя, $C_{\text{т}}$	2,75 мкФ
Индуктивная составляющая фотопреобразователя, $L_{\text{фэ}}$	3,213 мкГн
Напряжение смещения байпасного диода, $U_{\text{см}}$	0,6 В
Емкость ФП относительно плазмы	0,409 нФ

## 2.2. Имитационное моделирование БС

### 2.2.1. Моделирование статического режима работы БС

Для обеспечения необходимого напряжения последовательно соединим 55 фотоэлектрических преобразователей в элементарный генератор. Необходимый ток получим в результате параллельного соединения элементарных генераторов.

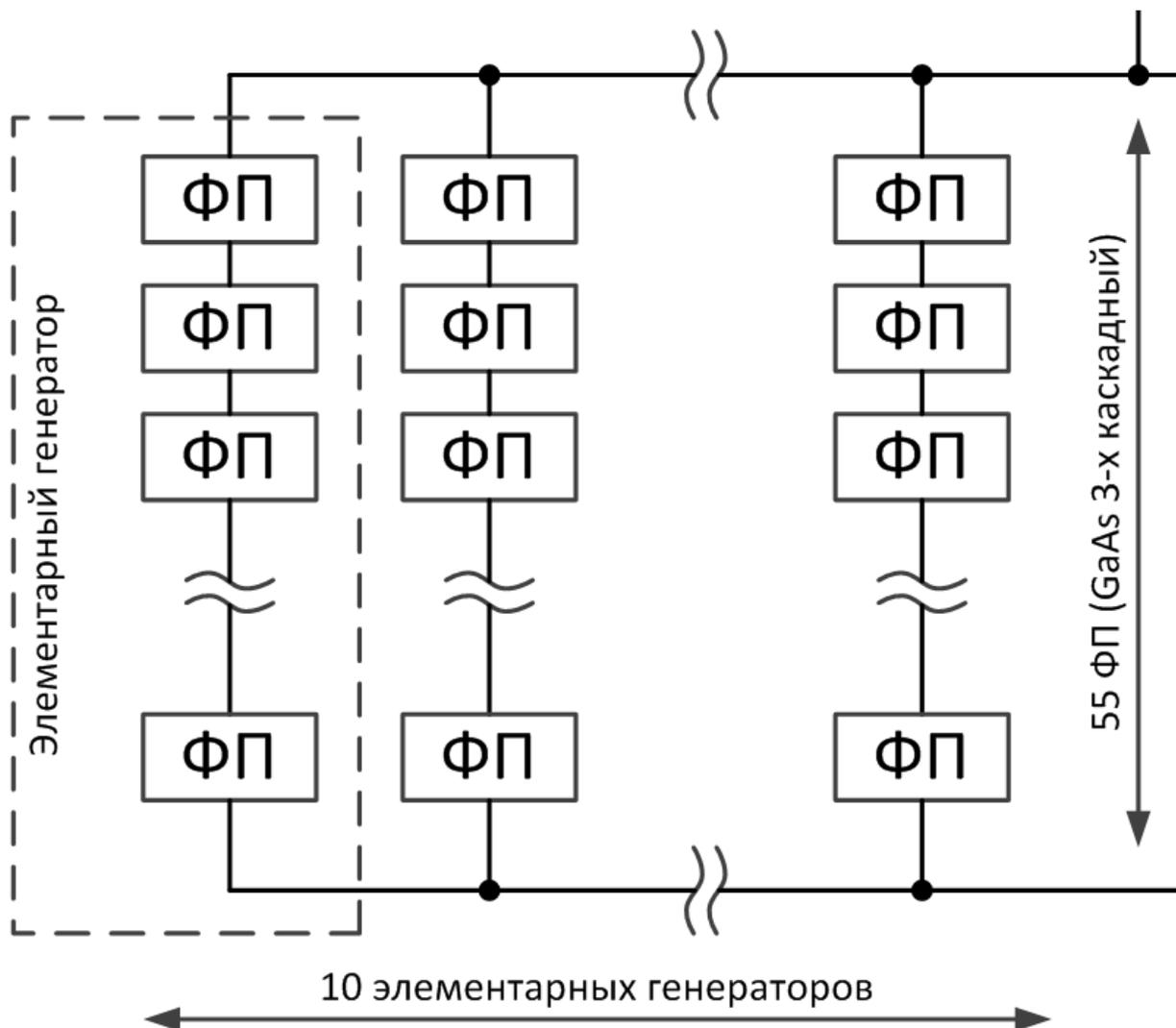


Рисунок 14— Сформированная схема генератора солнечной батареи

Имитационная модель для статического режима работы БС разработанная в программе MATLAB/Simulink представлена на рисунке 15. В ее состав входят: генератор БС, резистивная нагрузка, амперметр и вольтметр для регистрирования результатов и осциллографы для отслеживания установившегося режима переходных процессов.

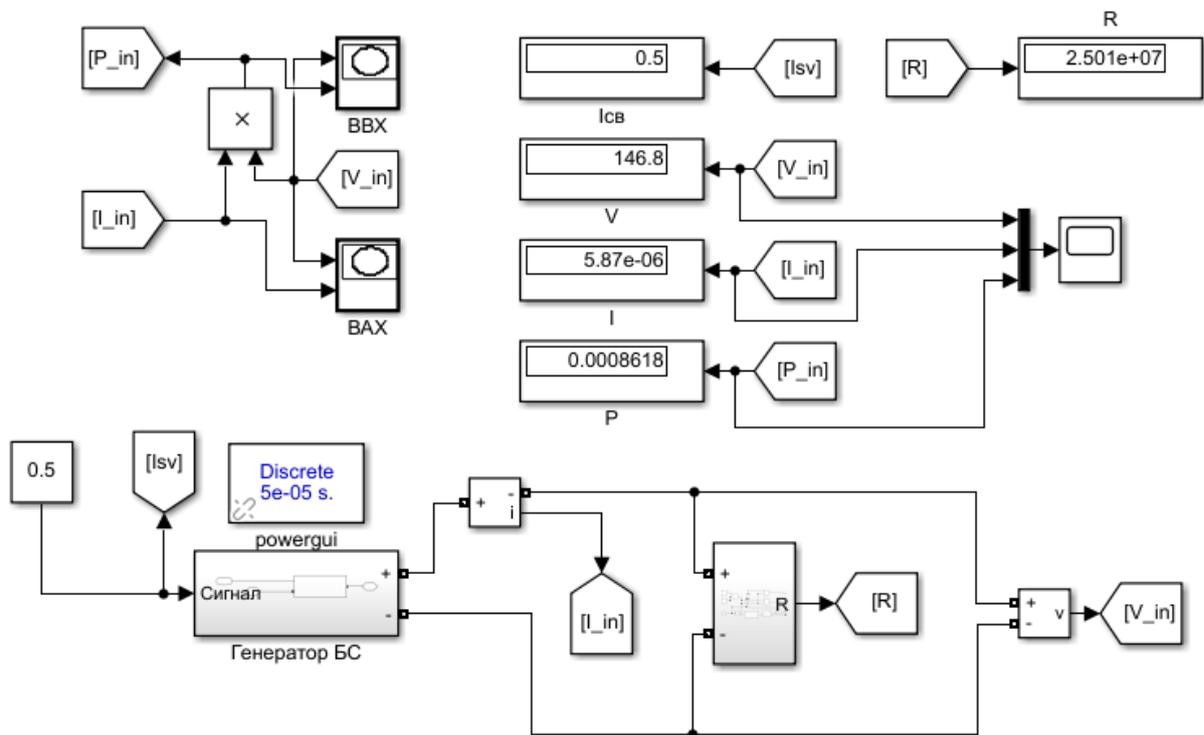


Рисунок 15— Имитационная модель БС для статического режима работы

На рисунке 16 изображена реализация обобщенной эквивалентной схемы фотоэлектрического преобразователя (рис.3а) в программном обеспечении MATLAB/Simulink.

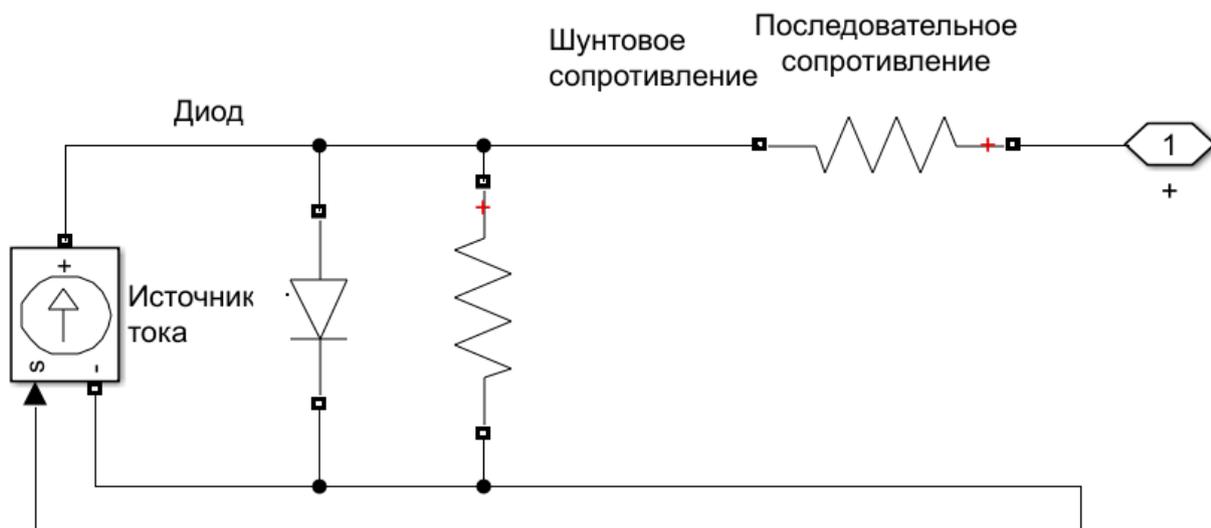


Рисунок 16— Имитационная модель фотоэлектрического преобразователя

Для обеспечения номинального напряжения электрической сети в рабочей точке вольт-амперной характеристики (100В) соединим последовательно 55 фотоэлектрических преобразователей и получим элементарный генератор.

Реализация последовательного соединения в программной среде MATLAB/Simulink показана на рисунке 17.

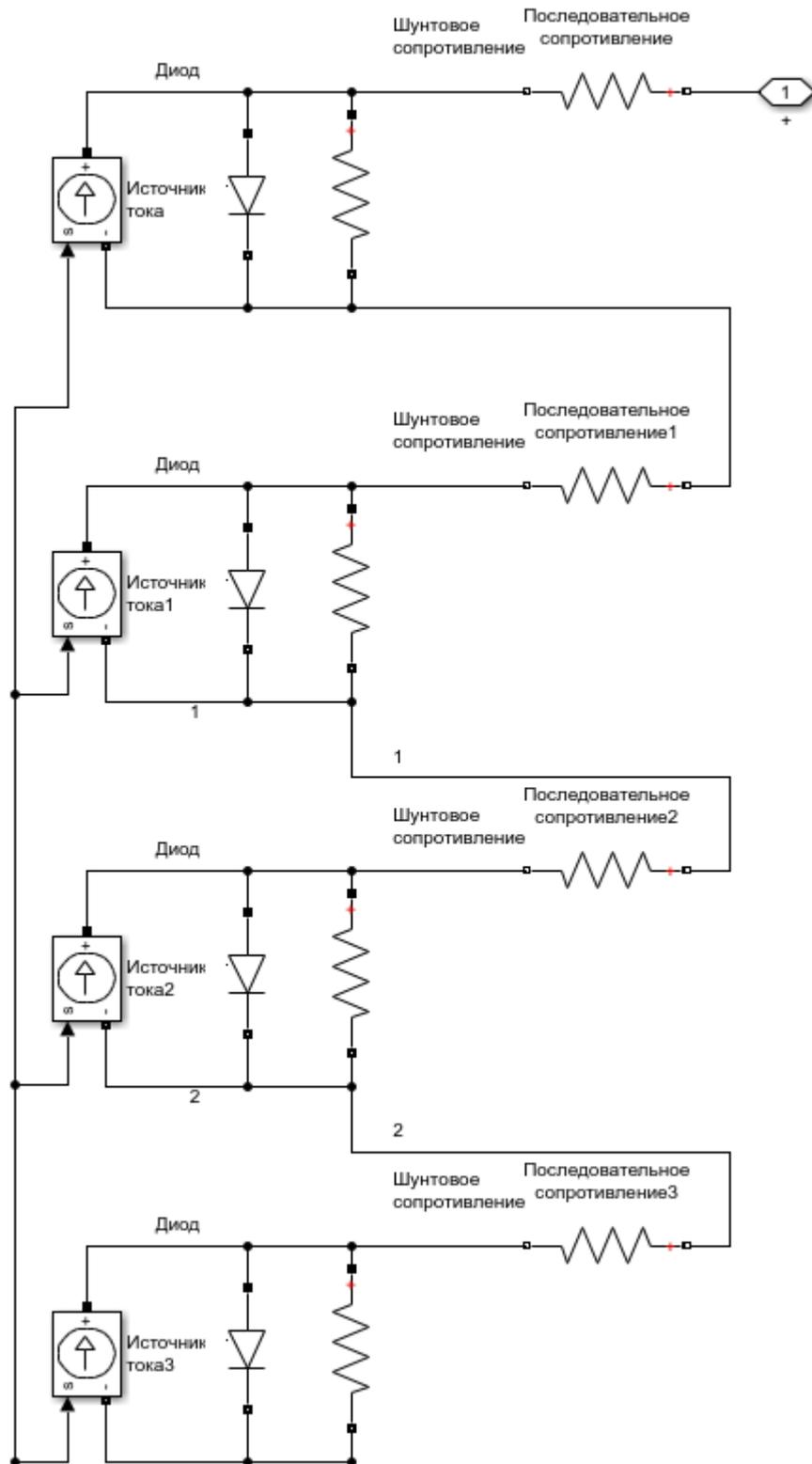


Рисунок 17— Последовательное соединение 11 фотоэлектрических преобразователей

Для простоты восприятия разобьем элементарный генератор на 5 блоков по 11 фотоэлектрических преобразователей как показано на рисунке 18.

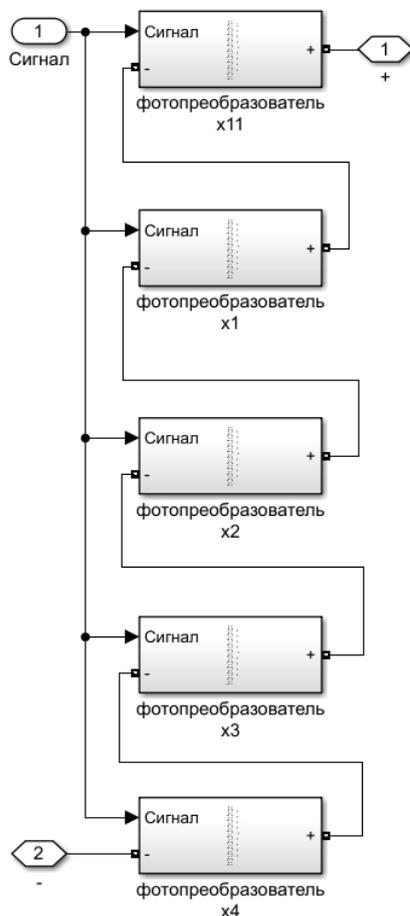


Рисунок 18— Последовательные соединённые блоки из 11 фотопреобразователей

Для того чтобы получить вольт-амперную и вольт-ваттную характеристики необходимо меняя нагрузку снимать показания тока, напряжения и мощности. Блок переменного сопротивления в программной среде MATLAB/Simulink не предусмотрен, поэтому разработаем его самостоятельно (рис.19).

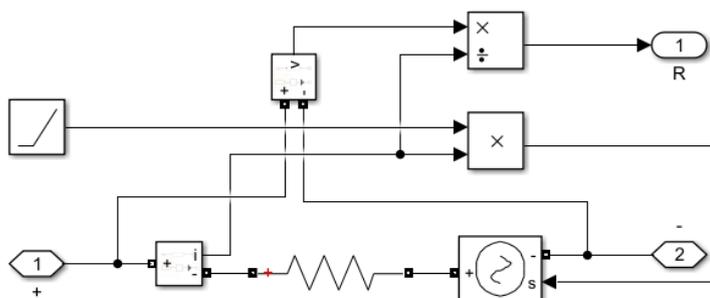


Рисунок 19— Реализация переменного сопротивления в программной среде MATLAB/Simulink

Получим вольт-амперную (рис.20) и вольт-ваттную (рис.21) характеристики солнечной батареи при работе в статическом режиме.

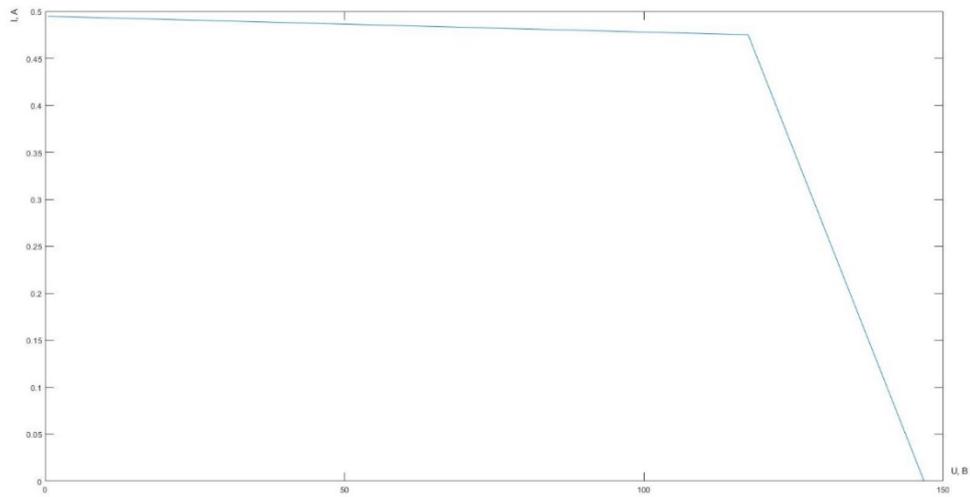


Рисунок 20— Вольт-амперная характеристика спроектированной БС

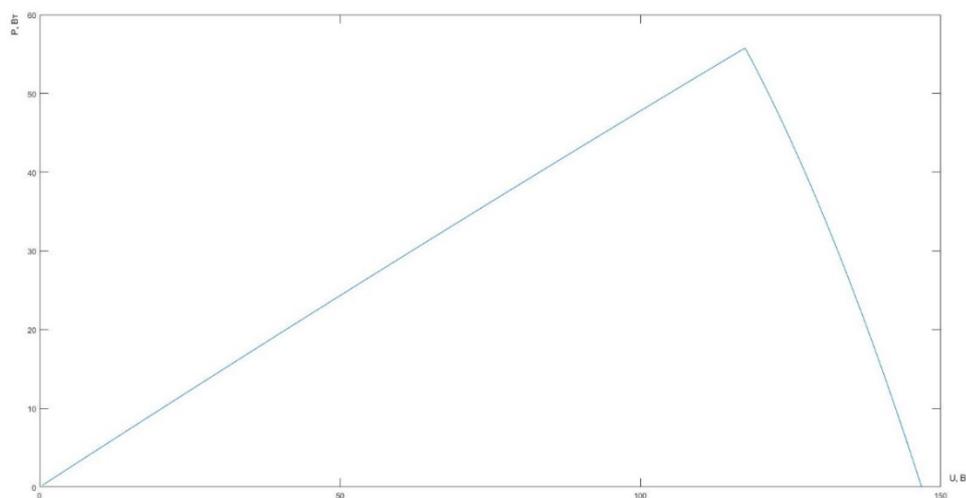


Рисунок 21— Вольт-ваттная характеристика спроектированной БС

### 2.2.2. Моделирование динамического режима работы БС

Имитационная модель для динамического режима работы БС практически не отличается от представленной на рисунке 15. Но для динамического режима работы генератор БС состоит из ФЭ представленных на рисунке 22.

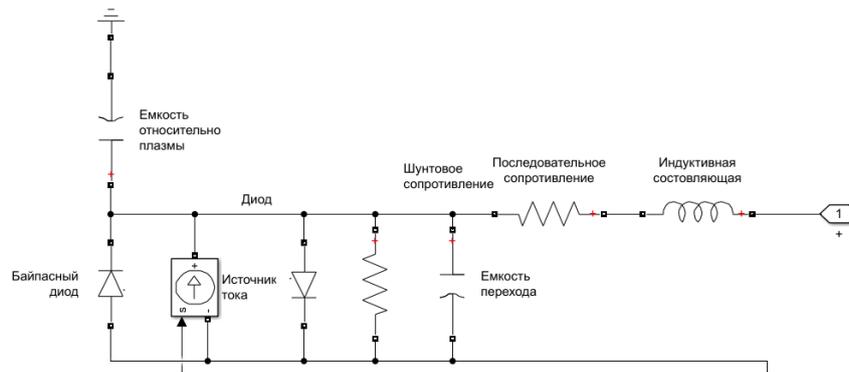


Рисунок 22— Имитационная модель фотоэлектрического преобразователя учитывающая переменные составляющие ФЭ

После выполнения аналогичных пункту 2.2.1. операций, получим следующие вольт-амперные и вольт-ваттные характеристики (рис.23 и рис.24).

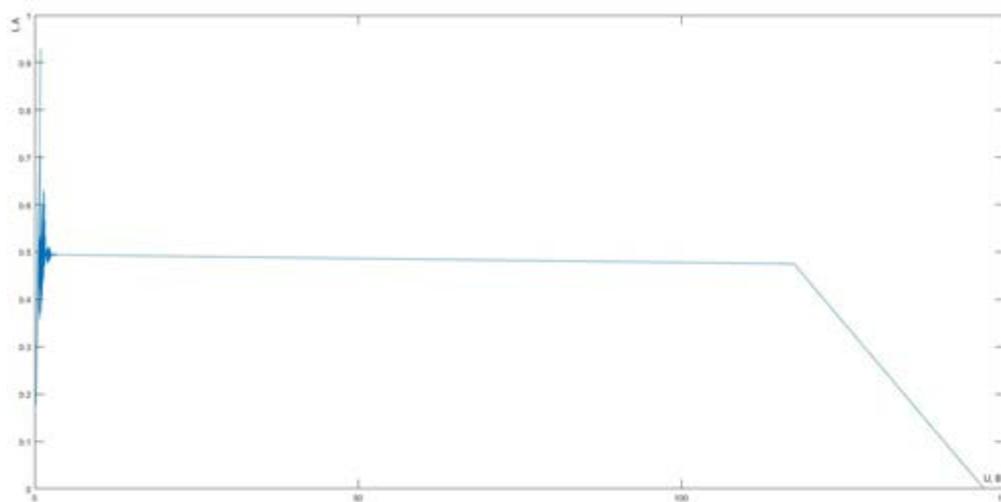


Рисунок 23— Вольт-амперная характеристика БС с учетом переменной составляющей тока

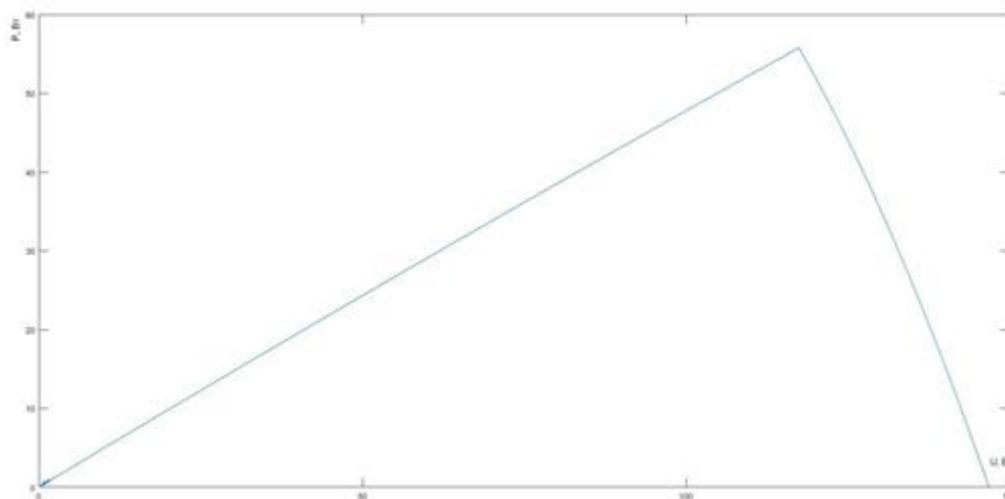


Рисунок 24— Вольт-ваттная характеристика БС с учетом переменной составляющей тока

Из рисунков 23 и 24 видно, что в начальный момент времени имеется скачек по току, который практически не влияет на выходную мощность БС.

Однако следует отметить, что данный скачек сильно усложняет создание системы управления для стабилизатора напряжений и экстремального регулятора. Поэтому при моделировании совместной работы системы электроснабжения будет использоваться генератор БС, который не учитывает переменные составляющие тока.

### 2.3. Имитационное моделирование стабилизатора напряжений

Т.к. выходной сигнал БС зависит от скачков нагрузки, а на выходе система должна выдавать стабильное напряжение в 100 В, то имитационную модель был внедрен импульсный преобразователь, система управления которого настроена на работу в режиме стабилизатора напряжения. Силовой частью схемы является ППН, а система управления реализует ШИМ моделирование. Система управления реализована следующим образом: задается опорный сигнал на частоте 40 кГц и из него вычитается и из него вычитается характеристика объекта управления, полученная с помощью ПИ регулятора и обратной связи. Частота 40 кГц позволяет значительно уменьшить масса-габаритные показатели системы.

Реализация схемы импульсного преобразователя и его системы управления приведена на рисунке 25.

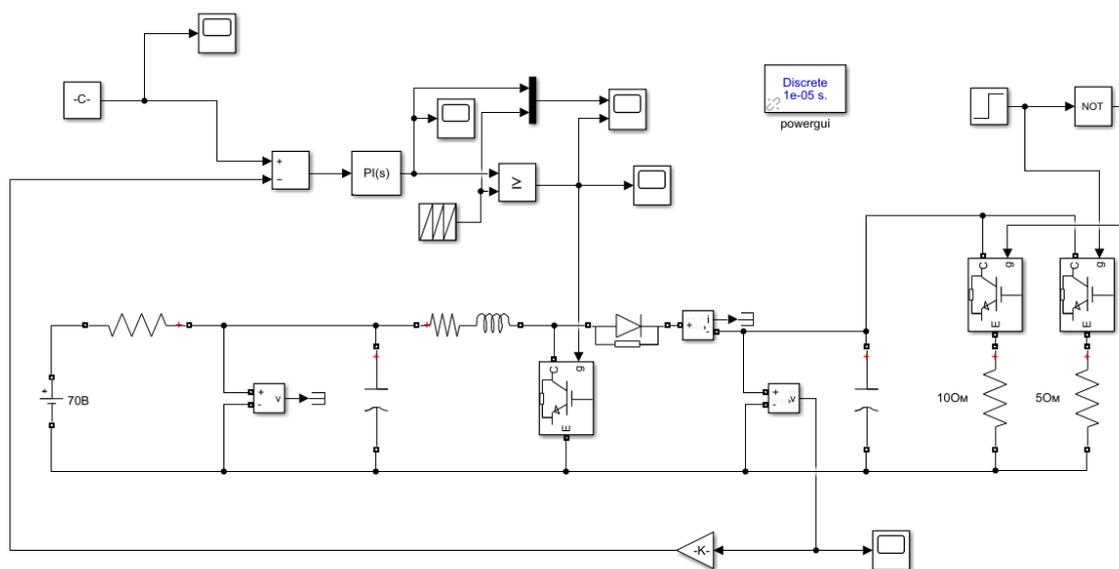


Рисунок 25— Модель стабилизатора напряжений

На рисунке 26 видно, что сигнал объекта управления имеет два отклонения. Эти отклонения обусловлены переходными процессами на реактивных элементах объекта управления при уменьшении нагрузки.

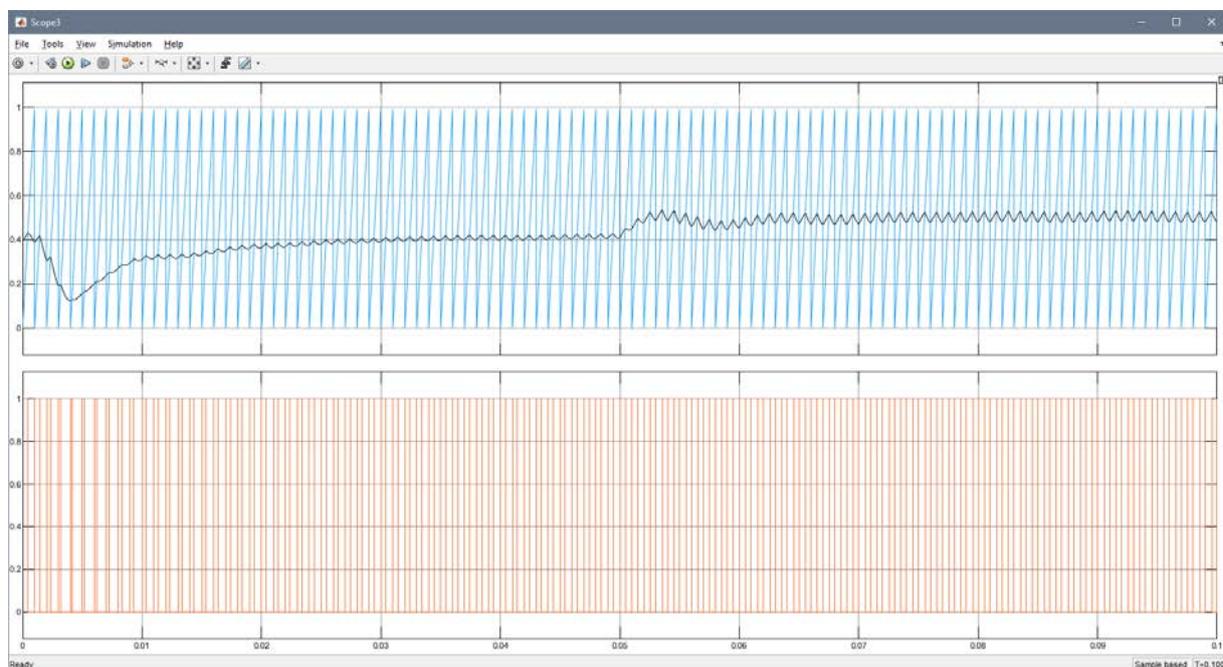


Рисунок 26— Реализация ШИМ управления для транзистора

Данная схема реализует стабилизацию входного напряжения в 70 В до 100 В при изменении нагрузки в два раза (Рис.27). Система является устойчивой и время переходного процесса мало.

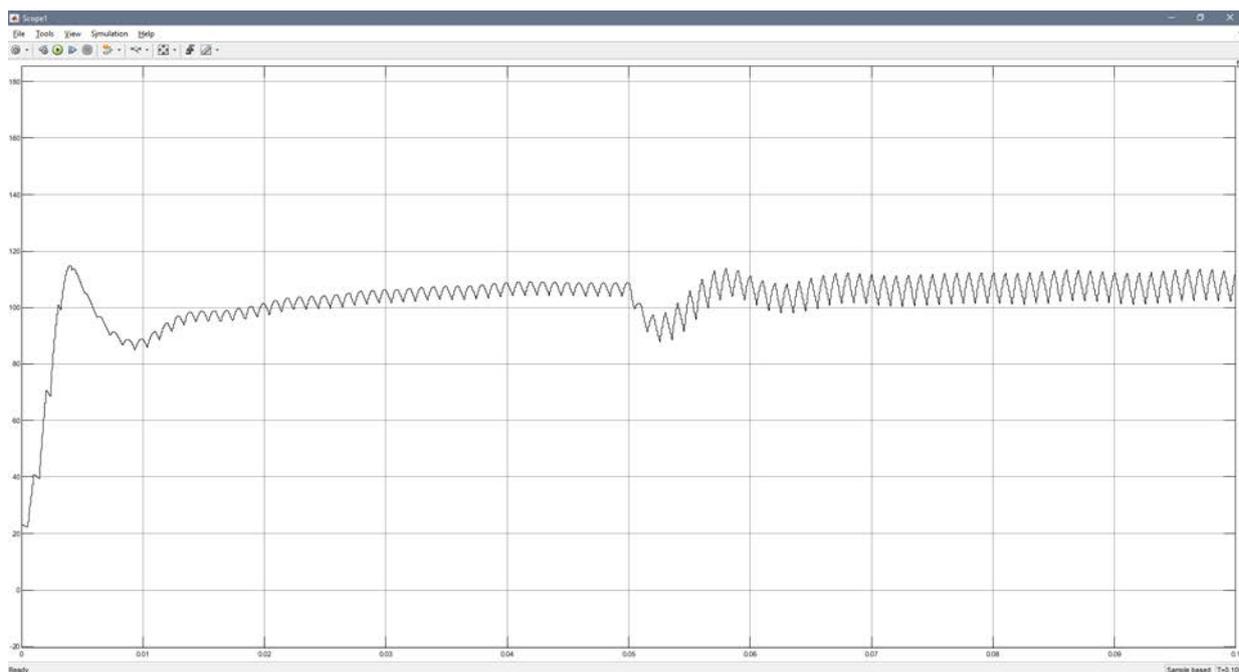


Рисунок 27— Переходный процесс выходного напряжения стабилизатора

Переходный процесс хоть и является устойчивым, но при уменьшении нагрузки в два раза увеличились пульсации выходного напряжения. Эту пульсацию можно снизить, подобрав оптимальные значения накопительного конденсатора.

## 2.4. Имитационное моделирование экстремального регулятора

После того как была решена задача со стабилизацией выходного напряжения, необходимо решить задачу с отбором максимальной мощности. Т.е. чтобы система при изменяющихся входных параметрах температуры и интенсивности солнечного излучения всегда отдавала максимальную мощность на приемники.

Данная задача решается с помощью импульсного преобразователя в режиме экстремального регулятора. Силовой частью схемы является всё тот же ППН, а смена режима работы достигается изменением системы управления транзистором (Рис.28).

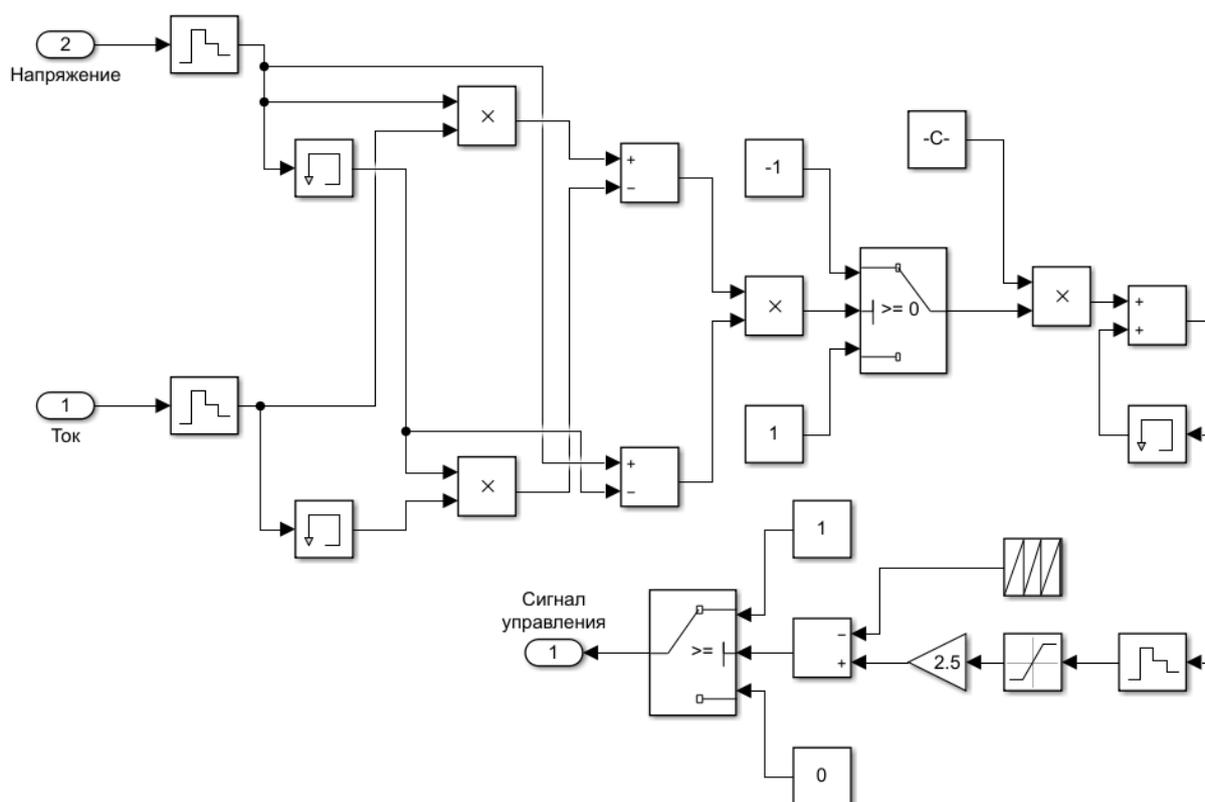


Рисунок 28— Реализация СУ котроллером точки максимальной мощности

Система управления реализована таким образом, что каждое новое значение мощности сравнивается с предыдущим и увеличивается, если предыдущее значение меньше нового, либо уменьшается, если больше на конкретный шаг регулирования.

На рисунке 29 представлена вольт-ваттная характеристика с учетом отбора максимальной мощности при различной интенсивности солнечного излучения.

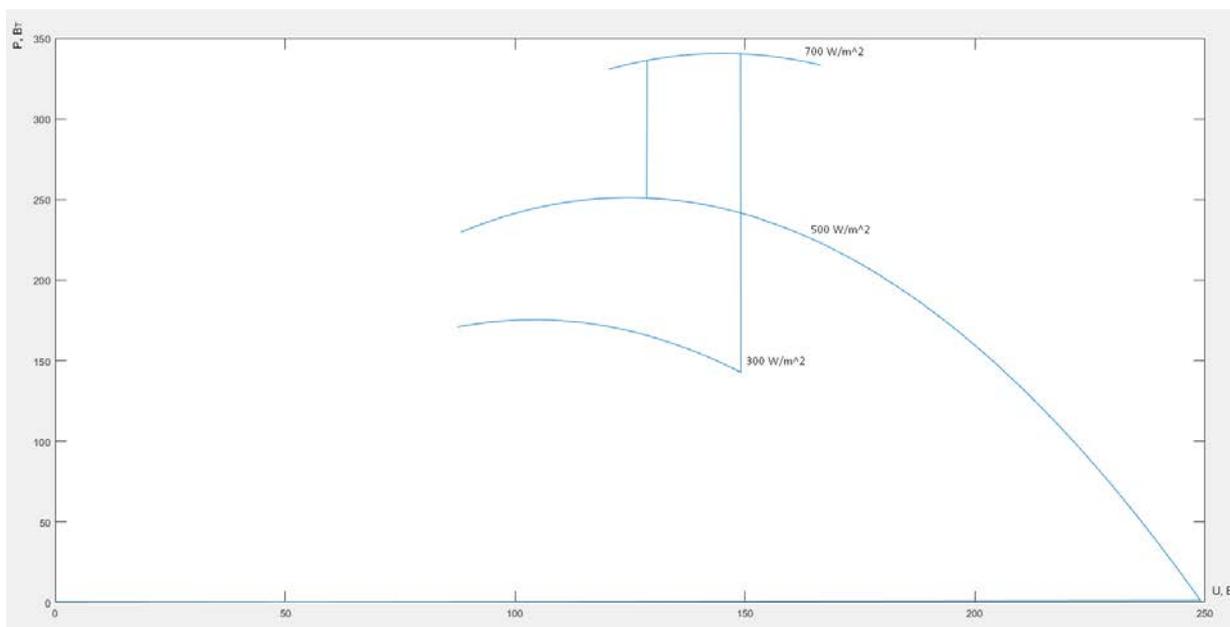


Рисунок 29— Вольт-ваттные характеристики при различных входных значениях интенсивности света

На рисунке 30 представлена вольт-ваттная характеристика с учетом отбора максимальной мощности при перепадах температуры.

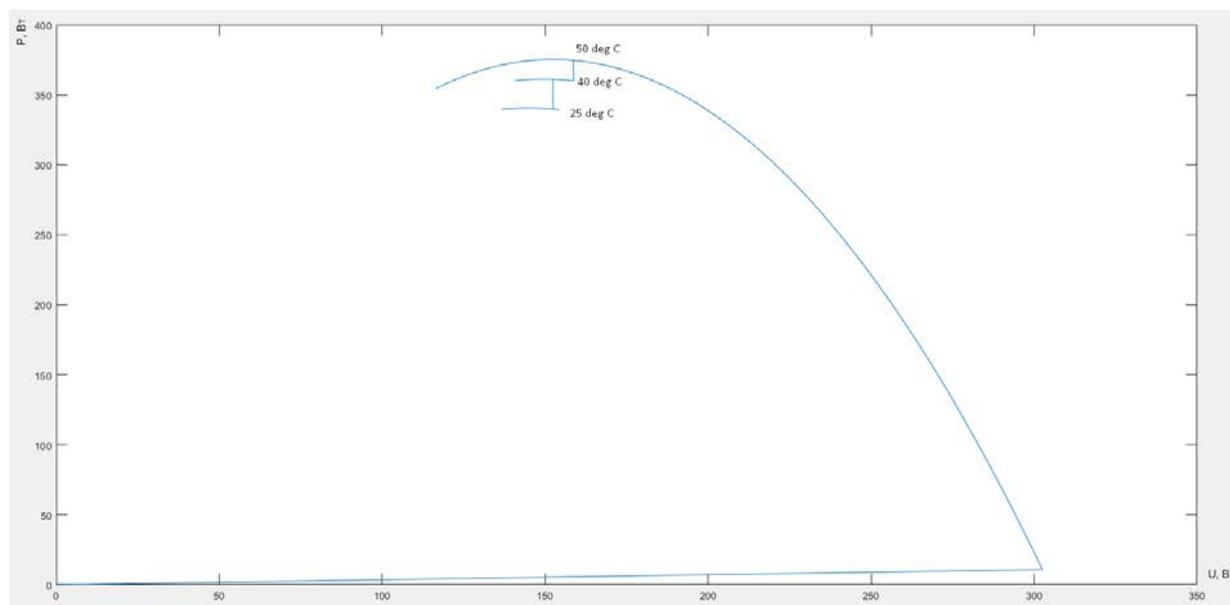


Рисунок 30— Вольт-ваттные характеристики при различных входных значениях температуры

На рисунках 29 и 30 видно, в схеме не реализована стабилизация выходного напряжения, поэтому отбор мощности происходит на довольно большом интервале.

### 3. Имитационное моделирование работы системы электроснабжения малых КА

Рассмотрим систему электроснабжения малого КА состоящую из генератора БС, стабилизатора напряжения, экстремального регулятора и нагрузки (рис.31).

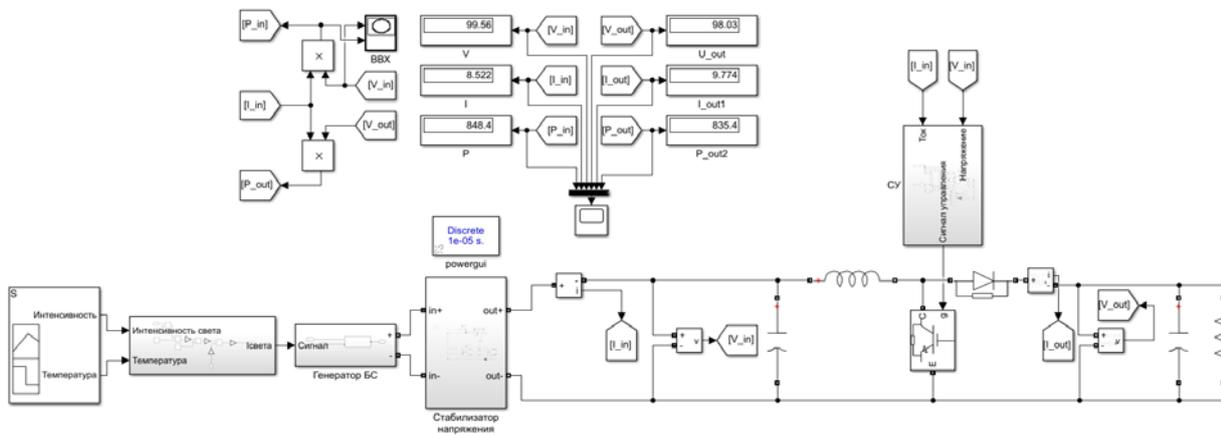


Рисунок 31— Имитационная модель системы электроснабжения малого КА

На данной схеме слева на право: генератор задающего сигнала, генератор БС, представленный в виде упрощенного блока солнечной батареи источником постоянного напряжения, подсистема стабилизатора напряжения, реализованная в виде импульсного преобразователя напряжения и его системы управления, экстремальный регулятор, реализованный в виде импульсного преобразователя с его системой управления, нагрузка и измерительная аппаратура.

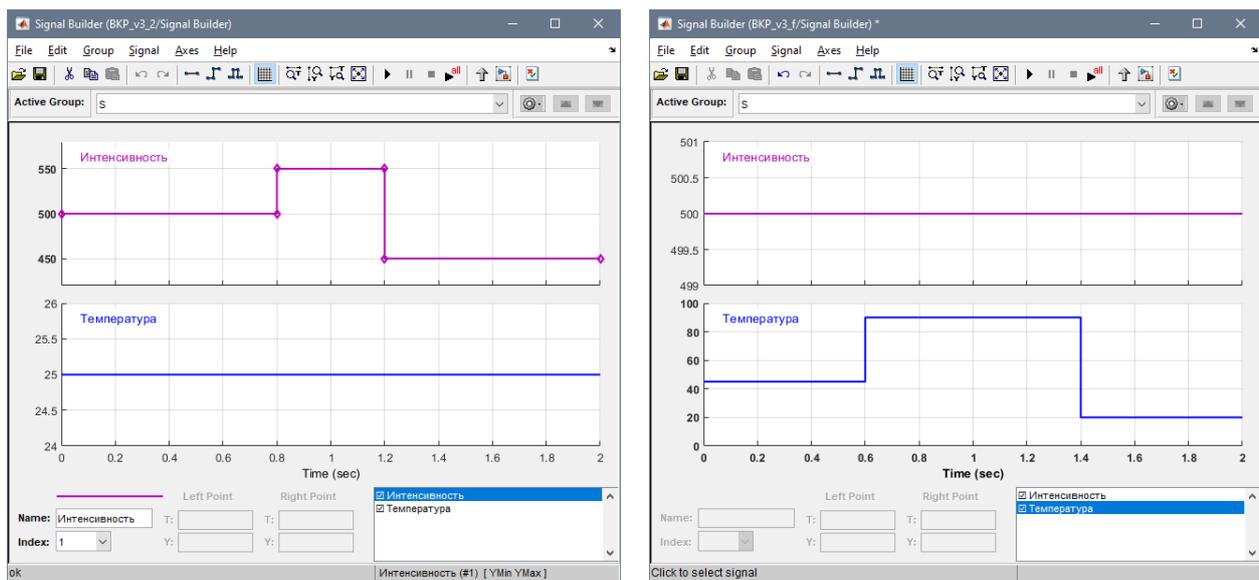


Рисунок 32— Характер изменения задающего сигнала

В схеме реализовано два вида задающего сигнала: когда интенсивность солнечного света сначала убывает, а потом падает при неизменной температуре и наоборот, когда сначала возрастает температура, а потом падает при неизменной интенсивности солнечного излучения.

В результате моделирования были получены графики: переходного процесса по напряжению на выходе стабилизатора напряжений в зависимости от задающего сигнала (рис.33 и рис.34) и мощностные характеристики с учетом отбора точки максимальной мощности в зависимости от задающего сигнала (рис.35 и рис. 36).

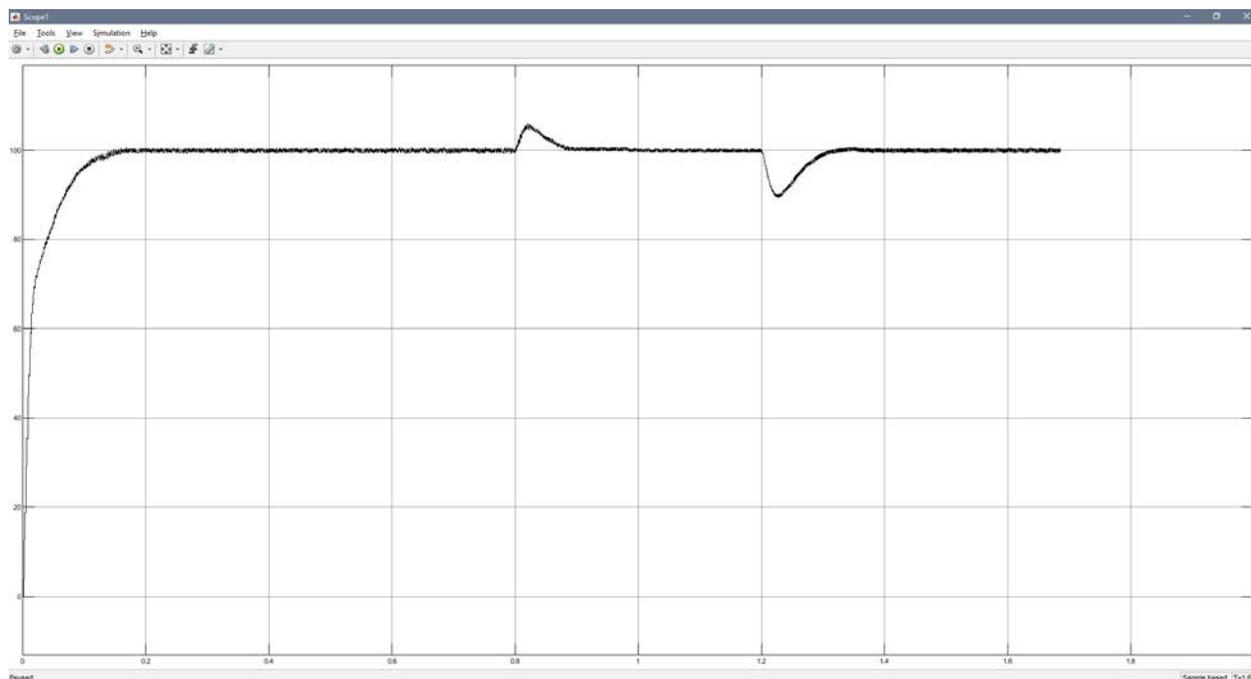


Рисунок 33— Напряжение на выходе стабилизатора при неизменной температуре

На рисунках 33 и 34 видно, что переходный процесс является устойчивым и установившийся режим работы наступает быстро. Стабилизатор корректно обрабатывает изменение входных параметров. При этом накопительные конденсаторы подобраны таким образом, чтобы минимизировать пульсации напряжения в установившемся режиме работы.

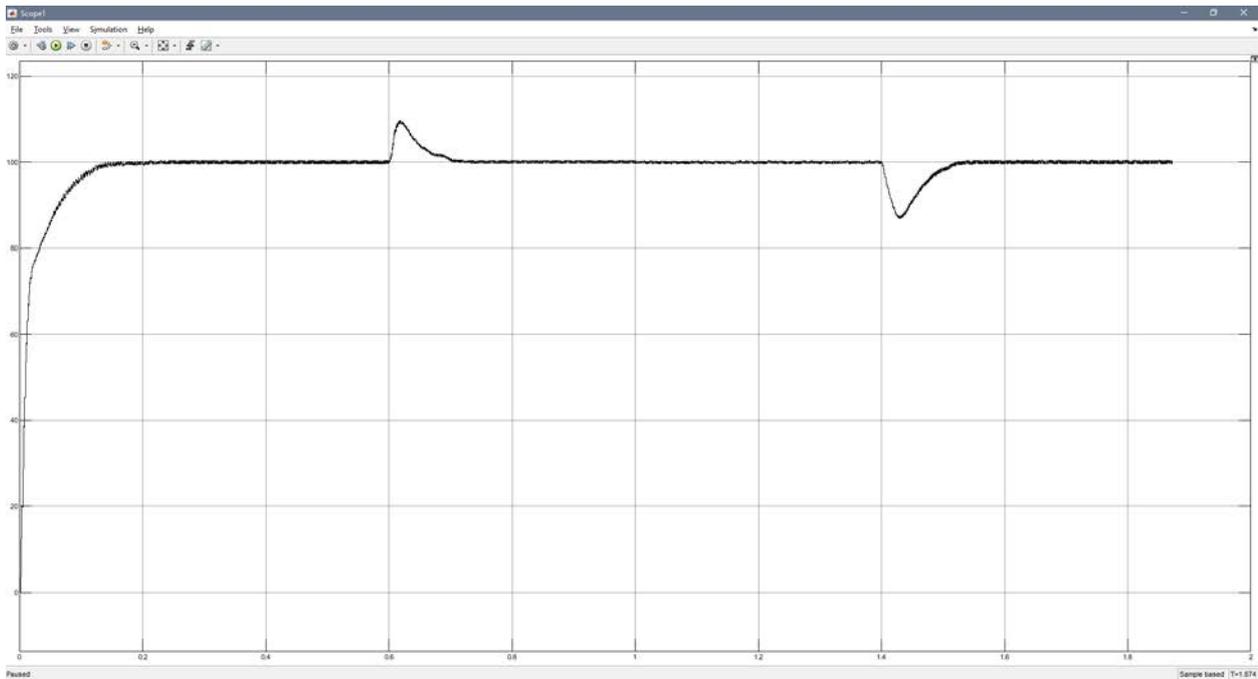


Рисунок 34— Напряжение на выходе стабилизатора при неизменной интенсивности солнечного излучения

Вольт амперные характеристики практически идентичны при использовании предложенных выше задающих сигналов. Происходит стабилизация напряжения и отбор мощности при изменении и температуры, и интенсивности солнечного излучения.

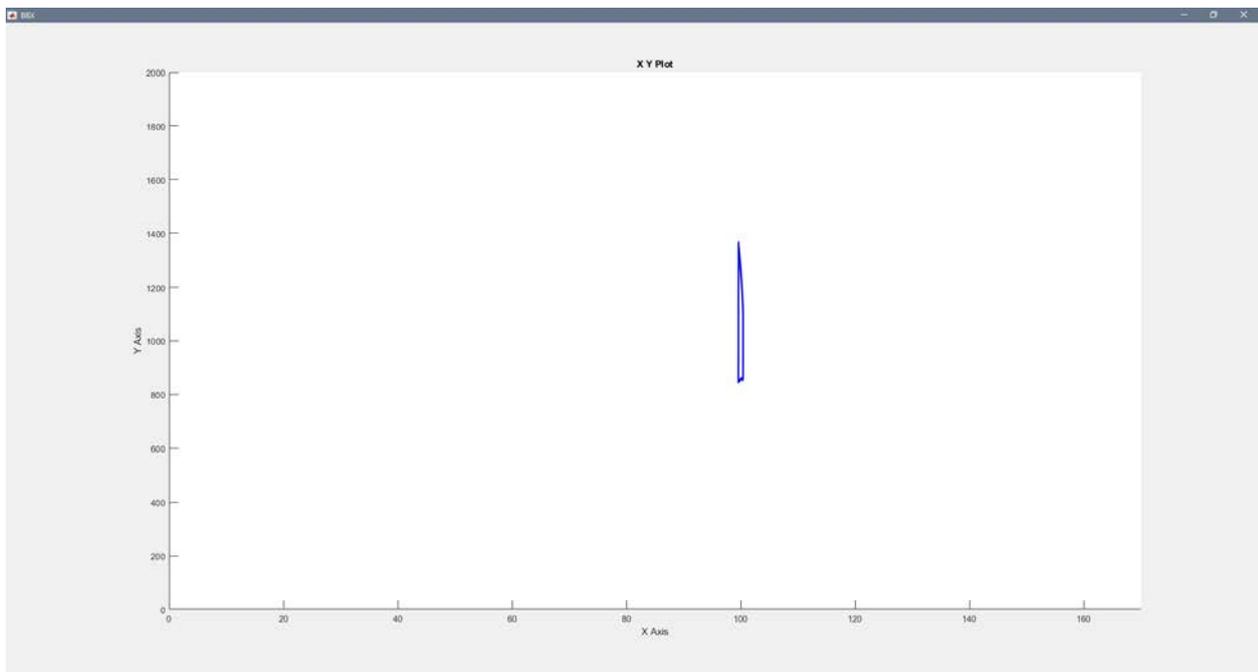


Рисунок 35— Вольт-ваттные характеристики на установившемся участке при различных входных значениях интенсивности света и температуры

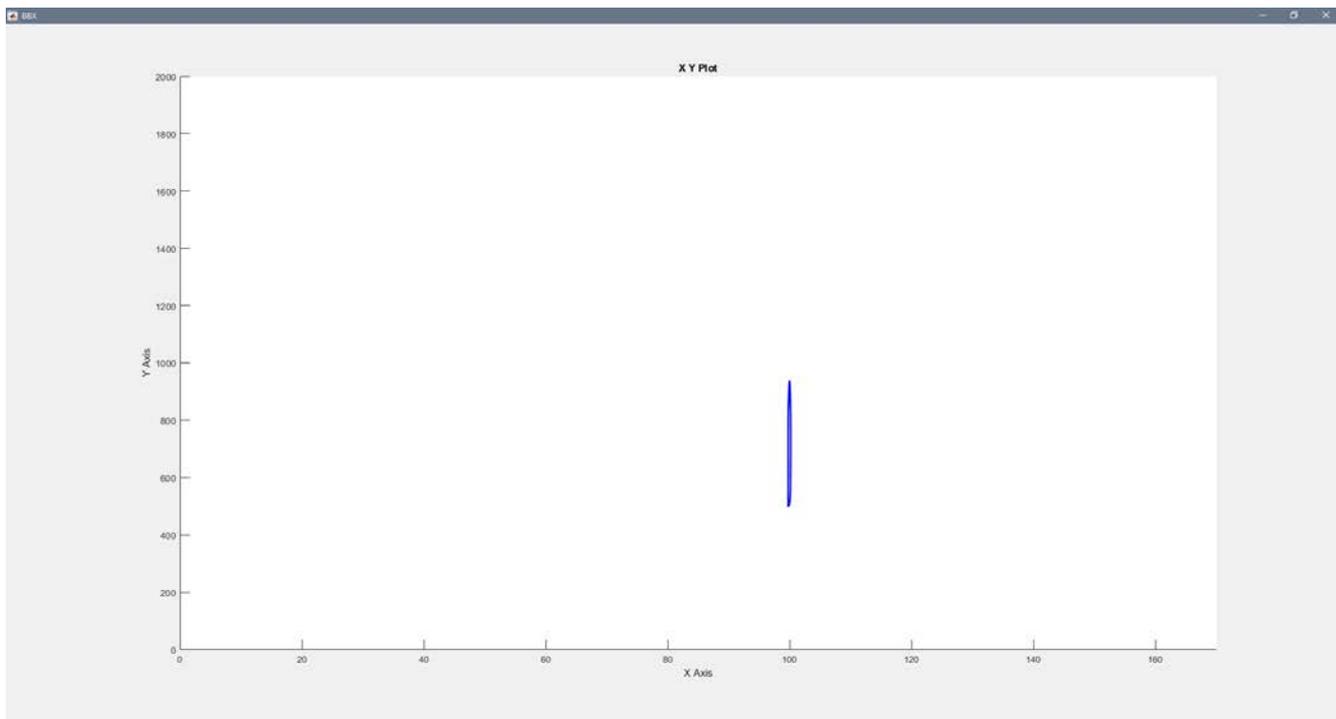


Рисунок 36— Вольт-ваттные характеристики на установившемся участке при увеличении нагрузки

Из рисунков 35 и 36 видно, что корректно реализуется стабилизация напряжения, присутствует пульсация мощности, связанная с переходными процессами по току, но при этом в каждый момент времени для определенного напряжения отбирается максимальная мощность. При увеличении нагрузки система не выходит из установившегося положения и стабилизация напряжения на выходе остается, при этом мощность уменьшается.

Таким образом система автоматически обрабатывает изменение параметров температуры интенсивности солнечного излучения и нагрузки, обеспечивая стабилизацию выходного напряжения в 100В с приемлемой погрешностью и отбирает максимальную мощность для каждого значения выходного напряжения.

#### 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данный раздел выпускной квалификационной работы предназначен для обоснования целесообразности использования технического проекта, с рассмотрением планово-временных и материальных показателей процесса проектирования.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- составление SWOT-анализа работы и эксплуатации проекта;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение научно-технического уровня проекта.

##### 4.1. SWOT-анализ работы технического проекта

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента, позволяет оценить такие параметры как: сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы. Для проведения SWOT-анализа необходимо построить матрицу, в которую записываются приведенные ранее параметры.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы.

Таблица 4.1 Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	С1. Уникальность разработки;	Сл1. Отсутствие прототипа разработки;
	С2. Простота применения разработки;	Сл2. Отсутствие оборудования для проведения испытаний;
	С3. Адекватность разработки;	Сл3. Необходимость в программном обеспечении;
	С4. Универсальность применения разработки.	Сл4. Большое количество электронных компонентов.

## Окончание Таблицы 4.1 Матрица SWOT

Возможности:		
В1. Появление потенциального спроса на разработку;	В1: С1, С2, С3, С4	В1: Сл1, Сл2.
В2. Появление новых возможных мест применения;	В2: С1, С2, С3, С4	В2: Сл1, Сл3.
В3. Получение финансирования;	В3: С1, С3.	В3: Сл1, Сл2, Сл3, Сл4.
В4. Появления дополнительного интереса к альтернативным источникам энергии.	В4: С2, С4.	В4: Сл1, Сл2.
Угрозы:		
У1. Отсутствие спроса на разработку;	У1: С1, С2, С3.	У1: Сл1, Сл2.
У2. Выход из строя элементов изделия;	У2: С2, С4.	У2: Сл3, Сл4.
У3. Низкое качество элементов системы.	У3: С4.	У3: Сл1, Сл3, Сл4.
У4. Появление более предпочтительного конкурентного изделия.	У4: С1, С4	У4: Сл4.

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, 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 проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 4.2 и 4.3, показывает, что технический проект имеет такие сильные стороны как уникальность и адекватность разработки, а слабые стороны не оказывают влияния на проект.

Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 4.2 Интерактивная матрица возможностей

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

Таблица 4.3 Интерактивная матрица угроз

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

### Окончание таблицы 4.3 Интерактивная матрица угроз

У1	+	+	-	-
У2	-	-	+	+
У3	-	-	+	+
У4	-	-	-	+

При разработке технического проекта инженер нацелен на проектирование с возможно большим внедрением сильных сторон. Это влияет, прежде всего, на качество и востребованность спроектированного устройства, что немало важно для потребителей.

Несмотря на то, что для данного анализа сильных сторон больше, не исключен случай, когда какая-либо одна из слабых сторон окажется наиболее сильным фактором, негативно влияющим на работу устройства, чем все вместе взятые сильные стороны.

## **4.2. Планирование работ и оценка времени их выполнения**

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 изделия.

### **4.2.1. Структура работ в рамках технического 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 с целью выявить требуемые параметры системы;

3. Составление эскизного проекта – составление примерных и узлов схемы согласно с заложенной концепцией, а также составление их взаимодействия между собой, рисуется блок-схема всех систем;
4. Проектирование схемы – создание предварительной схемы, подбор электронных 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. Защита работы – защита перед аттестационной государственной комиссией.

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 изделия;
- окончательную корректировку работы;
- комплект документации.

#### 4.2.2. Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. В таблице 4.4 приведена трудоемкость работ.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула [11]:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}$$

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

$t_{max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Вероятностная оценка проведения работ приведена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 Оценка трудоемкости выполнения работ, раб.дн.

п/п	Наименование работ	Исполнители	$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	Длительность работ
1	Составление и выдача технического задания, календарное планирование	Науч. рук.	1	1	1,0	1
2	Изучение литературы и основных принципов построения	Инженер	2	6	3,6	4
3	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	8	12	9,6	10

Окончание Таблицы 4.4 Оценка трудоемкости выполнения работ, раб.дн.

4	Построение моделей и проведение экспериментов	Науч. рук.	3	5	3,8	4
		Инженер	18	23	20,0	20
5	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими расчетами	Науч. рук.	1	1	1,0	1
		Инженер	3	7	4,6	5
6	Разработка принципиальной схемы	Науч. рук.	1	3	1,8	2
		Инженер	18	23	20,0	20
7	Разработка раздела «Финансовый менеджмент»	Инженер	8	13	10,8	10
8	Разработка раздела «Социальная ответственность»	Инженер	8	13	10,0	10
9	Составление пояснительной записки	Инженер	13	18	15,0	15
10	Проверка ВКР руководителем	Науч. рук.	1	1	1,0	1
11	Исправление ошибок	Инженер	2	4	2,8	3
12	Подготовка к защите ВКР	Науч. рук.	1	3	1,8	2
		Инженер	2	4	2,8	3

Примечание: минимальное  $t_{\min}$  и максимальное время  $t_{\max}$  получены на основе экспертных оценок.

### **4.2.3. 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 [12].

График строится на основе таблицы 4.4 с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. График представлен в таблице 4.5.

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 102 рабочих дня. Из них:

100 дней – продолжительность выполнения работ инженера;

10 дней – продолжительность выполнения работ руководителя.

Таблица 4.5 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 выдача технического задания	Руководитель	1	■												
2	Изучение литературы и основных принципов построения	Инженер	4	■												
3	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	10		■	■										
4	Построение моделей и проведение экспериментов	Руководитель	4			■										
		Инженер	20			■	■	■								
5	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими расчетами	Руководитель	1							■						
		Инженер	5							■	■					
6	Разработка принципиальной схемы	Руководитель	2							■						
		Инженер	20							■	■	■				
7	Разработка раздела «Финансовый менеджмент»	Инженер	10										■	■		
8	Разработка раздела «Социальная ответственность»	Инженер	10										■	■		
9	Составление пояснительной записки	Инженер	15										■	■	■	
10	Проверка ВКР руководителем	Руководитель	1													■
11	Исправление ошибок	Инженер	3													■
12	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель	2													■
		Инженер	3													■

### 4.3. Составление сметы затрат на разработку ТП

Планирование 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.

Затраты на осуществление проекта рассчитываются по следующим статьям расходов, которые далее суммируются:

- заработная плата исполнителей технического проекта
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### 4.3.1. Затраты на заработанную плату

Заработная плата (оплата труда работника) - вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные выплаты (доплаты и надбавки компенсационного характера, в том числе за работу в условиях, отличающихся от нормальных, работу в особых климатических условиях и на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, и иные выплаты компенсационного характера) и стимулирующие выплаты (доплаты и надбавки стимулирующего характера, премии и иные поощрительные выплаты).

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

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработанная плата, руб.

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p$$

где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}}$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

$F_{\text{д}}$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт заработной платы приведён в таблице 4.6.

Таблица 4.6 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	10	23550
Инженер	12300	3690	15990	615	100	61500
Итого						85050

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

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

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 4.7.

Таблица 4.7 Расчёт полной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	Основная заработанная плата, тыс. руб.	Дополнительная заработанная плата, тыс. руб.	Полная заработанная плата, тыс. руб.
Руководитель	0,15	23,55	3,45	27,00
Инженер	0,12	61,50	7,40	68,90
Итого		80,65	13,38	95,90

### **4.3.2. 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% от затрат на заработную плату:

$$Z_{c.o} = Z_{полн} \cdot 30\%$$

Рассчитываем затраты на социальные нужды (отчисления):

$$Z_{c.o} = 95,90 \cdot 0,3 = 29,00 \text{ тыс. руб.}$$

### **4.3.3. 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 накладных расходов принимается в размере 16% от общей суммы затрат.

## **4.4. 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 [12].

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Затраты по полной заработной плате исполнителей проекта	95,90	64,6
2. Отчисления во внебюджетные фонды	29,90	19,4
3. Накладные расходы	25,10	16,0
4. Итого	150,00	100,0

Была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 102 раб. дн. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 150 тыс.руб, из которых более половины (64,6 %) составляют затраты на оплату труда.

#### 4.5. Оценка научно-технического уровня проекта

В последнее время для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемый проектов, получил распространение метод балльных оценок. Балльная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности проекта.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле [11]:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i$$

где  $R_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;

$n_i$  – качественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 4.9 Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристики уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, способ	8-10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия, дополняют ранее полученные результаты	5-7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2-4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 4.10 Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1. Установка закона, разработка новой теории	10
2. Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействие между факторами с наличием объяснений	8-9
3. Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п)	6-7
4. Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2-5
5. Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0-1

Критерии научно-технического уровня проекта и их количественные характеристики приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Характеристика признака	Весовой коэффициент	Баллы
1. Уровень новизны	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия	0,5	5
3. Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,2	8
3. Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,2	7
4. Масштабы реализации	Одно или несколько предприятий	0,1	2
Итого:		1,00	

Расчет показателя научно-технического уровня проекта составит:

$$H_T = 0,5 \cdot 5 + 0,2 \cdot 8 + 0,2 \cdot 7 + 0,1 \cdot 2 = 5,7$$

Произведем оценку научно-технического уровня проекта на основании таблицы 4.12:

Таблица 4.12 Оценка научно-технического уровня проекта

Научно-технический уровень	Показатель
Высокий	10-13
Сравнительно высокий	7-9
Средний	4-6
Низкий	1-3

Таким образом проект обладает средним научно-техническим уровнем при показателе 5,7.

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 исполнителя.
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.
- оценка научно-технического уровня проекта, проведенная по интегральному показателю, дала средний результат  $H_i=5,7$ . Это говорит о том, что проект обеспечивает научно-технический прогресс в сфере СЭС малых КА.

## 5. Социальная ответственность

В последнее время этические проблемы техники все больше выходят на первый план в связи с повышением социальной ответственности ученого, инженера, проектировщика в современном обществе, потому что конечная цель техники - это служение людям, но без нанесения ущерба другим людям и природе. Техника не может более рассматриваться как ценностно нейтральная и должна отвечать не только технической функциональности, но и критериям экономичности, улучшения жизненного уровня, безопасности, здоровья людей, качества окружающей природной и социальной среды и т.п.

В данном разделе ВКР рассматриваются вопросы безопасности жизнедеятельности, а также, с точки зрения социальной ответственности за моральные, общественные, экономические, экологические возможные негативные последствия, связанные с разработкой различных технических решений и их обеспечения относительно повышающих преобразователей напряжения, работающих в системе автономного электроснабжения на базе солнечных батарей.

### 5.1. Вредные и опасные производственные факторы

Вредные и опасные производственные факторы, соответствующие солнечным электростанциям, представлены в таблице 5.1 согласно ГОСТ 12.0.003-74 [13].

Таблица 5.1 Опасные и вредные факторы при выполнении работ в лаборатории

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74)	Нормативные документы
	Вредные	
1	2	3
Работа с инвертором солнечных батарей в лаборатории	1. Повышенный уровень шума на рабочем месте;	ГОСТ 12.1.003-83 [14]
	2. Отсутствие или недостаток естественного света, недостаточное освещение рабочего места;	СНиП 23-05-95 [15]

## Окончание таблицы 5.1

	3. Воздействие электромагнитного излучения;	ГОСТ 12.1.002-84 [16]
	4. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны	СанПиН 2.2.4.548-96 [17]
Опасные		
Работа с инвертором солнечных батарей в лаборатории	1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которое может пройти через тело человека;	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [18]

### 5.1.1. Вредные факторы

Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточное освещение рабочего места:

Комфортные условия труда во многом зависят от освещения производственных помещений. Рациональное освещение повышает безопасность работ и производительность труда. Несоответствие нормативным показателям освещения или неправильная установка источников света могут быть причиной быстрой утомляемости работающих, а также несчастного случая.

Всеобщим межотраслевым документом, содержащим нормы естественного и искусственного освещения предприятий, является СНиП 23-05-95.

К системам освещения предъявляются следующие требования:

- Соответствие освещенности на рабочих местах характеру зрительной работы. До определенного уровня увеличение освещенности повышает производительность труда за счет улучшения условий видения объектов. Дальнейшее увеличение освещенности экономически нецелесообразно;
- Достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности. При неравномерной яркости глаз вынужден в процессе работы переадаптироваться, что ведет к утомлению зрения;

- Отсутствие резких теней на рабочих поверхностях. Резкие тени, находящиеся в поле зрения человека, искажают размеры и формы объектов различения. Это повышает утомление зрения; движущиеся тени могут привести к травмам;
- Постоянство освещенности во времени. Колебания освещенности вызывают необходимость переадаптации глаза и приводят к значительному утомлению;
- Правильная цветопередача. Спектральный состав света должен соответствовать характеру работы;
- Обеспечение электро-, взрыво- и пожаробезопасности;
- Экономичность.

Нормы рабочего освещения приведены в таблице 5.2. Пайка SMD- компонентов относится к зрительным работам высокой точности. При этом контраст компонентов с фоном печатной платы средний [18].

Таблица 5.2. Нормы освещённости на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении (по СНиП 23-05-95)

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		
						Освещённость, лк		
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения
всего	в том числе от общего							
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Высокой точности	Св. 0,30 до 0,50	III	a	Малый	Тёмный	2000 1500	200 200	500 400
			б	Малый Средний	Средний Тёмный	1000 750	200 200	300 200
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Тёмный	750 600	200 200	300 200

## Окончание таблицы 5.2

			г	Средний Большой	Светлый Средний	400	200	200
--	--	--	---	--------------------	--------------------	-----	-----	-----

В соответствии с таблицей 5.2 принимаем, что освещённость при использовании искусственного освещения должна составлять 1000 лк при системе комбинированного освещения.

Воздействие электромагнитного излучения:

Источниками электромагнитных полей промышленной частоты 50 Гц являются все электроустановки переменного тока: линии электропередачи (ЛЭП), распределительные устройства, электросварочное оборудование, высоковольтное электрооборудование промышленного, научного и медицинского назначения и др.

Источниками электромагнитных полей (излучений) радиочастотного диапазона являются генерирующее, передающее и излучающее оборудование радио- и телевизионных центров, радиолокационных станций, установки высокочастотной термообработки, высокочастотные установки для нагрева металла и диэлектриков, физиотерапевтические аппараты и пр.

По законам физики изменения в веществе может вызвать только та часть энергии излучения, которая поглощается этим веществом, а отраженная или проходящая через него энергия действия не оказывает. Электромагнитные волны лишь частично поглощаются тканями биологического объекта, поэтому биологически и эффект зависит от физических параметров электромагнитного излучения: длины волны (частоты колебаний), интенсивности и режима излучения (непрерывный, прерывистый, импульсно-модулированный), продолжительности и характера облучения организма, а также от площади облучаемой поверхности и анатомического строения органа или ткани.

Степень поглощения энергии тканями зависит от их способности к ее отражению на границе раздела, определяемой содержанием воды в тканях и другими их особенностями. Колебания дипольных молекул воды и ионов, содержащихся в тканях, приводят к преобразованию электромагнитной энергии внешнего поля в тепловую, что сопровождается повышением температуры тела или локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток, особенно с плохой терморегуляцией (хрусталик глаза, стекловидное тело, семенники и др.). При облучении электромагнитными полями наблюдаются: постоянные изменения в крови (фазовые изменения лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина), поражение глаз в виде помутнения хрусталика (катаракты), изменения функционального состояния сердечно-сосудистой и центральной нервной систем, нарушения обменных процессов.

Нормируемыми параметрами в диапазоне частот 60 кГц – 300 МГц являются напряженности  $E$  и  $H$  электромагнитного поля. В диапазоне низких частот интенсивность излучения не должна превышать 50 В/м по электрической составляющей и 5 А/м по магнитной составляющей напряженности поля.

Напряженность магнитного поля на расстоянии 10 см от экрана варьируется в диапазоне 0,4 – 1,8 А/м. С расстоянием эти показатели уменьшаются. Следовательно, напряженность магнитного поля аудитории соответствует норме. Естественным средством, защищающим пользователя от воздействия вредных излучений, являются фильтры для экранов мониторов. Временно допустимые уровни ЭМП, создаваемые ЭВМ приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3. Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03)

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Защита быть выполнена следующими путями:

- снижением мощности источника излучения;
- снижением параметров излучения;
- ослаблением ЭМП на рабочем месте.

Снижение мощности источника излучения может быть реализовано путем выбора генератора излучения минимально необходимой мощности.

Удобными материалами для экранирования являются поглощающие материалы: резина, полистирол, полиуретан, ферритовые пластины. Листы поглощающих материалов могут быть одно- или многослойными. Многослойные обеспечивают поглощение электромагнитных волн в более широком диапазоне. Для улучшения экранирующего действия у многих типов поглощающих материалов с одной стороны впрессована металлическая сетка или латунная фольга. При создании экранов эта сторона обращена в сторону, противоположную источнику излучения.

При необходимости работы под действием электромагнитного излучения, превышающего допустимые значения (ремонт и т. п.), используются средства индивидуальной защиты сиз: защитные костюмы из металлизированной ткани, комплекты индивидуальной защитной экранирующей одежды, защитные очки из стекла с металлизированным слоем диоксида олова, шлем-маски из металлической сетки с ячейкой, соответствующей длине волны излучения.

### 5.1.2. Опасные факторы

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которое может пройти через тело человека:

Оборудование, находящееся в пределах рабочей площадки, работает от электрического тока. Как следствие, существует вероятность поражения электрическим током рабочего. Проходя через человека электрический ток воздействует на организм следующим образом:

#### Биологическое воздействие

Выражается в раздражении и возбуждении живых клеток организма, что приводит к непроизвольным судорожным сокращениям мышц, нарушению нервной системы, органов дыхания и кровообращения. При этом могут наблюдаться обмороки, потеря сознания, расстройство речи, судороги, нарушение дыхания. Тяжелая электротравма нарушает функции мозга, дыхания, сердца до полной их остановки, что приводит к гибели пострадавшего. Наиболее частой причиной смерти от электротравмы является фибрилляция желудочков сердца, при которой нарушается сократительная способность мышц сердца.

#### Электролитическое воздействие

Проявляется в разложении плазмы крови и др. органических жидкостей, что может привести к нарушению их физико-химического состава.

#### Термическое воздействие

Сопровождается ожогами участков тела и перегревом отдельных внутренних органов, вызывая в них различные функциональные расстройства. Ожоги вызываются тепловым действием электрического тока или электрической дуги.

В настоящее время, согласно ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Классификация», существуют следующие средства защиты от повышенного значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. В рабочей лаборатории используются следующие средства защиты:

- устройства автоматического контроля и сигнализации;

- устройства защитного заземления и зануления;
- устройства автоматического отключения;
- предохранительные устройства;
- знаки безопасности.

## **5.2. Экологическая безопасность**

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, обработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [17]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [16]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции.

Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы,

необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из не адсорбирующего ртуть материала (винипласта).

### **5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Основными причинами пожаров от электрического тока является короткое замыкание, перегрузки электрических установок, переходные сопротивления и искрения.

Причинами короткого замыкания могут быть неправильный выбор сечения и марки кабелей приводов, износ и различные механические повреждения изоляции. Перегрузка электрических цепей вызывает нагрев электрических установок, снижение диэлектрических свойств изоляции и ее воспламенение. Большие переходные сопротивления вызывают нарушения диэлектрических свойств изоляции и ее возгорание. Они, как правило, возникают, когда проводники состоят из проводов разного сечения и разнородного материала, а также плохого контакта между собой и коммуникационными аппаратами. Искрение происходит в момент разъединения находящихся под напряжением проводов выключателей, предохранителей и т.п.

Во избежание пожаров от электрического тока необходимо, чтобы электрические сети и электрооборудование отвечали требованиям правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации электроустановок ПОТ Р М-016- 2001.

Пожарная безопасность обеспечивается следующими мероприятиями пожарной профилактики:

— организационные — противопожарный инструктаж, создание добровольных пожарных дружин и комиссий, разработка планов эвакуации; технические — соблюдение норм и правил при проектировании и строительстве зданий, соблюдение норм при выборе оборудования, устройство вентиляции и отопления, оснащение средствами пожаротушения и т.д.;

- режимные – запрещение курения в неустановленных местах;
- эксплуатационные – своевременный ремонт оборудования.

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры:

- предотвращение распространения пожара за пределы очага;
- применение средств пожаротушения;
- эвакуация людей в случае пожара;
- применение средств пожарной сигнализации и средств извещения.

Надёжная и безопасная работа электрооборудования обеспечивается в результате правильного его выбора, качества изготовления и регулярного проведения осмотров, профилактических испытаний и ремонтов. Поэтому имеет особое значение выполнения требований ПУЭ и ГОСТ при выборе электрооборудования.

В помещении площадью 50 м<sup>2</sup> согласно документу «Правила противопожарного режима РФ» от 25.04.2012г. необходимо иметь:

- 1 огнетушителя типа ОП-5;
- не менее 1 огнетушителей типа ОВП-10;
- план эвакуации людей;
- средства пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре.

Каждый, обнаруживший пожар или загорание, обязан немедленно вызвать пожарную охрану по телефону 01, а также при необходимости вызвать газоспасательную, медицинскую и другие службы. Информацию об очаге возгорания необходимо сообщить лицу ответственному за эвакуацию людей из здания. Если в помещении, где произошло загорание, находятся предметы, потеря которых может привести к серьезным финансовым затруднениям предприятия или к потере ценной информации, то нужно приступить к тушению очага пожара.

В помещении назначен ответственный за эксплуатацию электрохозяйства, а обеспечение пожароопасной электроустановок и электросетей. В его обязанности входит:

- своевременное проведение профилактических осмотров и ППР;
- следить за правильностью выбора и применения оборудования;

- систематически контролировать состояние аппаратов, предохраняющих от отклонений в режимах работы;
- следить за наличием средств пожаротушения;
- организовать систему обучения и инструктаж по вопросам, обеспечения пожарной безопасности.
- Меры пожарной безопасности:
- наличие необходимого количества выходов;
- пожарная сигнализация;
- организационно-технические мероприятия.

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры:

- предотвращение распространения пожара за пределы очага;
- применение средств пожаротушения;
- эвакуация людей в случае пожара;
- применение средств пожарной сигнализации и средств извещения;
- средства индивидуальной защиты органов дыхания (респираторы, тканевые повязки).

#### **5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Рабочее место – место, где работник должен находиться или куда ему необходимо прибыть в связи с его работой и которое прямо или косвенно находится под контролем работодателя.

Постоянное рабочее место – место, на котором работник находится большую часть (более 50% или более 2 часов непрерывно) своего рабочего времени.

Рабочая зона – пространство высотой до 2 м от уровня пола или площадки, на котором находятся места постоянного или временного пребывания работников.

Находясь на своем рабочем месте, т.е. в производственной среде, человек может подвергаться действию целого ряда опасных и (или) вредных производственных факторов, от действия которых он должен быть максимально защищен. В соответствии с ГОСТ 12.2.061-81 «Оборудование производственное. Общие требова-

ния безопасности к рабочим местам» рабочее оборудование, инструмент, приспособления должно полностью отвечать требованиям безопасности, окружающая производственная среда соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям и, кроме того, рабочее место должно быть организовано таким образом, чтобы человек при выполнении работы затрачивал минимальное количество энергии. Соблюдение этих условий будет способствовать постоянно высоко производительному безопасному труду. Правильная организация рабочего места подразумевает знание и выполнение эргономических требований, которые определяются существующими стандартами.

Так ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» определяет общие эргономические требования к рабочему месту при выполнении работ сидя, а ГОСТ 12.2.033-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» – при выполнении работ стоя. Согласно ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина» рабочее место должно быть оборудовано всеми необходимыми рабочими средствами, а также, должно обеспечивать удобство выполнения работ и других необходимых манипуляций рабочего [19, 20, 21].

Режим труда и отдыха – это устанавливаемые для каждого вида работ порядок чередования периодов работы и отдыха и их продолжительность.

Рациональный режим – это такое соотношение и содержание периодов работы и отдыха, при которых высокая производительность труда сочетается с высокой и устойчивой работоспособностью человека без признаков чрезмерного утомления в течение длительного времени. Один из основных вопросов установления рационального режима труда и отдыха – это выявление следующих принципов их разработки:

- Удовлетворение потребностей производства. Режим труда и отдыха строится применительно к наиболее рациональному производственному режиму, с тем, чтобы обеспечить нормальное исполнение работником своих обязанностей;

- Обеспечение наибольшей работоспособности человека. Нельзя строить режим труда и отдыха без учета работоспособности человека и объективной необходимости организма в отдыхе;

Сочетание общественных и личных интересов. Режим труда и отдыха должен быть ориентирован в некоторой степени на удовлетворение личных интересов трудящихся и отдельных категорий работников (женщин, детей, учащихся и т. д.). Научно обоснованным режимом труда и отдыха считается такой режим, который одновременно сочетает сохранение и повышение работоспособности и производительности труда с сохранением здоровья работников и созданием благоприятных условий для всестороннего развития человека.

В соответствии с государственными стандартами и правовыми нормами обеспечения безопасности предусмотрена рациональная организация труда в течении смены, которая предусматривает:

- длительность рабочей смены не более 8 часов;
- установление двух регламентируемых перерывов (не менее 20 минут после 1-2 часов работы, не менее 30 минут после 2 часов работы);
- обеденный перерыв не менее 40 минут.

Обязательно предусмотрен предварительный медосмотр при приеме на работу и периодические медосмотры.

Каждый сотрудник должен пройти инструктаж по технике безопасности перед приемом на работу и в дальнейшем, должен быть пройден инструктаж по электробезопасности и охране труда.

## Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы было произведено построение математических моделей солнечной батареи малых КА. Реализована СЭС малого космического аппарата, состоящая из следующих элементов: солнечная батарея, стабилизатор напряжения, экстремальный регулятор, система управления и нагрузка.

Полученные результаты проверены при помощи имитационных моделей. На основе полученных в результате моделирования зависимостей можно сделать следующие выводы:

- при добавлении в типовую схему замещения фотоэлектрического преобразователя реактивных элементов, имитирующих переменные составляющие тока, на вольт-амперной характеристике в начальный момент времени наблюдается сильный скачок. Этот скачок указывает на наличие переходного процесса по току, который значительно усложняет реализацию систем управления СЭС малых КА;
- работа реализованной СЭС малых КА с использованием БС, которая не учитывает переменную составляющую тока, является корректной, что говорит о правильной реализации ее узлов: стабилизатора напряжения и экстремального регулятора;
- возможно дальнейшее исследование системы с учетом переменной составляющей тока.

По результатам проработки раздела “финансовый менеджмент и ресурсоэффективность” рассчитан бюджет технического проекта, а также была дана оценка научно-технического уровня НИР. Данный технический проект имеет коммерческий потенциал, который заключается в снижении себестоимости продукта за счет введения инновационных методов.

В результате проработки раздела “социальная ответственность” были рассмотрены вредные и опасные факторы при разработке данной работы и возможные чрезвычайные ситуации. Так же были рассмотрены мероприятия по снижению воздействия опасных и вредных факторов.

## Список литературы

1. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ.— М.: Энергоатомиздат, 1983.— 36- с., ил.
2. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Siulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. — СПб.: КОРОНА-Век, 2008. — 368 с.
3. Gow J. A. Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies / J. A. Gow, C. D. Manning // IEE Proceedings- Electric Power Applications.- 1999.- vol. 146, no. 2.-. 193-199.
4. Зиновьев Г.С. Силовая электроника. Учебное пособие. 5-е издание, исправленное и дополненное. М.: Юрайт – 2015, 667 с.
5. Андриянов А.И., Малаханов А.А. Математическое моделирование динамики импульсного преобразователя напряжения повышающего типа. Вестник Брянского государственного технического университета. 2006. №1 (9). – с. 61-69.
6. Михальченко С.Г. Функционирование импульсно-модуляционных преобразователей в зонах мультистабильности // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012. № 1-1.
7. Алфёров Ж. И., Андреев В. М., Румянцев В. Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики // Физика и техника полупроводников, 2004, Т.38, вып.8, с.937-948.
8. Бирзникс Л.В. Импульсные преобразователи постоянного тока. М.: Энергия, 1974.
9. Герман-Галкин С.Г. Школа MATLAB. Урок 12. Исследование импульсного повышающего регулятора постоянного напряжения // Силовая электроника. 2007. №4
10. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. - М.: ДМК Пресс, 2008. – 288 с.
11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие /Криницына З.В., Видяев И.Г.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

12. Шепеленко Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии: Учебное пособие / Г. И. Шепеленко.—2-е изд., доп. и перераб.—Ростов-на-Дону: МарТ, 2000.—544 с.—ISBN 5-241- 000143.
13. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация URL:  
[http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST\\_12000374\\_SSBT\\_Opasnye\\_i\\_v.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_12000374_SSBT_Opasnye_i_v.html).
14. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1).
15. СНиП 23-05-95 Строительные нормы и правила Российской Федерации: Естественное и искусственное освещение.
16. ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электрические поля промышленной частоты.
17. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
18. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
19. ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».
20. ГОСТ 12.2.033-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» – при выполнении работ стоя.
21. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина».