

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

---

Институт Энергетический (ЭНИИ)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических станций</b>

УДК 621.311.26.027.236

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5E	Новосельцев Кирилл Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Обухов С.Г.	Доктор технических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Ю.В.	Кандидат технических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Электроснабжение промышленных предприятий</b>	<b>Сурков М.А.</b>	<b>к.т.н., доцент</b>		

Томск – 2017 г.

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

---

Институт Энергетический (ЭНИИ)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. зав. кафедрой ЭПП

\_\_\_\_\_ **Сурков М.А.**  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**магистерской диссертации**

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5E	Новосельцев Кирилл Владимирович

Тема работы:

<b>Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических станций</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	13.02.2017 г. № 719/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Повышение эффективности системы электроснабжения загородного жилого дома путем оптимизации возобновляемых источников энергии.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Анализ основных компонентов автономной ФЭС  2. Математическое моделирование компонентов автономной ФЭС  3. Разработка методики выбора оптимального контроллера ПТТМ, с помощью компьютерной модели  4. Социальная ответственность  5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение  6. Заключение</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point)</p>

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Попова С.Н.
Социальная ответственность	Бородин Ю.В.
Иностранный язык	Матухин Д.Л.

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Введение
Основные наработки
Заключение

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Обухов С.Г.	К.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5E	Новосельцев Кирилл Владимирович		

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

---

Институт **Энергетический (ЭНИИ)**

Направление подготовки **13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника**

Уровень образования **магистр**

Кафедра **Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)**

Период выполнения **осенний 2015/2016/, весенний семестр 2016/2017 учебного года**

Форма представления работы:

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.02-04.03	1. Анализ компонентов автономной ФЭС	
04.03-28.03	2. Обзор алгоритмов контроллера ПТТМ	
30.03-15.04	3. Построение математической модели автономной ФЭС	
18.04-28.04	4. Построение компьютерной модели автономной ФЭС с различными вариантами контроллеров	
01.05-06.05	5. «Социальная ответственность»	
07.05-10.05	6. «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Обухов С.Г.	К.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроснабжение промышленных предприятий	Сурков М.А.	к.т.н., доцент		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM5E	Новосельцев Кирилл Владимирович

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)</b>
<b>Уровень образования</b>	магистр	<b>Направление/специальность</b>	13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

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

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</i>	Тема: «Повышение эффективности автономной фотозлектрической станции». Объектом исследования является существующая система электроснабжения жилого дома, находящегося в городе Новосибирск. Выбор наиболее оптимального контроллера поиска точки максимальной мощности
--	---

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

<i>1. Производственная безопасность</i>	1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования. 1.2. Обоснование мероприятий по защите персонала от действия опасных и вредных факторов.
<i>2. Экологическая безопасность.</i>	2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду
<i>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.</i>	3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований. 3.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.
<i>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</i>	4.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

### Перечень графического материала:

<i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i>	1. Расположение заземляющего электрода
---	--

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Бородин Ю.В.	К.Т.Н.		

### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5AM5E	Новосельцев Кирилл Владимирович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5E	Новосельцев Кирилл Владимирович

Институт	Энергетический	Кафедра	Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Новосибирск
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Величина накладных расходов 16 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные цели 27,1 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Потенциальные потребители результатов исследования;
2. Разработка устава научно-технического проекта	Планирование работ по проекту: - Определение структуры работ; - Определение трудоемкости работ; - Разработка линейного графика
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Оценка целесообразности проекта: - Описание групп рисков - Оценка важности группы рисков
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Составление сметы для проекта: - Расчет материальных затрат; - Заработная плата; - Отчислений на социальные цели; - Накладных расходов

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5E	Новосельцев Кирилл Владимирович		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа 107 с., 21 таблица, 55 рисунков, 18 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: Автономная фотоэлектрическая станция, компоненты, энергия солнца, солнечная батарея преобразователь, контроллер, электрическая энергия, оптимизация.

Объектом исследования является жилой загородный дом, удаленный от г. Новосибирска, без централизованного электроснабжения.

Цель работы – разработка методики повышения энергетической эффективности автономных фотоэлектрических станций путем выбора оптимального типа контроллера поиска точки максимальной мощности.

В ходе исследования был проведен анализ компонентов автономной фотоэлектрической станции, построена математическая и компьютерная модели, также произведен анализ алгоритмов контроллеров отбора точки максимальной мощности.

В результате исследования была построена модель автономной фотоэлектрической станции, благодаря которой была разработана наглядная методика выбора контроллера, учитывая различные погодные условия.

Область применения: в малой энергетике для районов России с отсутствующим централизованным электроснабжением.

В разделе финансовый менеджмент представлены затраты на проектирование автономной фотоэлектрической станции, которые говорят о выгоды и целесообразности проекта.

Очевидно, с каждым днем данный вид энергетики все более актуален, вне зависимости от региона. Это позволит эффективно использовать потенциал солнечной энергетики, не нанося вред окружающей среде и не зависеть от централизованных систем электроснабжения.

## Оглавление

Введение .....	9
1. Анализ основных компонентов автономной фотоэлектрической станции.....	13
1.1. Фотоэлемент.....	13
1.2. Инверторы для фотоэлектрических станций .....	15
1.3. Аккумуляторные батареи.....	16
1.4. Анализ видов контроллеров солнечной батареи .....	17
1.4.1. Контроллеры с широтно-импульсной модуляцией тока заряда .....	18
1.4.2. Контроллер со слежением за точкой максимальной мощности.....	19
1.4.3. Метод постоянного напряжения (Constant voltage).....	20
1.4.4. Метод тока короткого замыкания (Short current).....	21
1.4.5. Метод нечеткой логики (Fuzzy logic).....	21
1.4.6. Температурный метод .....	23
1.4.7. Метод постепенно возрастающей проводимости (Incremental conductance) ..	24
1.4.8. Метод напряжения холостого хода (Open voltage).....	25
1.4.9. Метод случайных возмущений (Perturb and observe).....	25
2. Математические модели компонентов автономной фотоэлектрической станции .....	27
2.1. Модель потребителя электрической энергии.....	27
2.2. Модель солнечной батареи .....	31
2.3. Модель солнечной инсоляции .....	35
2.4. Модель понижающего преобразователя напряжения .....	37
3. Выбор и моделирование элементов автономной фотоэлектрической станции.....	40
3.1. Модель электрической нагрузки .....	40
3.2. Модель солнечной батареи .....	42
3.3. Модель поступления солнечной радиации .....	48
3.4. Выбор инвертора.....	52
3.5. Модель аккумуляторных батарей .....	53
3.6. Выбор дизель-генератора.....	54
3.7. Модель понижающего преобразователя напряжения .....	55
3.8. Модель контроллера.....	58
3.8.1. Модель метода случайных возмущений.....	60
3.8.2. Модель метода напряжения холостого хода .....	63
3.8.3. Модель метода постоянного напряжения .....	64
3.9. Анализ энергетических характеристик автономной фотоэлектрической станции	65



3.10. Заключение по разделу.....	66
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	66
5.1. Инициация научного исследования .....	66
5.2. SWOT-анализ .....	67
5.3. Календарный план проекта .....	68
5.4. Расчет затрат.....	70
5.5. Техничко-экономическое обоснование целесообразности построения солнцедизельной электростанции.....	73
5.6. Смета затрат проекта .....	75

## **Введение**

Из-за нехватки ископаемого топлива и ростом спроса обеспечения энергией, появилась необходимость использования возобновляемых источников энергии. Учитывая простоту, доступность и огромный потенциал, солнечная энергетика является одной из самых основных направлений возобновляемой энергетики, которая в состоянии удовлетворить увеличение спроса на энергию.

Сегодня фотоэлектрические системы становятся все более и более популярными благодаря увеличению спроса на электроэнергию и в тоже время имеют минимальное загрязнение окружающей среды. Солнечная энергия, является бесплатной и практически находится в изобилии в большинстве стран мира. Энергия, которую Земля получает от Солнца настолько огромна и настолько мощна, что полная потребляемая энергия всего мира эквивалентна излучаемой энергии солнца в течение получаса. Солнце является чистым и возобновляемым источником энергии, который не производит никаких вредных газов, ни токсичных отходов в результате ее использования

К сожалению, у данной системы есть недостатки:

- Низкий КПД выработки электроэнергии (9-16%);
- Зависимость от погодных условий (уровень инсоляции и температуры).

Солнечная электростанция не работает ночью и недостаточно эффективно работает в утренних и вечерних сумерках. При этом пик электропотребления приходится именно на вечерние часы. Кроме того, мощность электростанции может резко и неожиданно колебаться из-за смены погоды.

Существует два вида фотоэлектрических станций: сетевые и автономные. Первые обеспечивают электроэнергией как от возобновляемых источников энергии, так и от сети. Такая возможность позволяет расположить системы различной мощности не только в отдаленных районах, но и в городах, коттеджных поселках. И в данном случае приходится платить за

электроэнергию, что является основной причиной выбора типа фотоэлектрической станции.

Автономные системы используются там, где нет сетей централизованного электроснабжения. Для обеспечения энергией в темное время суток или в периоды без яркого солнечного света необходима аккумуляторная батарея. Автономные фотоэлектрические системы часто используются для электроснабжения отдельных домов. Малые системы позволяют питать базовую нагрузку (освещение и иногда телевизор или радио), более мощные системы могут также питать водяной насос, радиостанцию, холодильник, электроинструмент и т.п. Такая система состоит из солнечной панели, контроллера, аккумуляторной батареи, кабелей, электрической нагрузки и поддерживающей структуры. Основное преимущество заключается в независимости от сетей электроснабжения и соответственно, платы за электроэнергию.

Ниже представлен график выработки электроэнергии за счет энергии солнца.

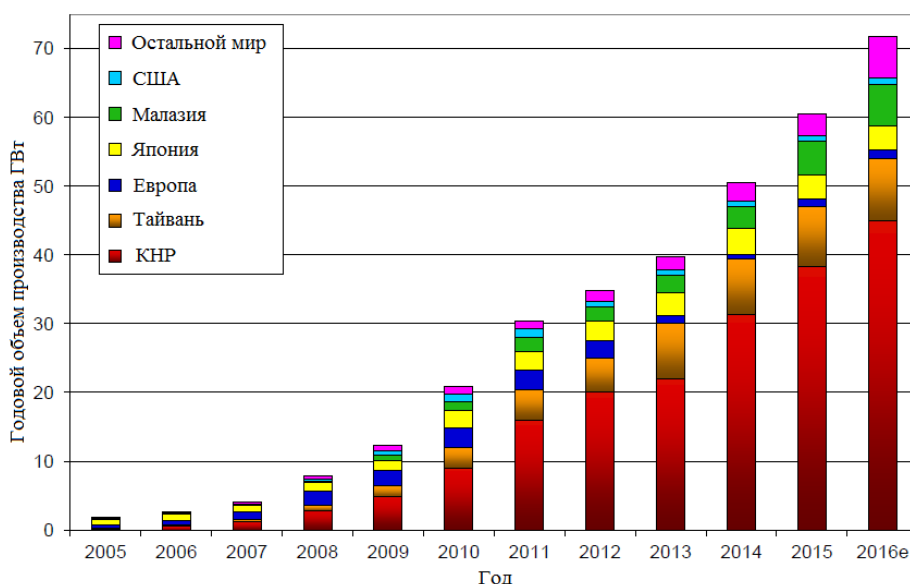


Рисунок 1. Производство электроэнергии солнечными модулями.

По данным графика видно, что с каждым годом выработка электроэнергии за счет энергии солнца только растет. Все больше стран

используют данный вид энергетики, следовательно, неизбежен технический прогресс в данной сфере.

Объектом исследования выступает автономная фотоэлектрическая станция. Актуальность данной темы заключается в том, что с каждым годом увеличивается спрос на выгодное использование энергии солнца и появляются различные способы увеличения эффективности использования данной энергии. Также в настоящее время отсутствуют методики, направленные на точный выбор контроллеров ПТТМ.

Существует несколько способов повышения эффективности:

- Установка солнечного трекера – устройство, направляющее солнечную батарею или концентратор по направлению к солнцу, позволяя тем самым выработать в течение дня большее количество энергии;
- Установка концентраторов – устройство, собирающее солнечную энергию с большей площадью и перенаправление ее на меньшую площадь;
- Устройства очистки панелей от грязи;
- Установка более совершенных контроллеров ПТТМ.

Цель работы заключается в повышении эффективности фотоэлектрической станции путем установки контроллеров, которые обеспечивают максимально возможную отдачу энергии солнечными батареями в условиях недостаточной инсоляции и высокой температуры. Так как видов контроллеров существует много, необходимо разработать методику, с помощью которой можно выбрать необходимый контроллер, при заданных уровнях инсоляции и температуры.

## 1. Анализ основных компонентов автономной фотоэлектрической станции

Устройства для прямого преобразования световой или солнечной энергии в электроэнергию называются фотоэлементами (по-английски Photovoltaics, от греческого photos - свет и названия единицы электродвижущей силы - вольт). Преобразование солнечного света в электричество происходит в фотоэлементах, изготовленных из полупроводникового материала, например, кремния, которые под воздействием солнечного света вырабатывают электрический ток. Соединяя фотоэлементы в модули, а те, в свою очередь, друг с другом, можно строить крупные фотоэлектрические станции.

Как правило автономная фотоэлектрическая система состоит из нескольких подсистем, структурная схема ФЭС приведена на рисунке 2.



Рисунок 2. Структурная схема фотоэлектрической станции.

### 1.1. Фотоэлемент

Основным элементом фотоэлектрической системы являются фотоэлементы, которые объединяются в солнечные батареи. Солнечный фотоэлемент изготавливается на основе пластины, выполненной из полупроводникового материала, например, кремния. В пластине создаются области с p- и n- типами проводимости. В качестве методов создания этих областей используется, например, метод диффузии примесей или метод наращивания одного полупроводника на другой. Затем изготавливаются нижний и верхний электроконтакты, причем нижний контакт - сплошной, а верхний

выполняется в виде гребенчатой структуры (тонкие полосы, соединенные относительно широкой токосборной шиной).

Основным материалом для получения солнечных элементов является кремний. Кремний, является одним из самых изученных материалов в природе, к тому же второй по распространенности после кислорода. Фотоэлементы на основе кремния составляют порядка 85% всех выпускаемых солнечных панелей.

Существует два основных типа кремниевых фотоэлементов:

- Поликристаллические;
- Монокристаллические.

При создании поликристаллических фотоэлементов используется дешевый кремний, произведенный по методу направленной кристаллизации в специально разработанном тигле. Получаемые в результате кремниевые пластины содержат множество мелких разнонаправленных разделенных кристаллитов. Подобные примеси снижают эффективность работы фотоэлектрического модуля. КПД таких панелей составляет порядка 14-18%. Но данные панели являются довольно дешевыми.

В случае монокристаллических фотоэлементов используется высококачественный, но в тоже время довольно дорогой кремний, выращенный по методу Чохральского, который является стандартным методом для получения кремниевых плат. Эффективность таких панелей больше чем у поликристаллических и КПД составляет порядка 19-22% из теоретически возможных 30%.

Эффективность фотоэлектрических панелей зависит от вида соединения панелей между собой. При параллельном соединении панелей напряжение в цепи будет равно напряжению одной солнечной панели, но при этом ток суммируется в зависимости от количества панелей.

При последовательном соединении – напряжения каждой панели суммируется, ток при этом будет равен самой слабой солнечной панели. Поэтому не рекомендуют подключать панели последовательно, так как не все панели будут находиться в точке максимальной мощности, ток которых будет выходе.

Также эффективность работы солнечных панелей зависит от их позиционирования по сторонам света и угла наклона. Как правило солнечные панели устанавливают в южном направлении.

## **1.2. Инверторы для фотоэлектрических станций**

Инверторы используются для преобразования постоянного тока от аккумуляторных батарей (АБ) или солнечных панелей в переменный, аналогичный току в сетях централизованного электроснабжения. В соединенных с сетью системах инверторы принимают энергию от солнечных панелей и преобразуют ее в переменный ток, который подается в сеть. Большинство солнечных панелей генерируют постоянный ток. Есть панели с интегрированными инверторами, так называемые АС-панели с микроинверторами.

Их преимуществом является простая настройка и возможность легкого масштабирования фотоэлектрической системы путем простого добавления таких панелей. Такие инверторы используются только в соединенных с сетью системах. В автономных системах для питания стандартных бытовых устройств и приборов нужно преобразовать постоянный ток от АБ и солнечных батарей в переменный, напряжением 220 В.

Есть много различных инверторов, отличающихся мощностью и типом. Некоторые из них имеют очень высокую эффективность. Если инвертор будет часто находиться без нагрузки, то необходимо выбирать такой, который имеет низкое потребление в ждущем режиме. Если же он будет большую часть времени питать нагрузку, то необходимо выбирать инвертор с максимальным КПД.

Солнечные панели вырабатывают постоянный ток, и АБ хранят энергию в виде постоянного тока, но большинство приборов и потребителей энергии требуют переменный ток напряжением 220 В или 380 В. Инвертор преобразует низкое напряжение 12, 24, 32, 36, 48, 96, 120 В постоянного тока в высокое напряжение 220 В переменного тока. Часть энергии неизбежно теряется при преобразовании – от 5% до 20%, в зависимости от качества инвертора и режима его работы.

Инверторы бывают различной мощности, а их тип выбирается в зависимости от применения. Маломощные инверторы (100– 1000 Вт) обычно используются в малых автономных системах для питания, например, лампочек, телевизора, радио и других приборов. Они бывают на входное напряжение 12 В или 24 В и выходное 220 В. Более мощные инверторы имеют входное напряжение 24 В или 48 В (а иногда 96 В и выше).

### **1.3. Аккумуляторные батареи**

Для обеспечения энергией в темное время суток или в периоды без яркого солнечного света необходима аккумуляторная батарея (АБ).

Любые электрические аккумуляторы рассматриваются как источники постоянного тока многократного использования с возможностями выполнения обратимых химических процессов путем проведения многократных циклов заряда с пропусканием электрических токов в направлении, противоположном обратному движению элементарных частиц при разряде.

К основным эксплуатационным параметрам аккумуляторов относят:

- Емкость;
- Плотность энергии;
- Саморазряд;
- Температурные и атмосферные режимы;
- Тип.



Емкость аккумулятора определяется величиной заряда, который замеряется при отдаче энергии потребителям от полного заряженного состояния до минимально допустимой величины выходного напряжения.

В данной работе нам более всего подходят аккумуляторные батареи Гелевого типа.

Данный вид аккумуляторов является наилучшим вариантом, но довольно дорогим. Кроме того, срок их службы менее продолжительный относительно щелочных или кислотных аккумуляторных батарей. Но это компенсируется тем, что благодаря малому самозаряду, теряется меньшее количество энергии.

Основными преимуществами гелевых аккумуляторов являются:

1. Не требуют обслуживания;
2. Надежность (в случае пробоя корпуса электролит не вытечет);
3. При зарядке не выделяют ядовитые пары;
4. Относительно большой цикл заряда-разряда (10-12 лет);
5. Не требуют срочной подзарядки, в случае глубокого разряда;
6. Относительно небольшие потери.

К недостаткам гелевых аккумуляторных батарей можно отнести:

1. Чувствительность к входному напряжению;
2. Чувствительность к низким температурам;
3. Неустойчивы к коротким замыканиям.

Все недостатки и преимущества являются оптимальными для выбранного региона, за исключением температурной чувствительности.

#### **1.4. Анализ видов контроллеров солнечной батареи**

Для того чтобы обеспечить желаемое входное напряжение, режим зарядки аккумуляторных батарей, в фотоэлектрических системах используют контроллер заряда солнечных батарей. Также контроллеры служат для

увеличения выработки энергии солнечными батареями, без добавления солнечных панелей.

Существует три вида контроллеров солнечных батарей:

1. «On/Off», схема просто коммутирует солнечные батареи к аккумуляторам по величине напряжения на клеммах;

2. ШИМ (Широтно-импульсные преобразования) контроллеры – управляют силовым блоком для регулирования напряжения в определенном промежутке с помощью сигналов обратной связи;

3. МРРТ – контроллеры – устройства работающие также на основе широтно-импульсных преобразователей, но при этом отслеживая максимальную величину мощности, которую могут выдать солнечные панели.

Так, в данном случае нам необходимо задействовать МРРТ- контроллер, так как для солнечных батарей примерная точка максимальной мощности составляет 17,5 В. ШИМ - контроллер прекратил бы заряд на 14 В, что не позволило бы нам по максимуму использовать ресурс солнечной батареи.

#### **1.4.1. Контроллеры с широтно-импульсной модуляцией тока заряда**

Простейшие контроллеры просто отключают источник энергии (солнечную батарею), если напряжение на аккумуляторной батарее (АБ) достигло примерно 14,4 В (для АБ номинальным напряжением 12 В). При снижении напряжения на АБ до  $\approx 12,5$ –13 В снова подключается солнечная батарея, и заряд возобновляется. При этом максимальный уровень заряженности АБ составляет 60–70%. При регулярном недозаряде происходит резкое сокращение срока службы АБ. Современные контроллеры на завершающей стадии заряда используют так называемую широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) тока заряда. При этом возможен заряд АБ до 100%. На рисунке 2 показаны четыре стадии заряда аккумуляторной батареи от солнечной батареи.

1) Заряд максимальным током. На этой стадии АБ получает весь ток, поступающий от солнечных панелей.

2) ШИМ-заряд. Когда напряжение на АБ достигает определенного уровня, контроллер начинает поддерживать постоянное напряжение за счет ШИМ-тока заряда. Это предотвращает перегрев и газообразование в аккумуляторе. Ток постепенно уменьшается по мере заряжения аккумуляторной батареи.

3) Выравнивание. Многие батареи с жидким электролитом улучшают работу при периодическом заряде до газообразования, при этом выравниваются напряжения на различных банках АБ, очищаются пластины и перемешивается электролит.

4) Поддерживающий заряд. Когда АБ полностью заряжена, зарядное напряжение уменьшается во избежание дальнейшего нагрева или газообразования в батарее, и она поддерживается в заряженном состоянии.

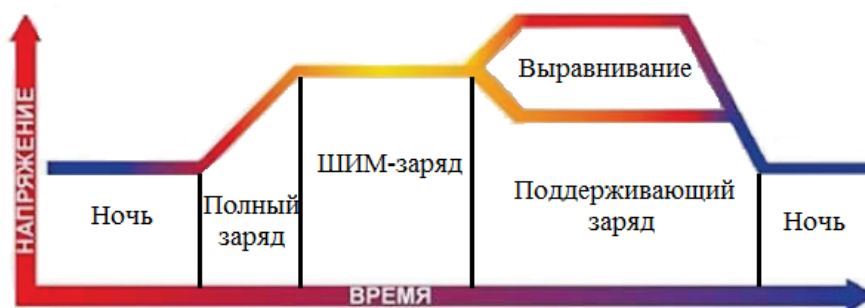


Рисунок 3. Стадии заряда аккумуляторной батареи от солнечной панели (ШИМ).

#### **1.4.2. Контроллер со слежением за точкой максимальной мощности**

Одним из вариантов увеличения выработки энергии солнечными батареями без добавления солнечных панелей является установка солнечного контроллера с технологией «Maximum Power Point Tracker» (MPPT) - слежением за точкой максимальной мощности (ТММ) солнечной батареи. Типичный MPPT-

контроллер постоянно отслеживает ток и напряжение солнечной батареи, перемножает их значения и определяет пару ток-напряжение, при которых мощность солнечной батареи будет максимальной. Встроенный процессор также следит, на какой стадии заряда находится аккумуляторная батарея (наполнение, насыщение, выравнивание, поддержка), и на основании этого определяет, какой ток должен подаваться на неё. Одновременно процессор может давать команды на индикацию параметров на табло (при наличии), хранение данных, и т.п. Точка максимальной мощности может вычисляться разными способами, следовательно, методов поиска точки максимальной мощности (ТММ) довольно много. Существует большое множество MPPT-контроллеров, поэтому разберем отдельно самые основные.

### **1.4.3. Метод постоянного напряжения (Constant voltage)**

Данный метод наиболее распространен и прост, поэтому в различных зарубежных статьях он трактуется практически одинаково.

Путем регулирования выходного напряжения фотоэлектрического модуля можно изменять рабочую точку - точку максимальной мощности, но при условии, что выходное напряжение не должно выходить за пределы опорного напряжения, которое устанавливается равным напряжению в точке максимальной мощности.

Опорное напряжение близко к напряжению в точке максимальной мощности вследствие этого влияние изменения уровня освещенности и температуры незначительно. Так как уровень освещенности практически не влияет на величину напряжения, данный метод наиболее эффективен в условиях низкой освещенности. Но в то же время при резком изменении температуры опорное напряжение может изменяться, поэтому данный метод является не совсем точным и возникают потери энергии.

Также для достижения напряжения близкого к опорному используют циклическую фиксацию напряжений:

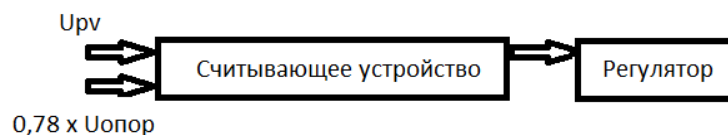


Рисунок 4. Блок схема регулятора напряжения

Суть метода заключается в циклическом измерении датчиком напряжения фотоэлектрической панели и сравнение с опорным напряжением, в зависимости от разницы напряжений регулятор изменяет  $U_{пр}$ , тем самым отслеживая точку максимальной мощности. [10]

#### 1.4.4. Метод тока короткого замыкания (Short current)

Данный метод практически аналогичен методу постоянного напряжения, за исключением того, что в нем используется зависимость величин токов и для реализации процесса приходится замыкать цепь солнечной батареи. Точка максимальной мощности фотоэлектрического модуля лежит в пределах от 78% до 92% от значения тока короткого замыкания [11]. Это в свою очередь приводит к увеличению потерь, относительно метода постоянного напряжения. Именно поэтому данный метод менее эффективен и довольно редко используется.

#### 1.4.5. Метод нечеткой логики (Fuzzy logic)

Данный метод представляет собой набор сложных логических операций. Помимо известных логических утверждений - 1(истина) 2(ложь) существует понятие частичной истинности, которое находится в диапазоне между абсолютно достоверной и абсолютно ложной.

Применение нечеткой логики подразумевает использование нечетких характеристик, описывающих систему, вместо четких, но не всегда однозначных параметров. При этом некоторая характеристика объекта описывается лингвистической переменной, принимающей значение из множества нечетких терминов, каждый из которых задает состояние некоторой характеристики объекта. Решение состоит из четырех основных стадий: фазификации(приведения к нечеткости), логического вывода решения из

множества нечетких правил вывода, композиции решения и дефазификации(приведения обратно к четкости).

Формула данного метода заключается в нахождении ошибки контроллера ( $E_{\text{контр.}}$ ) и изменение ошибки ( $SE_{\text{контр.}}$ ) относительно  $K$ -ой итерации.

$$E(K) = \frac{P_{\text{фэ}}(K) - P_{\text{фэ}}(K-1)}{I_{\text{фэ}}(K) - I_{\text{фэ}}(K-1)} \quad (1);$$

$$SE(K) = E(K) - E(K-1) \quad (2);$$

где  $P$  – мощность фотоэлектрической панели,

$I$  – ток фотоэлектрической панели;

Так, если  $E(K) = 0$ , то данным значениям тока и мощности будет соответствовать точка максимальной мощности.

Приведенный ниже рисунок показывает принадлежность пяти нечетких подмножеств, с целью ввода и вывода искомой переменной.

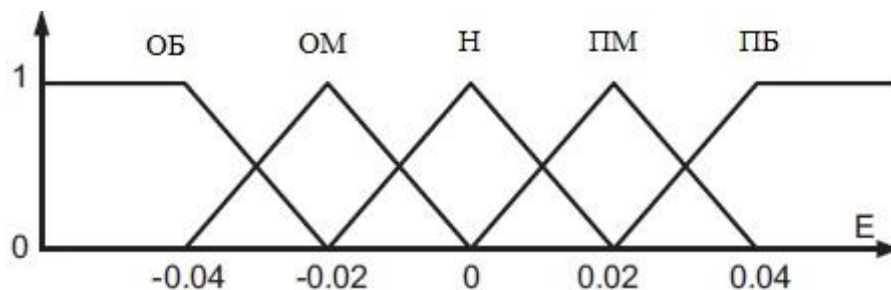


Рисунок 5. График принадлежности функций.

Входная переменная, ток и напряжение выражаются в терминах:

ОБ – Отрицательный большой;

ОМ – Отрицательный маленький;

Н – Ноль;

ПМ – Положительный маленький;

ПБ – Положительный большой.

Контроллер разработан таким образом, в котором входная переменная  $E$  должна быть всегда равна нулю. Это и является основным условием поиска точки максимальной мощности. [12]

Преимуществом данного метода является то, что он наиболее точен и минимально зависит от изменений уровня освещенности системы. Недостатком является цена, сложность разработки и зависимость от компетенции пользователя, так как требует точной настройки, но данный метод особо популярен несмотря на свою сложность.

#### **1.4.6. Температурный метод**

Данный метод так же аналогичен методу постоянного напряжения. Исходными данными метода являются напряжение и температура панели.

$$V_{\text{тмм}}(t) = V_{\text{тмм}}(T_{\text{ст}}) + K_T(T - T_{\text{ст}}); \quad (3)$$

где  $V_{\text{тмм}}$  – напряжение точки максимальной мощности;

$T$  – рабочая температура панели;

$K_T$  – температурный коэффициент панели;

$T_{\text{ст}}$  – стандартная тестовая температура.

Так как температура панели зависит от освещенности и температуры окружающей среды, которая в свою очередь пропорциональна току короткого замыкания, процесс нахождения точки максимальной мощности заключается в одновременном измерении температуры панели и выходного напряжения. В итоге по результатам измерений значение напряжения в точке максимальной мощности находится с помощью уравнения (3).

Основными преимуществами данного метода является простота реализации и то, что не требует сложных схем расчета точки максимальной мощности. [11]

Недостатком данного метода является необходимость частого измерения напряжения и температуры, так как частота измерения зависит на эффективность. Также в расчетах присутствует определенный уровень погрешности.

### 1.4.7. Метод постепенно возрастающей проводимости (Incremental conductance)

Для более наглядного объяснения метода приведен алгоритм (Рисунок б)

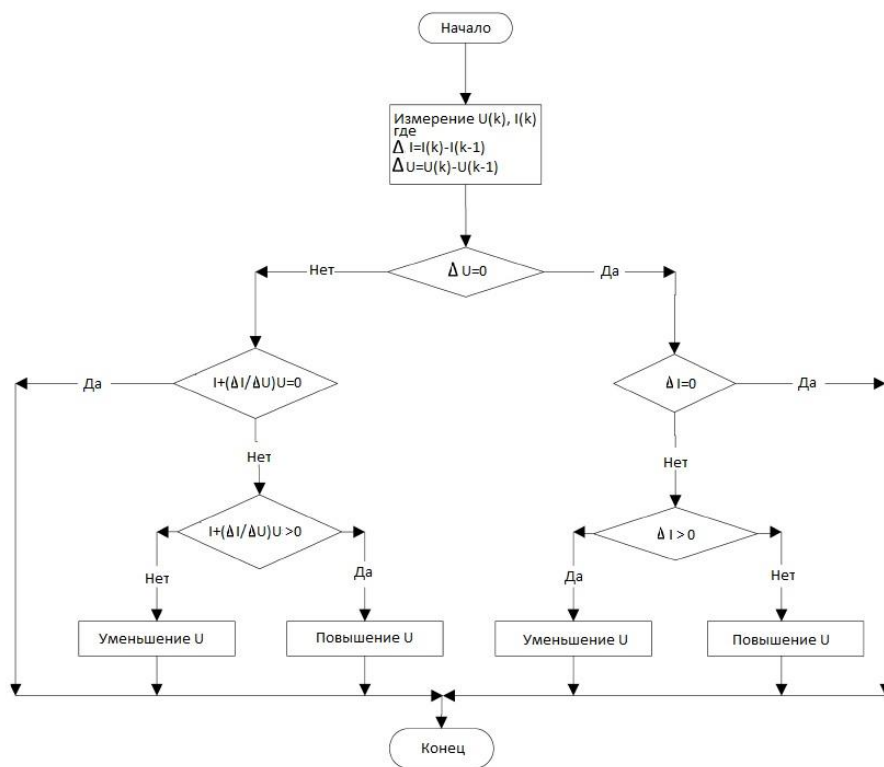


Рисунок 6. Блок схема метода возрастающей проводимости.

В данном методе проводится периодическое полное сканирование всей вольт-амперной характеристики солнечной батареи. С момента нахождения рабочей точки фотоэлектрического модуля и до следующего полного сканирования контроллер ищет и вычисляет колебания мощности солнечной батареи и сдвигает рабочую точку на новое напряжение, при котором мощность больше. Практически во всех контроллерах применяется именно этот метод. [13]



Недостатком его считается постоянная необходимость проводить измерения, во время которых генерация энергии от панелей прерывается, также содержит довольно сложные расчеты.

Главное преимущество данного метода состоит в том, что он с высокой точностью может определить точку максимальной мощности, даже в непостоянных климатических условиях.

#### **1.4.8. Метод напряжения холостого хода (Open voltage)**

Данный алгоритм основан на фиксировании зависимости напряжения в точке максимальной мощности от напряжения холостого хода. Данная зависимость имеет линейный вид.

$$K = U_{ТММ}/U_{ХХ}$$

Коэффициент  $K$  определяет точку максимальной мощности, при условии что  $K \sim 0,76$ . Так же величина коэффициента зависит от типа и материала солнечных панелей, что является основным недостатком.

Преимуществом данного метода является максимально простая реализация. Алгоритм данного метода схож с методом возрастающей проводимости, за исключением того, что в рассматриваемом методе рассчитывается выходное опорное напряжение солнечной батареи с последующей фиксацией мощности, при которой выходное напряжение будет соответствовать опорному. Данный алгоритм также выполняется циклически с определенным промежутком времени. [14]

Такой метод хорош там, где нет облаков и затенения панелей. Преимущества – высокая скорость работы, практически нет прерывания генерации на измерения.

#### **1.4.9. Метод случайных возмущений (Perturb and observe)**

Назначается любое напряжение, которое контроллер будет поддерживать. Никаких измерений и вычислений он уже не делает, то есть

работает постоянно. Недостаток – выбранное напряжение может быть далеко от реальной ТММ. Однако, если точно известно, при каком напряжении батарея вырабатывает максимальную мощность, и солнечная батарея работает практически постоянно при ясном небе, то можно использовать и этот метод.

При запуске системы нужно задать напряжение, которое контроллер будет поддерживать, которое в свою очередь вычисляется по параметрам конкретной солнечной батареи. Положение ТММ зависит от освещенности панелей, температуры, разнородности используемых панелей и т.д. Контроллер периодически пытается немного «отойти» от найденной на предыдущей стадии точки в обе стороны, и если мощность при этом увеличивается, то он переходит на работу в этой точке. [12]

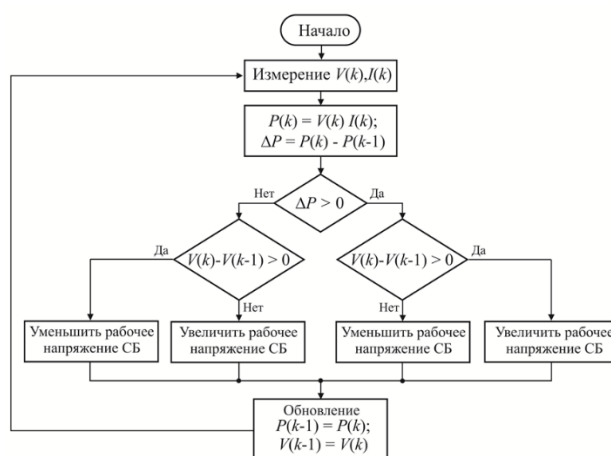


Рисунок 7. Блок-схема метода случайных возмущений.

Главный недостаток метода - это сильная зависимость от уровня температуры фотоэлектрических модулей. В такие моменты точка максимальной мощности может быть ниже напряжения на АБ. Но при этом потери энергии компенсируются высокой эффективностью модулей, достигаемой данным контроллером.

Все вышеперечисленные методы имеют свои преимущества и недостатки в зависимости от погодных условий, методики отбора мощности.

Для того, чтобы достоверно определить зависимость того или иного метода от уровня инсоляции, разработки наглядной методики выбора компонентов фотоэлектрической и построим ее математическую модель.

## 2. Математические модели компонентов автономной фотоэлектрической станции

Как было сказано выше объектом исследования данной работы является автономная ФЭС. Для разработки методики необходимо построить математическую модель всех компонентов автономной фотоэлектрической станции. Система состоит из элементов, показанных на рисунке 8.

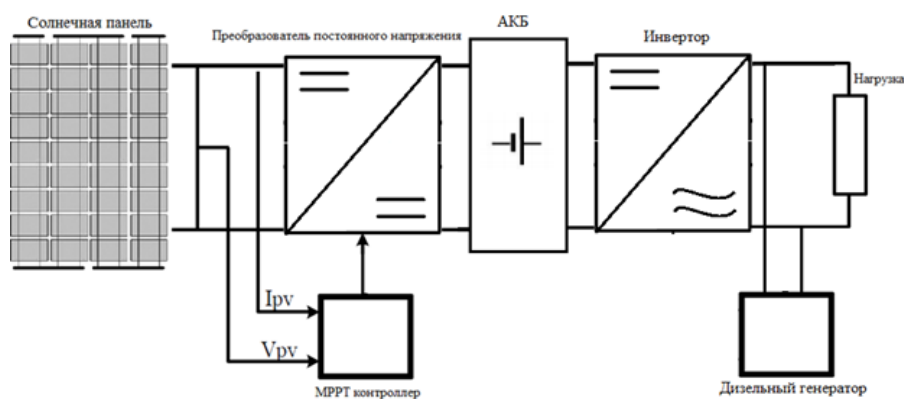


Рисунок 8. Структура автономной фотоэлектрической станции.

Разберем каждый компонент системы отдельно. Для построения моделей используем программный комплекс Microsoft Excel.

### 2.1. Модель потребителя электрической энергии

Для того, чтобы создать максимально близкую к реальности модель фотоэлектрической станции нам необходимо определить величину нагрузки потребителей.

Расчетная электрическая мощность автономного объекта электроснабжения определяется по известным методикам. Так, если в качестве объекта электроснабжения выступает предприятие, то можно использовать метод упорядоченных диаграмм. Если же объектом выступает жилое здание, то можно воспользоваться методом коэффициента спроса.

Расчетную активную мощность (кВт) каждой группы электроприемников определяют по формуле:

$$\sum P_p = \sum P_y \cdot K_c; \quad (4)$$

$K_c$  – коэффициент спроса, зависящий от величины заявленной мощности в квартире.

Для построения типовых суточных графиков активной мощности, данные которых основаны на многолетних экспериментальных исследованиях жилых домов используется методика вероятностных характеристик нагрузок [2].

Математическое ожидание и дисперсии представляют основные вероятностные характеристики электрических нагрузок потребителей. С помощью этих характеристик определяют расчетные электрические нагрузки. С этой целью используют известные теоремы сложения математических ожиданий и сложения дисперсий.

Рассматривая электрические нагрузки как случайные величины, можно для математического ожидания суммарной активной нагрузки  $n$  потребителей записать:

$$\bar{P}_\Sigma = \sum_{i=1}^n \bar{P}_i; \quad (5)$$

где  $\bar{P}_i$  - математическое ожидание активной нагрузки  $i$ -го потребителя;

Расчетная активная нагрузка определяется:

$$P = \bar{P}_\Sigma + \beta \cdot \sqrt{D_\Sigma \cdot (P)}; \quad (6)$$

В итоге, зная математическое ожидание и коэффициенты вариации, можно определить средние квадратические отклонения и дисперсии нагрузок в каждый час суток соответствующего сезона. Используя теоремы сложения математических ожиданий и дисперсий, по изложенной методике можно найти для каждого часа расчетные нагрузки с известными типовыми графиками.

Используя типовые графики произведем расчет нагрузок потребителей. Для расчетов примем активную нагрузку равную 12,88 о.е.

В таблице 1 приведены данные для зимнего, весеннего, летнего и осеннего периода. Графическое изображение суточного изменения нагрузок приведено на рисунках 9-12.

Таблица 1. Суточные графики активных нагрузок в различные сезоны

года

t	<i>Зима</i>		<i>Весна</i>		<i>Лето</i>		<i>Осень</i>	
	<b>Р%</b>	<b>Р о.е.</b>	<b>Р%</b>	<b>Р о.е.</b>	<b>Р%</b>	<b>Р о.е.</b>	<b>Р%</b>	<b>Р о.е.</b>
1	25	3,22	25	3,22	20	2,58	25	3,22
2	25	3,22	25	3,22	20	2,58	25	3,22
3	25	3,22	25	3,22	20	2,58	25	3,22
4	25	3,22	25	3,22	20	2,58	25	3,22
5	25	3,22	25	3,22	25	3,22	25	3,22
6	35	4,51	35	4,51	30	3,86	35	4,51
7	50	6,44	45	5,8	40	5,15	45	5,80
8	60	7,73	50	6,44	45	5,8	55	7,08
9	40	5,15	40	5,15	40	5,15	40	5,15
10	30	3,86	30	3,86	30	3,86	30	3,86
11	30	3,86	30	3,86	30	3,86	30	3,86
12	35	4,51	35	4,51	30	3,86	35	4,51
13	40	5,15	40	5,15	35	4,51	40	5,15
14	30	3,86	30	3,86	30	3,86	30	3,86
15	30	3,86	30	3,86	30	3,86	30	3,86
16	30	3,86	30	3,86	30	3,86	30	3,86
17	40	5,15	30	3,86	30	3,86	30	3,86
18	70	9,02	40	5,15	30	3,86	40	5,15
19	100	12,88	50	6,44	35	4,51	70	9,02
20	95	12,24	70	9,02	40	5,15	100	12,88
21	70	9,02	100	12,88	70	9,02	85	10,95
22	50	6,44	20	2,58	100	12,88	60	7,73
23	35	4,51	50	6,44	60	7,73	40	5,15
24	30	3,87	30	3,86	25	3,22	30	3,86

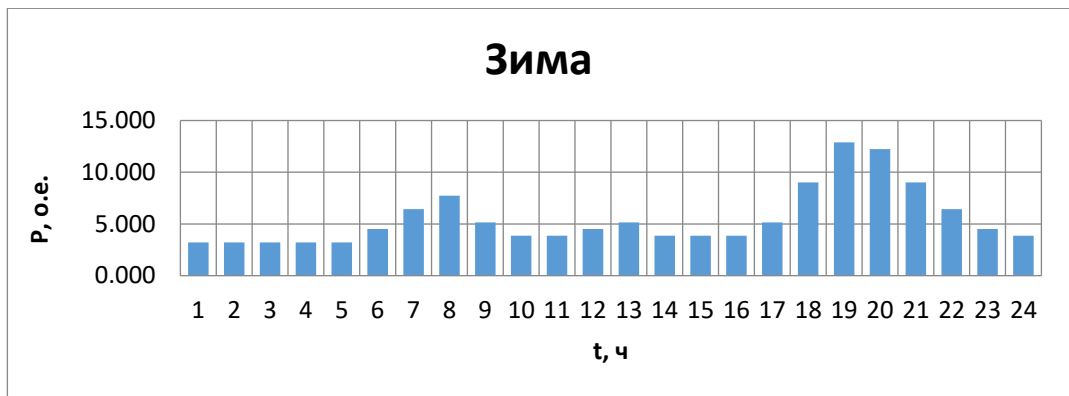


Рисунок 9. График активной мощности в зимний период

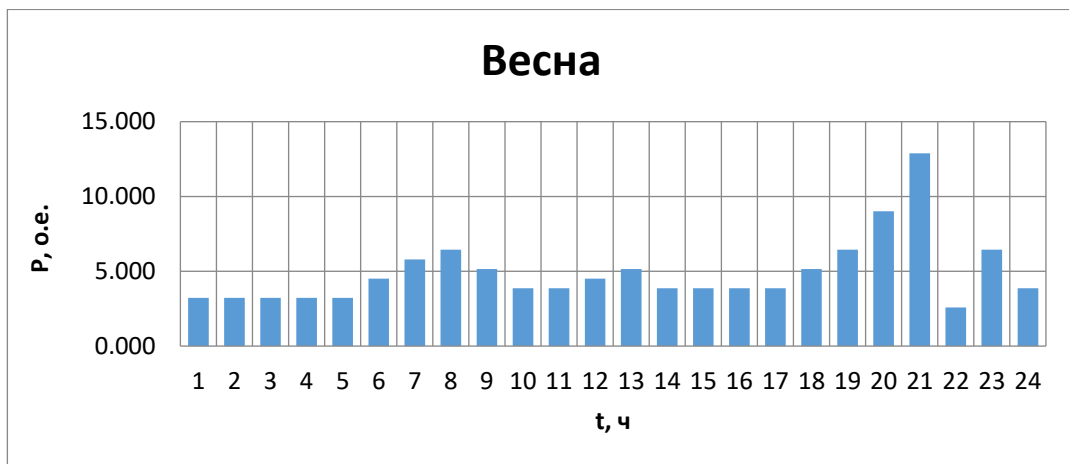


Рисунок 10. График активной мощности в весенний период

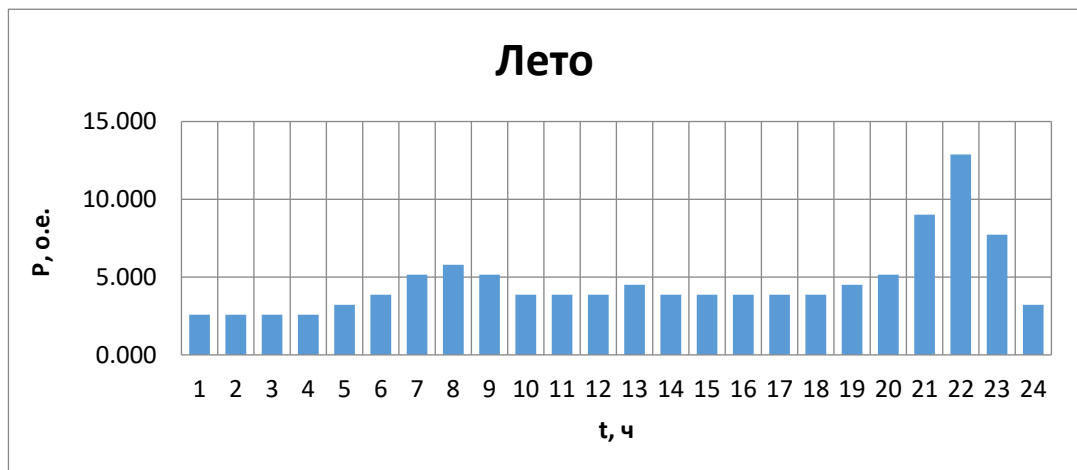


Рисунок 11. График активной мощности в летний период

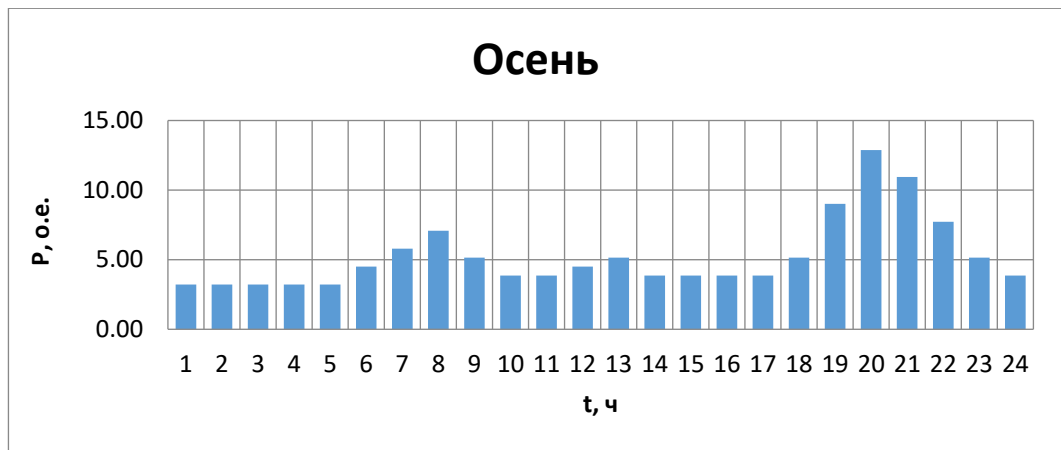


Рисунок 12. График активной мощности в осенний период

Расчет суточного потребления активной энергии производится по формуле:

$$W_{\text{сут}} = \sum P_i t_i; \quad (7)$$

## 2.2. Модель солнечной батареи

Для моделирования солнечной батареи возьмем модель фотоэлектрического модуля из стандартной библиотеки Simulink – Simscape. Ниже представлена типичная схема замещения фотоэлектрического модуля.

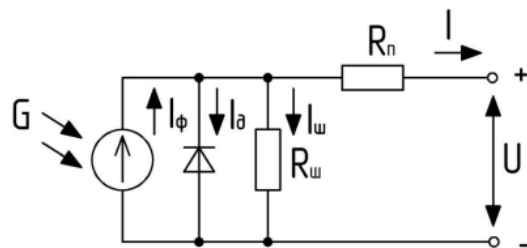


Рисунок 13. Классическая эквивалентная схема замещения СЭ.

$$I = I_{\Phi} - I_D \left( \exp \frac{q(U + I \cdot R_{\Pi})}{AkT} - 1 \right) - \frac{U + I \cdot R_{\Pi}}{R_{\text{ш}}}; \quad (8)$$

где:

- $I_{\Phi}$  - фототок;

- $I_D$  – обратный ток насыщения параллельно включенного диода, моделирующего p-n-переход;
- $R_{п}$  - последовательное сопротивление, которое характеризует внутреннее сопротивление элемента и контактов;
- $R_{ш}$  - сопротивление шунта;
- $I$  - рабочий ток;
- $V$  – рабочее напряжение;
- $q$  – заряд одного электрона ( $1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл);
- $A$  - коэффициент, полученный при сравнении теоретической и экспериментальной ВАХ, зависит от физических свойств материалов, которые используются для производства фотоэлектрических элементов и толщины p-n-перехода, принимается равным от 1 до 5;
- $k$  – постоянная Больцмана ( $1,380662 \cdot 10^{-23}$  Дж/К);
- $T$  – температура перехода в градусах Кельвина.

Излучение поглощается в p -области и генерирует в ней электронно-дырочные пары, образующиеся вблизи p-n-перехода. Электроны (не основные носители в p -области) перебрасываются контактным полем в n -область, заряжая ее отрицательно. Подавляющая часть дырок не способна преодолеть потенциальный барьер и остается в p - области, заряжая ее положительно. Электрическое поле контакта пространственно разделяет отрицательные электроны и положительные дырки, образующиеся под действием света. Вследствие этого на переходе формируется прямое смещение  $U$ , понижающее потенциальный барьер на величину  $qU$ , где  $q$  - заряд электрона по модулю. Перемещение электронов через p-n-переход создает ток  $-I_{ф}$ , называемый первичным фототоком, которому, как и току не основных носителей, приписывают отрицательный знак.

Выходной ток прямо пропорционален энергии солнечного излучения. Существует небольшой температурный коэффициент, порядка нескольких миллиампер на один градус Цельсия для учета разницы температур.



$$I_{\Phi} = (G, T) = I_{scs} \cdot \frac{G_a}{G_{as}} + \alpha_{scT}(T - T_s); \quad (9)$$

Где:

$I_{scs}$  – ток короткого замыкания при нормальных условиях работы;

$G_a$  – солнечное излучение (Вт/м<sup>3</sup>);

$G_{as}$  – солнечное излучение при нормальных условиях работы (1000 Вт/м<sup>3</sup>);

$\alpha_{scT}$  – температурный коэффициент тока короткого замыкания;

$T$  – температура батареи (°C);

$T_s$  – температура батареи при стандартных тестовых условиях (25°C);

Выходное напряжение холостого хода для данных условий окружающей среды рассчитывается следующим образом:

$$V_{oc}(G, T) = \frac{AkT}{q} \ln\left(\frac{I_{\Phi}}{I_D} + 1\right); \quad (10)$$

Обратный ток насыщения диода:

$$I_D(G, T) = \frac{I_{ph}(G, T)}{\frac{V_{ocT}}{[e^{(e^{V_t(T)})} - 1]}}; \quad (11)$$

$$V_t(T) = \frac{AkT}{q}; \quad (12)$$

Ток короткого замыкания зависит от ряда параметров, описанных ниже:

- Площадь СЭ. Обычно вместо тока короткого замыкания рассматривают плотность тока короткого замыкания ( $J_{sc}$  в мА/см<sup>2</sup>). Это позволяет не учитывать площадь СЭ.
- Число фотонов (то есть мощность падающего излучения). Ток короткого замыкания прямо зависит от интенсивности света.

- Спектр падающего излучения.
- Оптические свойства (поглощение и отражение) СЭ.
- Вероятность разделения носителей в СЭ, которая зависит главным образом от поверхности и времени жизни неосновных носителей в базе.

$$I_{SC} = q \cdot G(L_n + L_p); \quad (13)$$

где  $G$  - скорость генерации,

$L_n$  и  $L_p$  диффузионная длина электронов и дырок соответственно.

Хотя это уравнение использует некоторые допущения, не выполняющиеся в большинстве реальных СЭ, оно показывает, что ток короткого замыкания сильно зависит от скорости генерации и диффузионной длины.

Напряжение в точке максимальной мощности:

$$V_{MP} = V_{OC} - \frac{AkT}{q} \ln\left(\frac{I_{mp}}{AkT/q} + 1\right); \quad (14)$$

Величину тока, протекающего через элемент Рш, можно получить воспользовавшись законом Ома:

$$I_{III} = \frac{U - IR_{II}}{R_{III}}; \quad (15)$$

В силу того, что КПД солнечной панели зависит от формы его ВАХ, параметры панели, входящие в уравнение ВАХ, определяют эффективность панели.

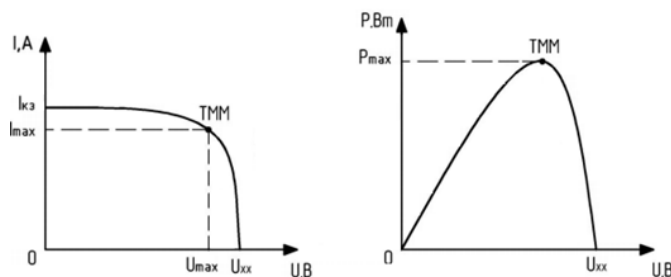


Рисунок 14. Типовые ВАХ и ВВХ фотоэлектрических панелей

Фотоны, энергия которых недостаточна для внутреннего фотоэффекта, не дают вклада в электрическую энергию. Некоторые пары электрон - дырка рекомбинируют и не дают вклада в фототок. Мощность теряется при прохождении тока через объемное сопротивление полупроводника. Поэтому в некоторых случаях происходит падение КПД.

### 2.3. Модель солнечной инсоляции

Рассматриваемый объект находится в городе Новосибирск, координаты которого равны – 55°1' северной широты, 82°55' восточной долготы.

При вычислении солнечной радиации, поступающей на какую-либо наклонную плоскость, принимают во внимание три составляющие радиационного баланса:

$$Q_{\text{накл}} = S_{\text{накл}} + D_{\text{накл}} + R_{\text{накл}}; \quad (16)$$

где  $Q_{\text{накл}}$  – суммарная солнечная радиация, падающая на наклонную поверхность, Вт/м<sup>2</sup>;

$S_{\text{накл}}$  – прямое солнечное излучение, падающее на наклонную поверхность, Вт/м<sup>2</sup>;

$D_{\text{накл}}$  – рассеянная солнечная энергия, падающая на наклонную поверхность, Вт/м<sup>2</sup>;

$R_{\text{накл}}$  – излучение, отраженное от поверхности Земли, Вт/м<sup>2</sup>.

Отраженное от поверхности Земли и падающее на наклонную плоскость излучение  $R_{\text{накл}}$  пренебрежимо мало в теплое время года, при отсутствии снежного покрова им можно пренебречь.

Оценку уменьшения интенсивности солнечной радиации за счет влияния облачности на поток суммарной солнечной радиации выполняют путем введения эмпирических коэффициентов в предыдущее выражение, получая формулу:

$$Q_{\text{накл.обл}} = (S_{\text{накл}} + D_{\text{накл}}) \cdot (1 - (a + b \cdot n) \cdot n); \quad (17)$$

где  $n$  – количество облаков в долях единицы, определенное для каждого сезона на сайте [];

$b$  – коэффициент, который можно считать постоянным и равным 0,38;  
 $a$  – коэффициент, зависящий от сред (суша или море) и от широты местности [2].

Значение  $S_{накл}$  находят по формуле:

$$S_{накл} = S_{орт} \cdot \cos \theta; \quad (18)$$

где  $S_{орт}$  – прямое солнечное излучение на ортогональную лучам плоскость, Вт/м<sup>2</sup>;

$\cos \theta$  – косинус угла падения прямого солнечного излучения на любую плоскость.

Значение  $S_{орт}$  находят по формуле Кастрова:

$$S_{орт} = \frac{S_0 \cdot \sin \alpha}{\sin \alpha + c}; \quad (19)$$

где  $S_0$  – солнечная постоянная, равная 1395 Вт/м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – высота Солнца;

$c$  – величина, характеризующая степень прозрачности атмосферы.

$\cos \theta$  определяют по формуле:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos s - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin s \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos s \cdot \cos \omega + \\ & + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin s \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin s \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega; \quad (20) \end{aligned}$$

где  $\varphi$  – географическая широта местности, рад;

$\delta$  – склонение Солнца, рад;

$s$  – угол наклона плоскости к горизонту, рад;

$\omega$  – часовой угол, рад;

$\gamma$  – азимутальный угол плоскости, принят  $\gamma = 0$  (ориентация плоскости строго на юг).

Значение склонения  $\delta$  (рад) оценим приближенно по формуле Купера:

$$\delta = 0,41 \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{284 + N}{365}\right); \quad (21)$$

где  $N$  – порядковый номер дня в году, отсчитываемый от 1 января.

Рассеянная солнечная радиация, поступающая на наклонную плоскость, определяется по выражению:

$$D_{накл} = D_{гор} \cdot \left(0,55 + 0,434 \cdot \cos \theta + 0,343 \cdot (\cos \theta)^2\right); \quad (22)$$

где  $D_{гор}$  – поток рассеянной солнечной энергии (Вт/м<sup>2</sup>) на горизонтальную плоскость ( $s = 0$ ), определяемый по формуле Берлаге:

$$D_{гор} = \frac{1}{3} \cdot (S_0 - S_{opt}) \cdot \sin \alpha; \quad (23)$$

Алгоритм:

1. По формуле (21) находим значение склонения Солнца.
  2. По формулам (22) и (20) определяем высоту Солнца и угол падения прямого солнечного излучения на площадку при различных углах наклона плоскости к горизонту.
  3. Выбираем оптимальный угол наклона плоскости к горизонту из условия максимального поступления солнечной радиации в ясную погоду.
  4. По формуле (17) с учетом зависимостей (18), (19), (22), (23) находим плотность потока суммарной солнечной радиации, падающей на наклонную площадку в ясную погоду при различных углах наклона площадки к горизонту.
- [3]

#### **2.4. Модель понижающего преобразователя напряжения**

Как известно в состав контроллера входит преобразователь постоянного напряжения. Принцип работы преобразователя заключается в том, что он увеличивает или уменьшает величину входного напряжения, но как правило используется понижающий преобразователь, который состоит из фильтрующего конденсатора, высокочастотного коммутатора, разрядного диода и LC-фильтра.

На рисунке 19 представлена базовая схема понижающего преобразователя.

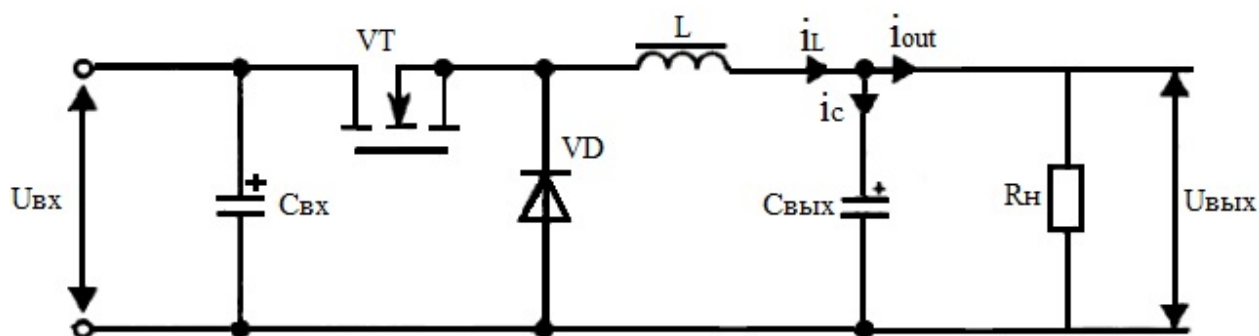


Рисунок 15. Принципиальная схема понижающего преобразователя напряжения

Входное напряжение  $U_{вх}$  подается на входной фильтрующий конденсатор  $C_{вх}$ . Элемент VT является ключевым в данной схеме, в качестве него может быть использован транзистор любого типа, который в свою очередь осуществляет высокочастотную коммутацию. Также в схеме необходимы разрядный диод VD, дроссель L и конденсатор  $C_{вых}$ . Два последних элемента образуют выходной LC-фильтр.

Ключевой элемент может находиться только в двух состояниях – полной проводимости и отсечки. Если эти состояния сменяют друг друга с постоянной периодичностью, то обозначив время нахождения ключа в проводящем состоянии – как время проводимости, а время нахождения ключа в состоянии отсечки – время паузы, то образуется зависимость, которую можно назвать коэффициентом заполнения:

$$D = \frac{t_u}{t_u + t_n} = \frac{t_u}{T}; \quad (24)$$

где,  $t_u$  – время периодичности,

$t_n$  – время паузы,

T – периодичность;

Таким образом управляя коэффициентом заполнения, при наличии сглаживающего фильтра, то есть изменяя длительность открытого состояния ключа, мы можем без затруднений отрегулировать напряжение на нагрузке.

$$U_{\text{out}} = \frac{t_u}{T} \cdot U_{\text{in}} = D \cdot U_{\text{in}}; \quad (25)$$

Итак, после преобразования напряжения до необходимого уровня, нам необходимо разобраться с контроллером поиска точки максимальной мощности. Известно, что точка максимальной мощности изменяется с увеличением солнечных лучей, поэтому данная точка является основой эффективного управления фотоэлектрической панелью, в которой выходная мощность достигает максимума, как показано на рисунке 16.

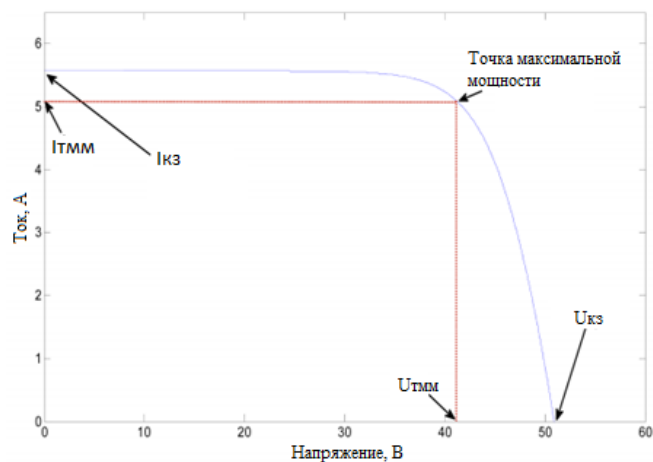


Рисунок 16. ВАХ солнечной батареи.

С помощью данной математической модели можно довольно достоверно построить компьютерную модель с целью подробной реализации методики выбора необходимого контроллера, для заданной системы. Для достижения максимальной эффективности, необходимо использовать вышеописанную методику отслеживания точки максимальной мощности, то есть алгоритм обеспечения оптимальной выходной мощности фотоэлектрических станций в различных рабочих точках.

Основной целью контроллера является обеспечение желаемых выходных параметров солнечной батареи (напряжение, мощность, ток) при заданных входных (уровень инсоляции, температура солнечной батареи). Для более точного анализа работы контроллеров, наглядного определения параметров

солнечной батареи реализуем компьютерную модель автономной фотоэлектрической системы в программном комплексе MATLAB Simulink.

### 3. Выбор и моделирование элементов автономной фотоэлектрической станции

В данном разделе производим выбор реальных компонентов фотоэлектрической станции с последующей реализацией компьютерной модели автономной фотоэлектрической станции с различными видами контроллеров ПТТМ.

Цель данного раздела состоит в разработке методики выбора необходимого контроллера, имея заданные исходные данные.

Объектом исследования является загородный дом, площадью 175,2 м<sup>2</sup>, удаленный от централизованного электроснабжения. В качестве варианта автономного электроснабжения объекта рассматриваем питание коттеджа от солнечных батарей с применением аккумуляторов для запаса излишней энергии и использование дизель-генераторной установки для резервирования.

#### 3.1. Модель электрической нагрузки

Составим таблицу основных нагрузок, их мощность.

Таблица 2. Список основных нагрузок

Наименование электроприемников		Количество электро-приёмников	Номинал. мощность	Общая кВт	Кэфф. спроса	Кэфф. использ.	Расчетная мощность
Обозначение		шт.	P, кВт	P <sub>у</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	K <sub>и</sub>	P <sub>р</sub> =P <sub>у</sub> *K <sub>с</sub> , кВт
1	Электрическая плита	1,00	8,00	8,00	0,4	0,6	3,2
2	Посудомоечная машина	1,00	2,20	2,2	0,4	0,6	0,88
4	Розетки	15,00	0,50	7,5	0,6	0,4	4,5
5	Освещение	10,00	0,20	2	0,8	0,5	1,6
6	Холодильник	1,00	0,60	0,60	0,5	0,8	0,3
7	Телевизор, компьютер	2,00	0,50	1,00	0,6	0,6	0,6
9	Стиральная машина	1,00	2,00	2,00	0,4	0,6	0,8
10	Чайник	1,00	2,00	2,00	0,5	0,6	1
11	Итого			23,40			12,88



Годовое потребление энергии равно сумме всех месяцев, для этого используем данные таблицы 2. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Потребление электроэнергии

Сезон	W, кВт·ч	
	сутки	год
Зима	132,02	43817,79
Весна	117,21	
Лето	111,41	
Осень	126,22	

Модель электрических нагрузок в MATLAB представляется в виде блока Signal Builder, находящегося в библиотеке simulink/Sources и который позволяет создавать взаимозаменяемые группы источников кусочно-линейных сигналов и использовать их в качестве модели.

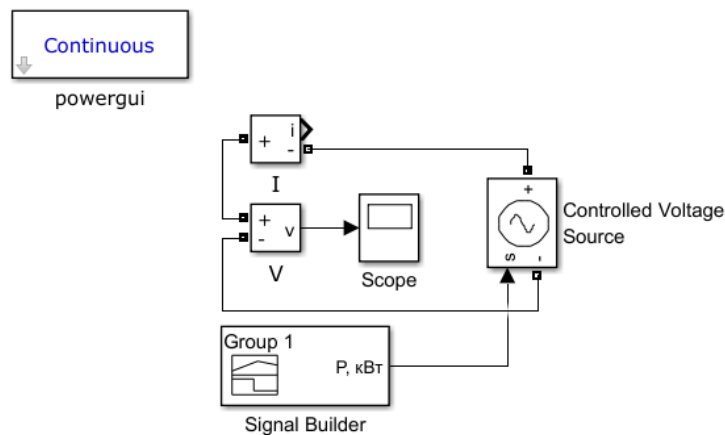


Рисунок 17. Блок Signal Builder

Ниже представлена модель нагрузок за весенний период в программном комплексе MATLAB Simulink:

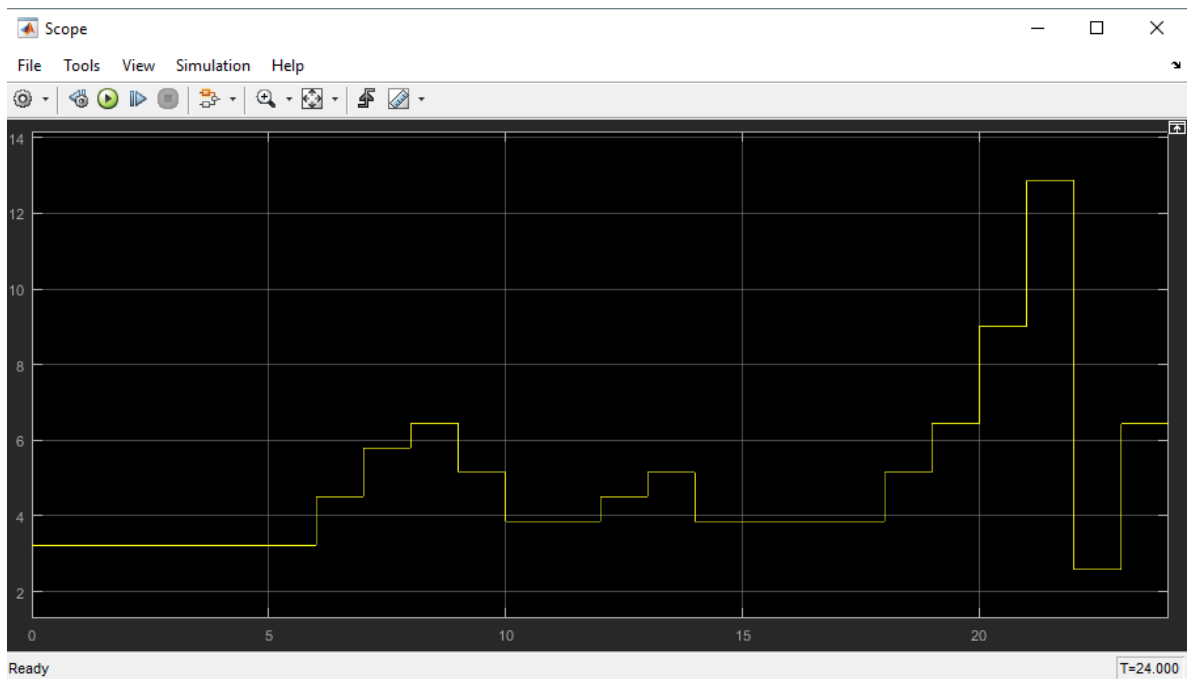


Рисунок 18. Модель электрических нагрузок

### 3.2. Модель солнечной батареи

Ниже представлен блок солнечного элемента в библиотеке MATLAB Simulink:

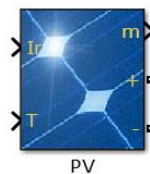


Рисунок 19. Модель фотоэлектрического модуля.

Данный блок реализует некоторое количество фотоэлектрических модулей. Массив построен из цепочек модулей, соединенных параллельно, и последовательно.

Данный блок включает в себя пять параметров, такие как:

- Источника тока  $I_L$ ;
- Ток насыщения диода  $I_0$ ;
- Последовательное сопротивление  $R_s$ ;
- Сопротивление шунта  $R_{sh}$ ;
- Коэффициент идеальности диода.

Сопротивления необходимы для представления уровня инсоляции и температуры.

Установлено, что интенсивность солнечного излучения оказывает влияние на величину выходного тока, а температура – на выходное напряжение солнечного элемента. Так, при уменьшении интенсивности светового потока в 2 раза ток короткого замыкания СЭ уменьшается в 2 раза, в то время как напряжение холостого хода изменяется незначительно. Существует температурный коэффициент, учитывающий разницу температур и составляющий порядка нескольких миллиампер на один градус Цельсия.

Моделирование солнечной панели производится с использованием элементов программы MATLAB Simulink, в соответствии с вышеописанными уравнениями (пункт 2.2). Компьютерная модель выполнена для кремниевой монокристаллической СП типа Soltech 1STH-250-WH, которая имеет следующие технические данные:

Таблица 4. Параметры солнечной панели.

Электрические характеристики	Значение
Номинальная мощность	250 Вт
Количество фотоэлементов	60
Мощность на единицу площади	152,9 Вт/м <sup>2</sup>
Максимальный КПД	15,29%
U <sub>хх</sub>	37,2 В
I <sub>кз</sub>	8,62
U <sub>тмм</sub>	30,2
I <sub>тмм</sub>	8,1
Температурный коэффициент I <sub>кз</sub> , %/С <sup>0</sup>	0.086998
Температурный коэффициент U <sub>хх</sub> , %/С <sup>0</sup>	-0,36901
Размер солнечного модуля, мм;	1652 x 990 x 50

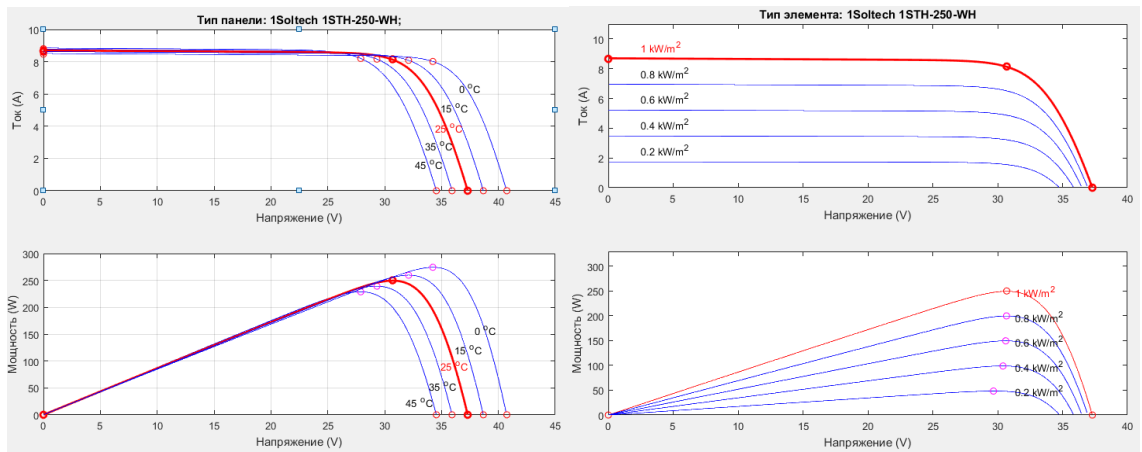


Рисунок 20. Характеристики панели Soltech 1STH-250-WH

Проверим достоверность каталожных данных одной панели, путем сравнения характеристик модели.

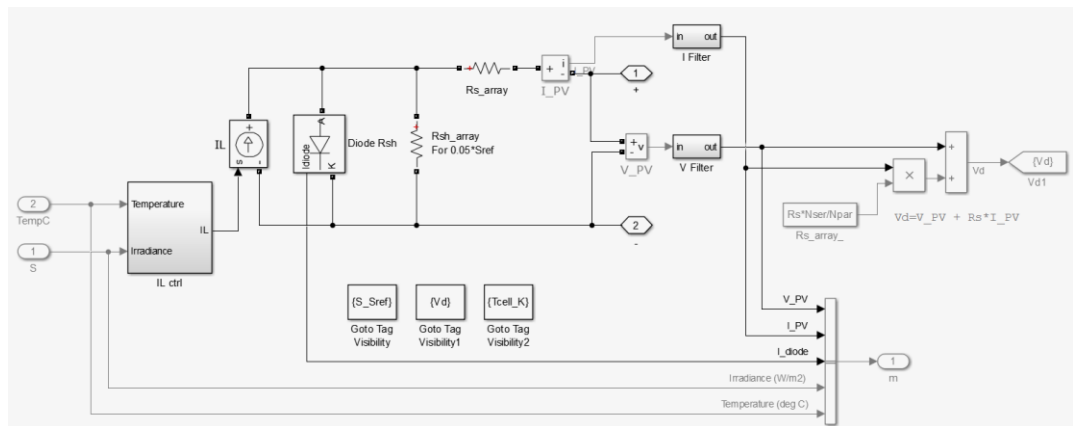


Рисунок 21. Развернутая модель фотоэлектрической панели

Суть блока  $I_L$  control заключается в нахождении фототока по известным значениям температуры, инсоляции, заряду электрона и току короткого замыкания.

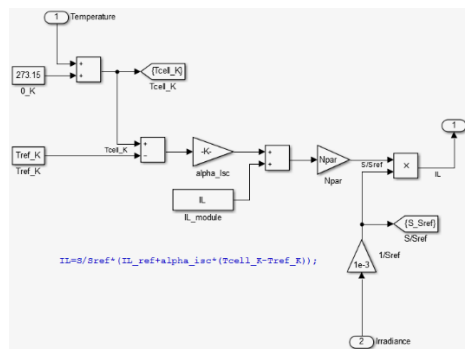


Рисунок 22. Модель подсистемы  $I_L$  control.

В роли источника фототока выступает блок контролируемый источник тока (*Controlled Current Source*). Подсистема *Diode Rsh* производит расчет обратного тока насыщения диода. Также на схеме присутствуют последовательное сопротивление, которое характеризует внутреннее сопротивление элемента и контактов. Сопротивление шунта и выходные фильтры для более точных выходных параметров панели.

Для того, чтобы проверить достоверность модели фотоэлектрического модуля сравним стандартные параметры панели, с показаниями приборов. В качестве нагрузки зададим блок *Ramp*, подключенный к источнику напряжения.

Блок *Ramp* формирует линейный сигнал вида:

$$y = \text{Slope} \cdot \text{time} + \text{Initial Value};$$

где, *Slope* – Скорость изменения выходного сигнала;

*Time* – Время начала формирования сигнала;

*Initial value* – Начальный уровень сигнала на выходе блока.

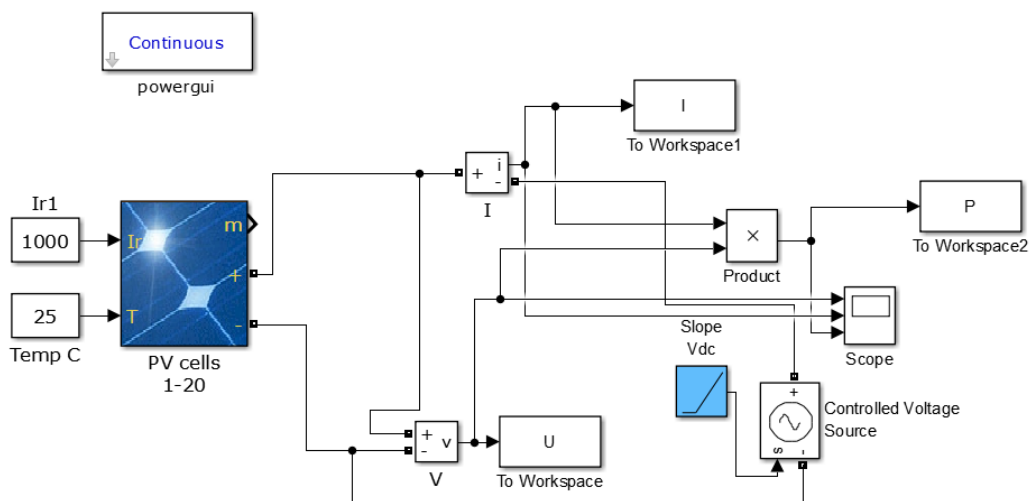


Рисунок 23. Модель фотоэлектрического модуля, с подключенной нагрузкой

Сравним полученные данные с каталожными:

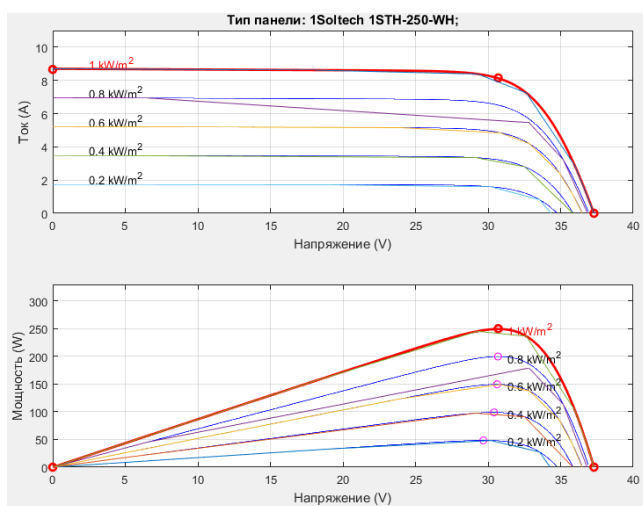


Рисунок 24. Сравнение характеристик панели при различных уровнях  
ИНСОЛЯЦИИ

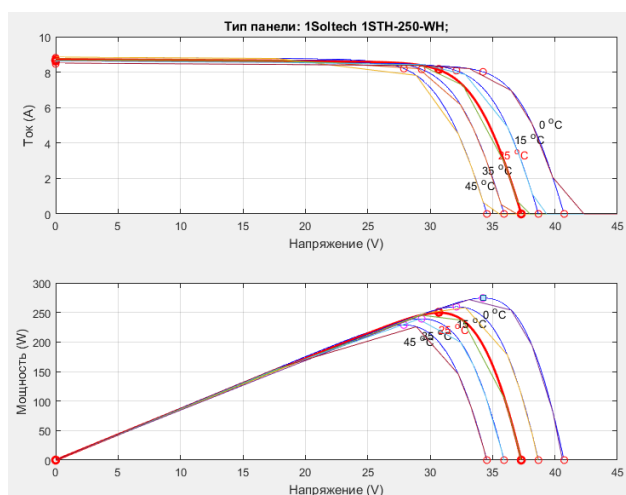


Рисунок 25. Сравнение характеристик панели при различных уровнях  
температуры

Из графиков видно, что каталожные данные панели соответствуют действительности.

Имея графики нагрузок и, соответственно, потребляемую электроэнергию объекта в каждый сезон года выберем тип и определим необходимое количество панелей.

Найдем площадь всех панелей:

Таблица 5 – Суточное потребление электроэнергии

Сезон	Зима	Весна	Лето	Осень
Суточное потребление электроэнергии кВт·ч	132,02	117,21	111,41	126,22

$$S_{СП} = \frac{W_p}{W_c \cdot \eta} = \frac{132,02}{5,177 \cdot 0,15 \cdot 0,95 \cdot 0,8} = 213,855 \text{ м}^2; \quad (26)$$

Где  $\sum \eta = \eta_{СБ} \cdot \eta_{АКБ} \cdot \eta_{INV}$ ;

$\lambda$  – суммарная инсоляция (кВт/м<sup>2</sup>);

$W_p$  - суточное потребление электроэнергии.;

$W_c$  - суточное поступление солнечной энергии на м<sup>2</sup>;

Таблица 6 – Площадь солнечных панелей

Сезон	Зима	Весна	Лето	Осень
Площадь солнечных панелей, м <sup>2</sup>	425,136	146,149	136,055	213,855

Приняв ранее монокристаллическую солнечную батарею модели 1Soltech 1STH-250-WH мощностью 250 Вт. [6] найдем площадь одной панели:

$$S_1 = 1652 \cdot 990 \cdot 10^{-6} = 1,635 \text{ м}^2; \quad (27)$$

Количество модулей, которые потребуются для ФЭУ:

$$n_{\text{солн пан}} = \frac{S_{СП}}{S_1} = \frac{136,055}{1,635} = 83,214; \quad (28)$$

Таблица 7 – Количество панелей для каждого сезона

Сезон	Зима	Весна	Лето	Осень
Количество панелей, шт	260,022	89,388	83,214	130,798

Учитывая, что общая площадь, где мы могли бы разместить солнечные панели, составит 175,2 м<sup>2</sup> (Площадь крыши объекта). Мы можем установить максимальное количество панелей:

$$N = \frac{S}{S_{\text{панели}}} = \frac{175,2}{1956 \cdot 990 \cdot 10^{-6}} = 90,293; \quad (29)$$

Выбираем к установке количество панелей равное 90 шт, рассчитаем какое количество энергии они могут выработать (пример для зимы):

$$P_{\text{фэу}} = \eta \cdot \lambda \cdot S = 0,15 \cdot 5,103 \cdot 175,2 = 134,107 \text{ кВтч}; \quad (30)$$

Сведем выбранное количество панелей в различные сезоны в таблицу.

Таблица 8–Выработанное солнечными панелями количество энергии

Сезон	Зима	Весна	Лето	Осень
Выработанное количество энергии кВт·ч	71,587	184,88	188,769	136,059

Для достижения необходимых выходных параметров фотоэлементов необходимо соединить панели в модули: 9 панелей последовательно по 6 шт параллельно.

### 3.3. Модель поступления солнечной радиации

Для определения оптимального угла наклона плоскости к горизонту с целью максимального поступления солнечной радиации в зависимости от сезона построим серию графиков  $Q_{\text{накл.обл}} = f(t)$  для всех четырех сезонов в программе MATLAB с учетом облачности.

Лето:

```
>> % Солнечная постоянная, Вт/м2
S0 = 1395;
% Номер дня 1-365
N = 132;
% Широта места, рад
Fi = (55.02/180)*pi;
% Азимут плоскости
Gm = 0; % 44*pi/180;
% Коэффициенты облачности
a = 0.386;
b = 0.38;
n = 0.4;
% Прозрачность атмосферы
c = 0.43;
% РАСЧЕТ ++++++
% Угол наклонения
Dl = 0.41*sin(2*pi*(284+N)/365);
Dl_grad = 180*Dl/pi;
```



```

% Расчет траектории Солнца
% Азимут Bt, Высота Al
Al(I) = asin(sin(Fi)*sin(Dl)+cos(Fi)*cos(Dl)*cos(w(I)));
Bt(I) = acos((sin(Al(I))*sin(Fi)-sin(Dl))/(cos(Al(I))*cos(Fi)));
% Расчет угла падения прямого излучения Tt разных наклонов плоскости s
Tt(J,I) = acos(sin(Dl)*sin(Fi)*cos(s(J))-sin(Dl)*cos(Fi)*sin(s(J))*cos(Gm)+cos(Dl)*
*cos(Fi)*cos(s(J))*cos(w(I))+cos(Dl)*sin(Fi)*sin(s(J))*cos(Gm)*cos(w(I))+cos(Dl)*sin(s(J))*sin(Gm)*sin(w(I)));
% Расчет прямого солнечного излучения, падающего на ортогональную площадку
Sopt(I) = S0*sin(Al(I))/(sin(Al(I))+c);
% Расчет прямого солнечного излучения, падающего на наклонную площадку
Snak(J,I) = Sopt(I)*cos(Tt(J,I));
% Расчет рассеянного солнечного излучения, падающего на горизонтальную площадку
Rgor(I) = 0.33*(S0-Sopt(I))*sin(Al(I));
% Расчет рассеянного солнечного излучения, падающего на наклонную площадку
Rnak(J,I) = Rgor(I)*(0.55+0.434*cos(Tt(J,I))+0.313*cos(Tt(J,I))*cos(Tt(J,I)));
% Суммарный поток излучения, падающего на наклонную площадку
Qnak(J,I) = Snak(J,I)+Rnak(J,I);

```

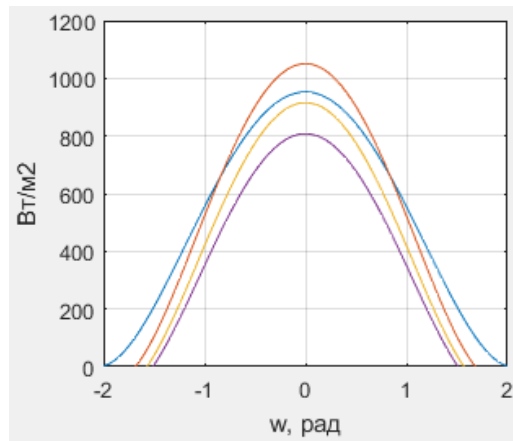


Рисунок 26. График поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под разными углами, в летний день (132).

Зима:

```

% Солнечная постоянная, Вт/м2
S0 = 1395;
% Номер дня 1-365
N = 15;
% Широта места, рад
Fi = (55.02/180)*pi;
% Азимут плоскости
Gm = 0; % 44*pi/180;
% Коэффициенты облачности
a = 0.386;
b = 0.38;
n = 0.4;
% Прозрачность атмосферы
c = 0.43;
% РАСЧЕТ
% Угол наклонения
Dl = 0.41*sin(2*pi*(284+N)/365);
Dl_grad = 180*Dl/pi;

```

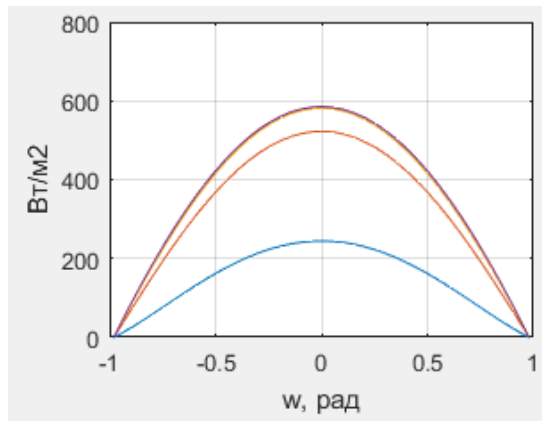


Рисунок 27. График поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под разными углами, в зимний день (15).

Весна:

```

% Солнечная постоянная, Вт/м2
S0 = 1395;
% Номер дня 1-365
N = 105;
% Широта места, рад
Fi = (55.02/180)*pi;
% Азимут плоскости
Gm = 0; % 44*pi/180;
% Коэффициенты облачности
a = 0.386;
b = 0.38;
n = 0.4;
% Прозрачность атмосферы
c = 0.43;
% РАСЧЕТ
% Угол наклонения
Dl = 0.41*sin(2*pi*(284+N)/365);
Dl_grad = 180*Dl/pi;

```

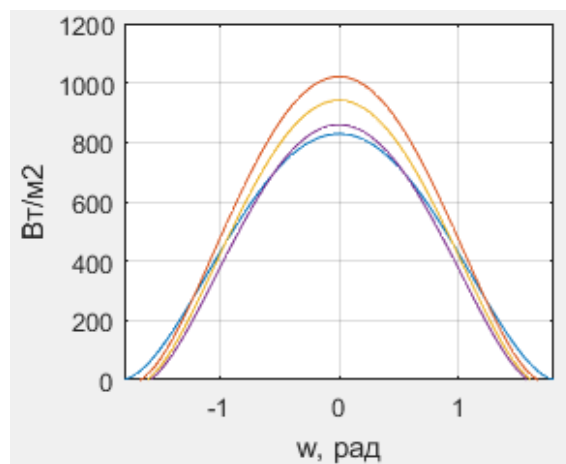


Рисунок 28. График поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под разными углами, в весенний (105).

Осень:

```
% Солнечная постоянная, Вт/м2
S0 = 1395;
% Номер дня 1-365
N = 286;
% Широта места, рад
Fi = (55.02/180)*pi;
% Азимут плоскости
Gm = 0; % 44*pi/180;
% Коэффициенты облачности
a = 0.386;
b = 0.38;
n = 0.4;
% Прозрачность атмосферы
c = 0.43;
% РАСЧЕТ
% Угол наклоения
Dl = 0.41*sin(2*pi*(284+N)/365);
Dl_grad = 180*Dl/pi;
```

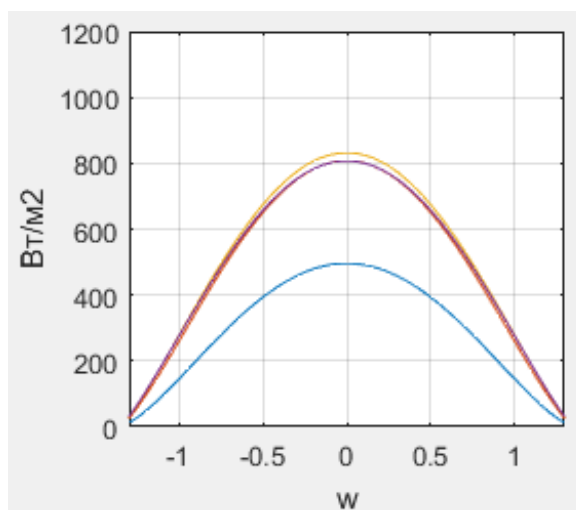


Рисунок 29. График поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под разными углами, в осенний сезон (286).

Проинтегрировав площади полученных графиков, получим величину поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под разными углами к горизонту и сведем полученные данные в таблицу 9.

Таким образом, в зимний день максимальное количество солнечной радиации поступает на плоскость, наклоненную к горизонту под углом  $75^\circ$ ; в весенний день – под углом  $45^\circ$ ; в летний день – под углом  $30^\circ$ ; в осенний день – под углом  $60^\circ$ . Поэтому необходимо производить Сезонное изменение угла

наклона лето/зима.

Таблица 9 – Суммарная инсоляция для каждого сезона (за сутки)

Сезон	Зима	Весна	Лето	Осень
Суммарная инсоляция, кВт·ч/м <sup>2</sup>	2,724	7,035	7,183	5,1773

Так как уровень инсоляции с октября по март слишком мал, возникает нехватка электроэнергии от фотоэлектростанций, поэтому электроэнергию необходимо компенсировать с помощью установки дизель-генератора.

### 3.4. Выбор инвертора

Так как в данной системе инвертор практически не влияет на оптимизацию эффективности автономной фотоэлектрической станции произведем только его выбор, без компьютерной модели.

Работа инвертора напряжения основана на переключении источника постоянного напряжения с целью периодического изменения полярности напряжения на зажимах нагрузки. Частота переключения задается сигналами управления, формируемыми управляющей схемой (контроллером).

Выбор инвертора осуществляется по нескольким параметрам:

- Входное напряжение;
- Номинальная и пиковая выходная мощность.

Выбор входного напряжения необходимо производить с учетом чем выше входное напряжение, тем меньше потерь на соединительных проводах. Поэтому выбираем входное напряжение инвертора равным 96 В

Номинальная выходная мощность инвертора должна быть равна сумме мощностей всех нагрузок. Так как мощность всех нагрузок равна 12,88 кВт выбираем инвертор марки МАП DOMINATOR UPS, характеристики которого приведены в таблице 10.

Таблица 10. Параметры инвертора HYBRID

Мощность, кВт	КПД, %	U, В	U <sub>вых</sub> , В	Частота, Гц	Пиковая мощность, кВт	Максимальная мощность, кВт
13	96	48, 96	220	50	17	13,5

### 3.5. Модель аккумуляторных батарей

Выберем аккумуляторные батареи марки *GX12-200* – гелевые аккумуляторные батареи 12 В, 200 А·ч. Технические характеристики аккумуляторной батареи представлены в таблице 11.

Таблица 11. Параметры аккумулятора GX 12-200.

Тип аккумулятора	GEL (гелевый)
Номинальное напряжение, В	12
Номинальная емкость, А*ч	200
Минимальный ток заряда, А	20
Максимальный ток заряда, А	40
Рабочий температурный диапазон, оС:	-20...+60

Исходя из расчета можно сделать вывод, что энергия, которую необходимо компенсировать в день дизель-генератором:

Зима:  $W_{комп} = 132,02 - 71,587 = 60,433$  кВт·ч/день;

Энергия, которую необходимо накапливать в АКБ:

Лето:  $W_{изб} = 188,769 - 111,41 = 77,359$  кВт·ч/день;

Весна:  $W_{изб} = 184,88 - 117,21 = 67,67$  кВт·ч/день;

Осень:  $W_{изб} = 136,059 - 126,22 = 9,839$  кВт·ч/день;

Итого: 154,868 кВт·ч

Учитывая, что разряжать аккумуляторные батареи можно до 35%, найдем емкость АКБ:

Энергия, которую необходимо накапливать в АКБ:

По выражению рассчитаем емкость АКБ:

$$W = U \cdot C_I \cdot k_{\text{разр.}} \cdot \eta_{3/p} = 12 \cdot 200 \cdot 0,9 \cdot 0,35 = 756 \text{ Вт} \cdot \text{ч}; \quad (31)$$

Число АКБ находим по выражению:

$$n = \frac{W_{\text{изб}}}{W_{\text{АКБ}}} = \frac{67670}{756} = 89,5 \approx 90 \text{ шт}; \quad (32)$$

В данный период получилось очень большое количество избыточной электроэнергии, нецелесообразно запасать всю электроэнергию, поэтому сократим количество АКБ. Принимаем 72 шт АКБ марки Delta GX 12-200.

Батареи нужно будет установить последовательно по 8 штук и параллельно по 9 раз.

Модель АКБ в программном комплексе выбираем стандартную, задав необходимые параметры.

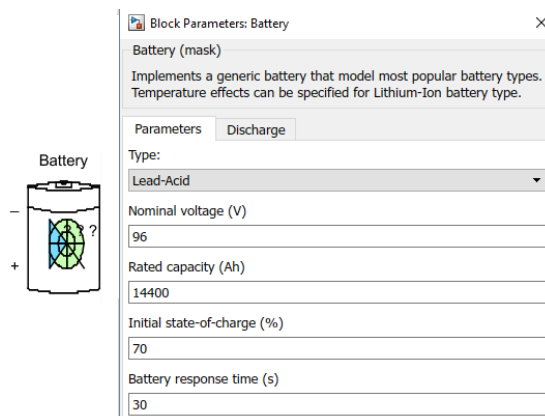


Рисунок 30. Модель аккумуляторной батареи.

### 3.6. Выбор дизель-генератора

По аналогии с инвертором модель дизель-генератора не является необходимой для поставленных целей исследования.

Нагрузки коттеджа  $P = 12,88 \text{ кВт}$ . Выберем Дизель-генератор KOHLER-SDMO K16H [7], технические характеристики которой представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристики Дизель-генератора KOHLER-SDMO K16H

Мощность, кВт	13
Вид топлива	Дизель
Емкость бака, л	50
Расход топлива, л/ч	2,5
Размеры, мм:	1750 x 780 x 1230
Вес, кг	4840
Цена, руб	429297

### 3.7. Модель понижающего преобразователя напряжения

В качестве ключевого элемента модели используем блок Mosfet - полупроводниковый прибор с изолированным затвором, служит для коммутации. Для моделирования прямоугольных импульсов используем блок Pulse Generator, в котором вводим такие параметры как: ширина импульсов, период, амплитуду, фазовую задержку и шаг модельного времени.

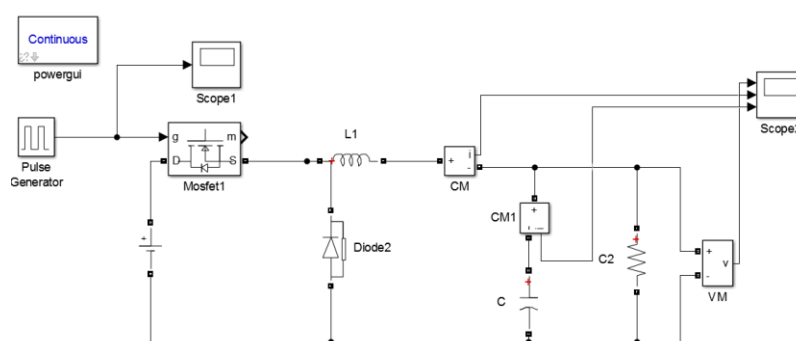


Рисунок 31. Схема моделирования преобразователя

Для согласования уровней напряжения на выходе СБ с нагрузкой необходимо корректно подобрать параметры понижающего преобразователя напряжения. В данном случае преобразователь предназначен для работы на аккумуляторную батарею, номинальным напряжением 96 В.

Для того, чтобы подобрать параметры преобразователя необходимо узнать его входное и выходное напряжение. Для этого промоделируем объект исследования, используя расчетные данные из пунктов 3.1-3.3, при этом соединив 6 панелей параллельно, 9 – последовательно.

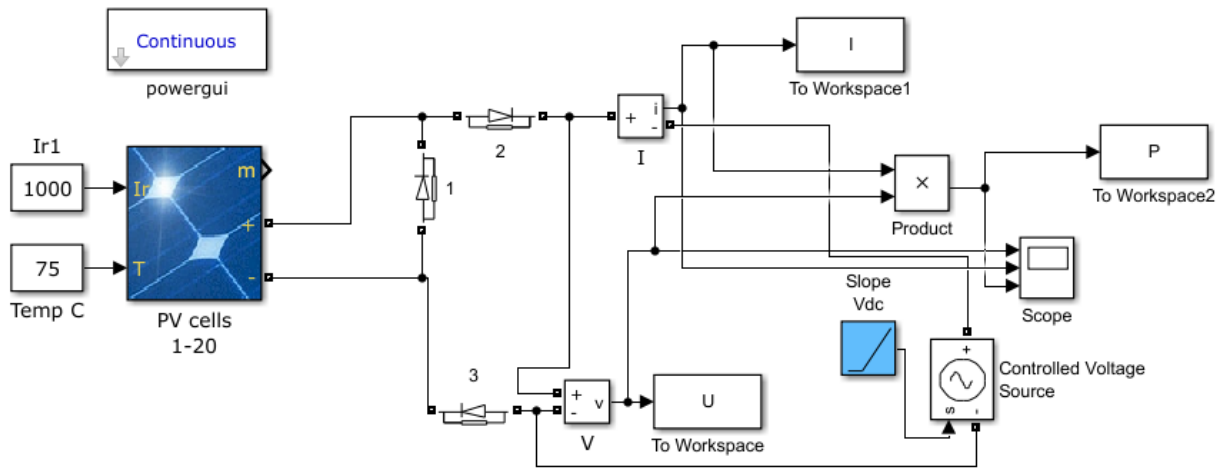


Рисунок 32. Фрагмент модели исследуемого объекта.

При изменении радиации в пределах от 200 до 1000 Вт/м<sup>2</sup> и температуры от 0 до 75 °С. Тогда рабочий диапазон контроллера для рассматриваемой ФЭС будет представлять собой выделенную фигуру, представленную на рисунке 24.

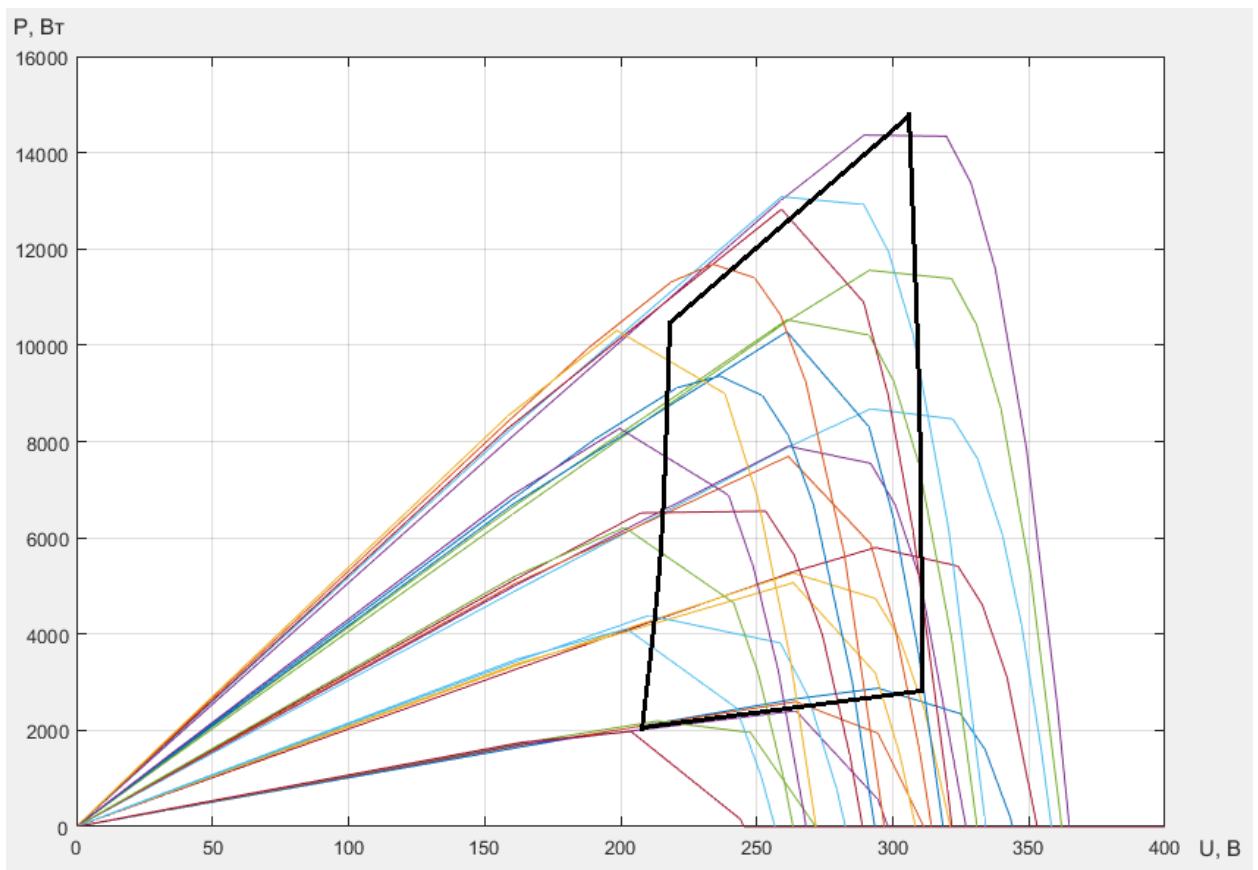


Рисунок 33. Ватт-вольтная характеристика солнечной батареи.



Исходя из данных моделирования видно, что входное напряжение преобразователя лежит в пределах  $U_{вх} = 210-310$  В. Выходное напряжение нам известно:  $U_{вых} = 96$  В.

Произведем расчет параметров преобразователя, используя полученные данные:

$$U_{in}=210-310 \text{ В};$$

$$U_{out}=96 \text{ В};$$

$$I_{out\_max}=40 \text{ А};$$

$$f=10 \text{ кГц.}$$

Выбор индуктивности:

Принимаем  $L/R=0,3$ ;

$$\begin{aligned} L &= (U_{in\_max} - U_{out}) \cdot \frac{U_{out}}{U_{in\_max}} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{\frac{L}{R} \cdot I_{out\_max}} = \\ &= (310 - 96) \cdot \frac{96}{310} \cdot \frac{1}{10000} \cdot \frac{1}{0,3 \cdot 40} = 552,3 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}; \end{aligned} \quad (33)$$

Выбираем ближайший номинал  $L=550$  мкГн;

Расчет пульсаций тока:

$$\Delta I_{INDUCTOR} = \frac{L}{R} \cdot I_{out\_max} = 0,3 \cdot 40 = 12 \text{ А}; \quad (34)$$

Выбор выходного конденсатора:

Задаемся максимальным выбросом напряжения на выходе  $\Delta U=500$  мВ.

$$C_{out} = \frac{L \cdot \left( I_{out\_max} + \frac{\Delta I_{INDUCTOR}}{2} \right)^2}{(\Delta U + U_{out})^2 - U_{out}^2} = \frac{552,3 \cdot 10^{-6} \cdot \left( 40 + \frac{12}{2} \right)^2}{(0,5 + 96)^2 - 96^2} = 12000 \text{ мкФ}; \quad (35)$$

Принимаем стандартный:  $C=12000$  мкФ.

Емкость входного конденсатора принимаем  $100$  мкФ.

Промоделируем работу преобразователя, подставив выбранные параметры:

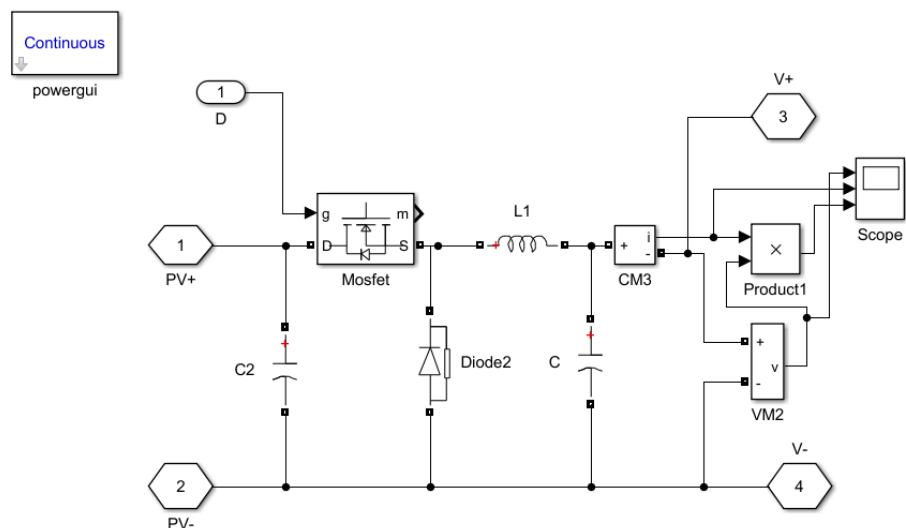


Рисунок 34. Модель понижающего преобразователя напряжения (Buck converter).

Для того, чтобы проверить правильность выбора параметров преобразователя необходимо собрать модель контроллера

### 3.8. Модель контроллера

Выбор контроллера производим по мощности, току и напряжению. Таким образом выберем контроллер марки KES DOMINATOR MPPT 200 100. Технические характеристики контроллера представлены в таблице 13.

Таблица 13. Каталожные данные контроллера СБ

Алгоритм заряда	MPPT
Номинальное напряжение	12/24/36/48/96 авто выбор
Максимальный ток заряда аккумуляторов, А	100
Напряжение системы, В	12/24/48 (автоматически)
Выбор типа аккумулятора	AGM, GEL, закрытые, открытые щелочные, LiFePO4
Максимальная мощность солнечной батареи, Вт	200
Размеры, мм:	35 x 12 x 21
Вес, кг	5
Цена, руб	40900

Произведем подстановку полученных данных в модель используя контроллер с широтно-импульсной модуляцией:

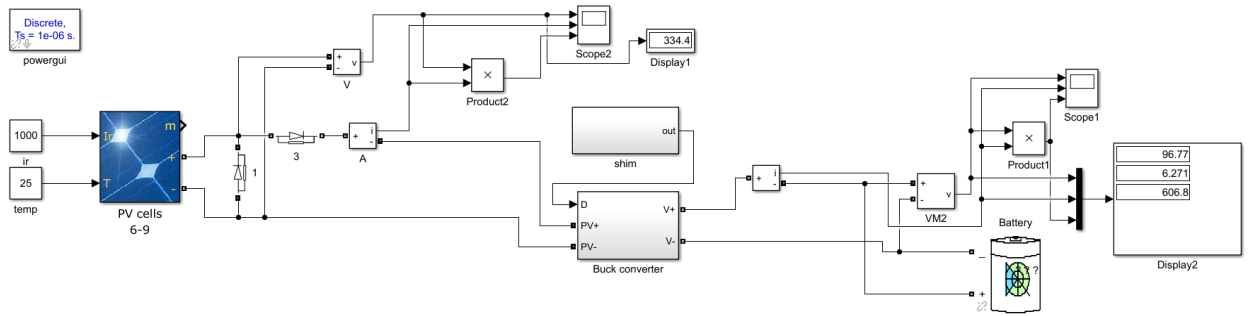


Рисунок 35. Общая модель ФЭС с выбранными параметрами преобразователя.

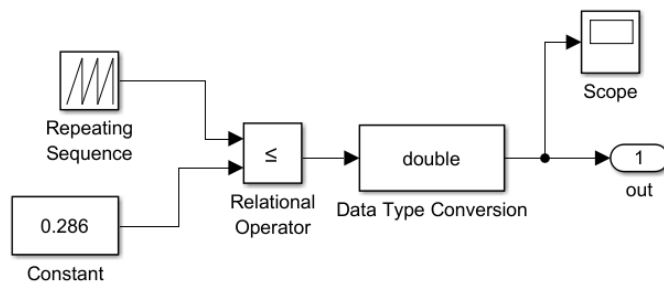


Рисунок 36. Блок ШИМ-контроллера.

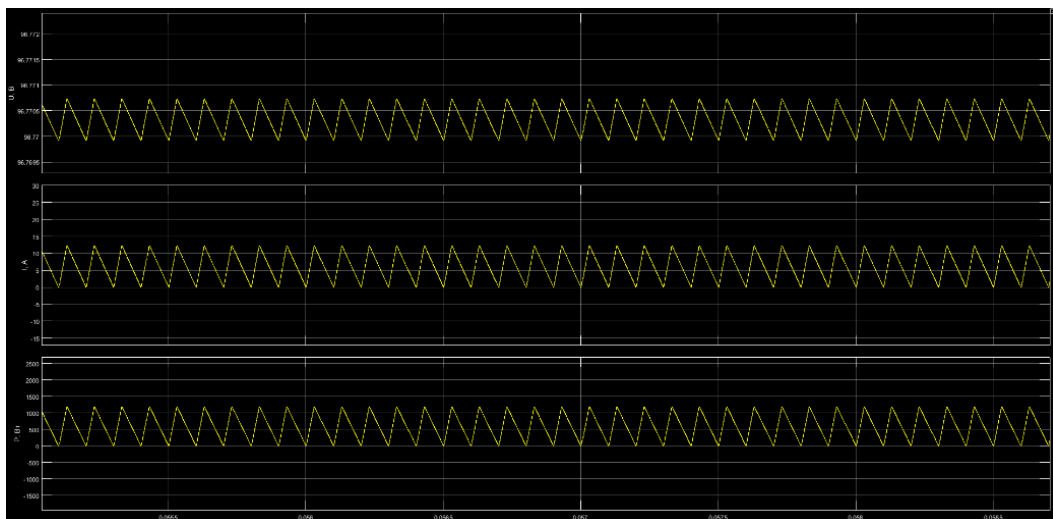


Рисунок 37. Выходные характеристики ФЭС.

Из полученных данных видно, что параметры преобразователя и контроллера подобраны верно, следовательно, на вход АКБ подаются необходимые рабочие параметры.

### 3.8.1. Модель метода случайных возмущений

Как было сказано в первом разделе, метод заключается в поиске точки максимальной мощности за счет изменения величины рабочего напряжения фотоэлектрической панели. По имеющейся блок схеме (Рис. 6) построим модель контроллера ПТТМ. Также необходимо подобрать параметры ПИД-регулятора, в частности пропорциональную и интегральную составляющие.

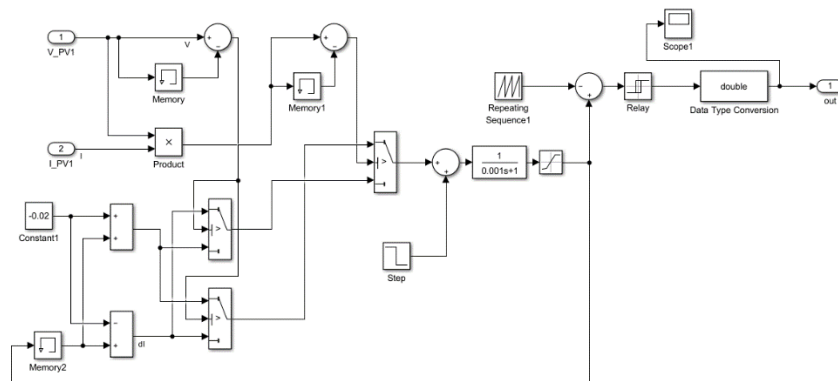


Рисунок 38. Модель блока МРРТ (Метод случайных возмущений).

Комплексная модель ФЭС с представлена на рисунке 28. Разработанная модель позволяет воспроизводить динамические режимы работы солнечной электростанции при изменении уровня освещенности и температуры.

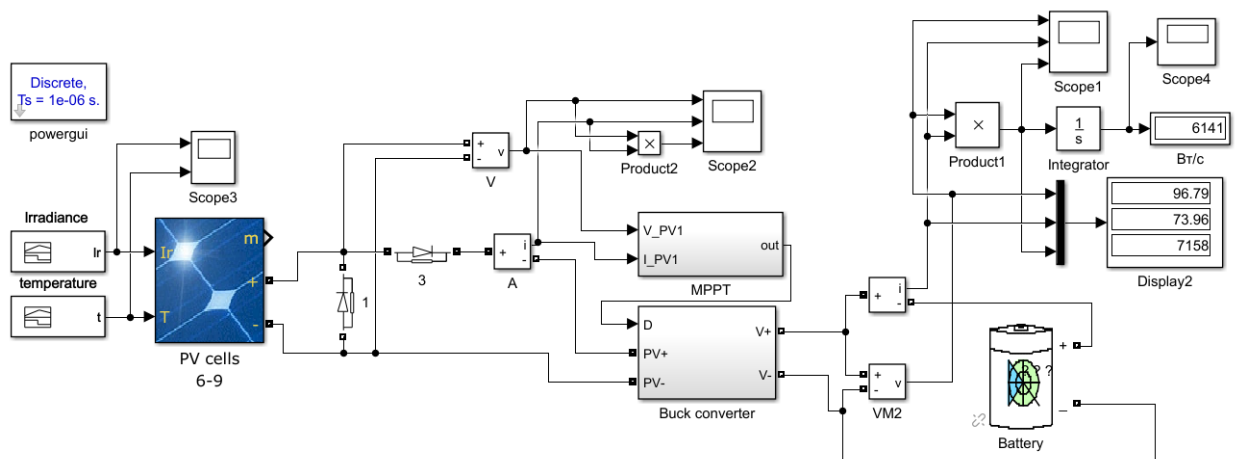


Рисунок 39. Комплексная модель ФЭС с контроллером основанном на методе случайных возмущений.

Для более достоверного анализа режима работы фотоэлектрической станции используем различные уровни освещенности и температуру солнечной

батареи используя метеорологические данные за сутки. Так уровень инсоляции изменяется в пределах от 320 до 820 Вт/м<sup>2</sup>, а уровень температуры от 25° до 70°С. С целью упрощения расчетов принимаем время проведения моделирования за 1 секунду.

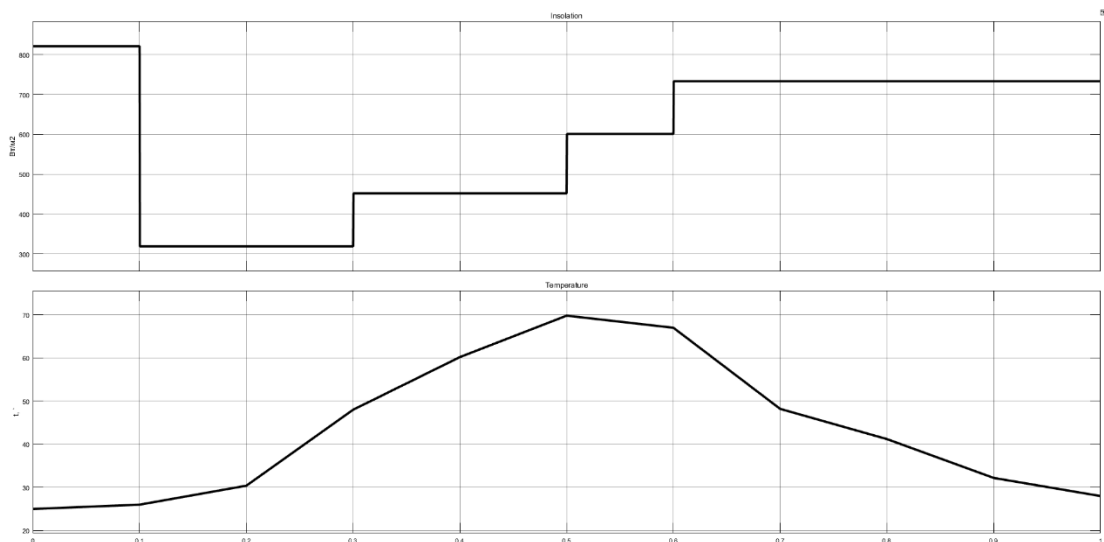


Рисунок 40. Модель изменения уровня радиации и температуры СБ.

На рисунке 41 представлены результаты расчетных экспериментов по оценке эффективности работы контроллеров ПТММ в условиях изменения освещенности и температуры.

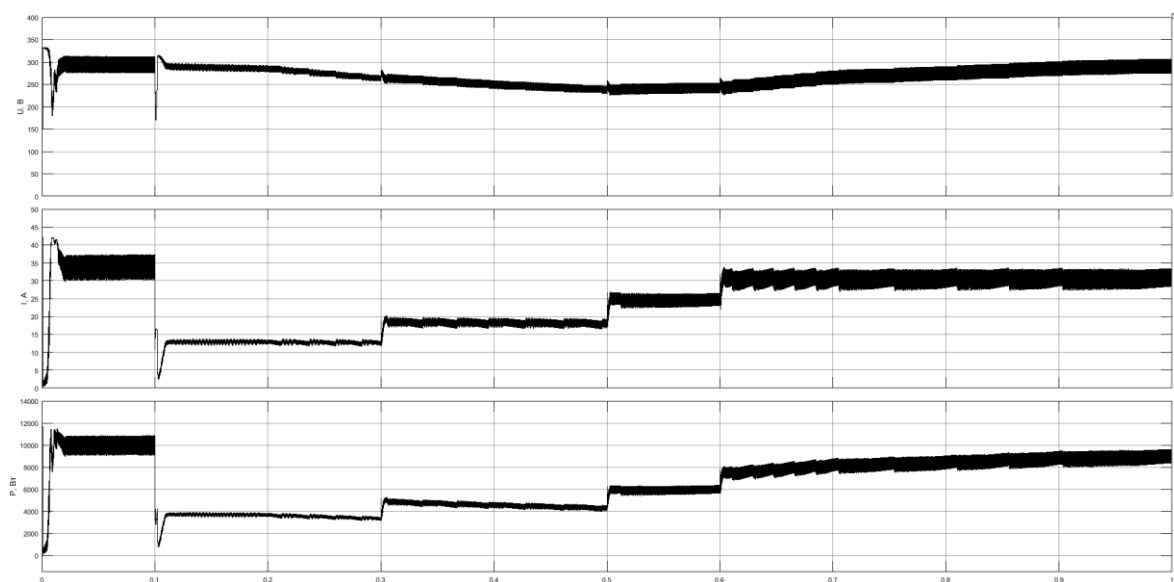


Рисунок 41. Параметры рабочего состояния ФЭС при изменении освещенности и температуры.

По результатам моделирования видно, что происходят колебания выходного напряжения солнечной батареи вследствие изменения освещенности и температуры, следовательно, изменения вольт-ваттных характеристик панели. Следует заметить, что при изменении мощности солнечной батареи значительно изменяется величина выходного напряжения.

Для проверки достоверности работы модели возьмем выходные характеристики солнечной батареи в период времени равный 0,2с:

$$U_{сб} = 280 \text{ В};$$

$$P_{сб} = 3900 \text{ Вт}.$$

В данный момент времени уровень инсоляции и температуры равны:

$$\lambda = 320 \text{ Вт/м}^2;$$

$$t = 30^\circ\text{C}.$$

Сравним полученные данные с исходными характеристиками солнечной батареи.

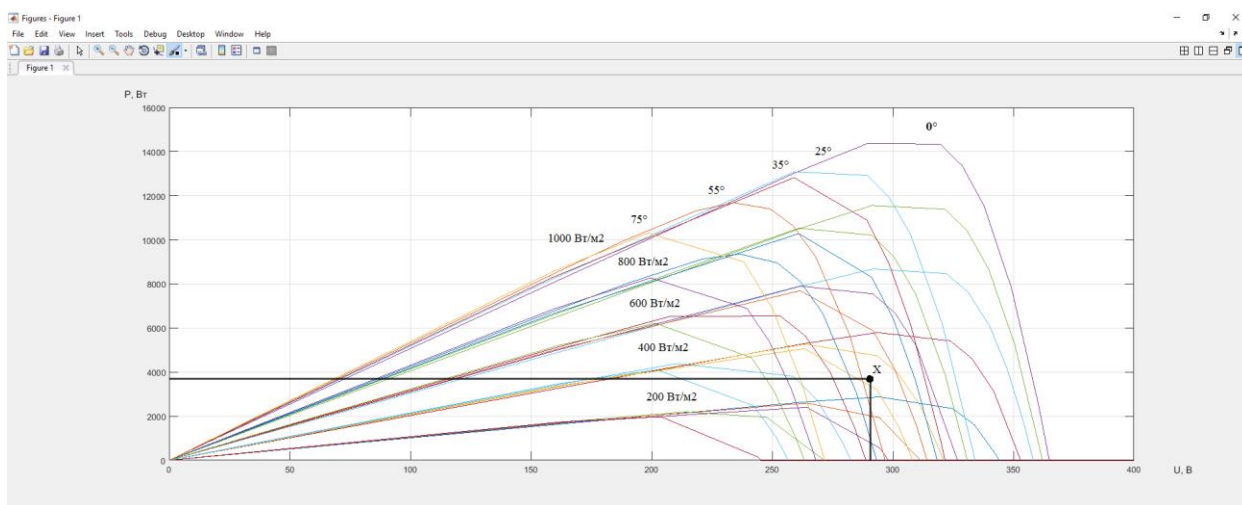


Рисунок 42. Ватт-вольтная характеристика солнечной батареи.

Из рисунка видно, что при уровне инсоляции равному 320 Вт/м<sup>2</sup> и при температуре солнечной батареи 30°C напряжение и мощность практически совпадают со значениями рабочего диапазона СБ, что доказывает правильность работы модели.

### 3.8.2. Модель метода напряжения холостого хода

Логика данного контроллера основана на периодическом изменении величины опорного напряжения вследствие измерения величины напряжения холостого хода солнечной батареи. Моделирование производим при тех же условиях освещения и температуры СБ, что и в предыдущем методе.

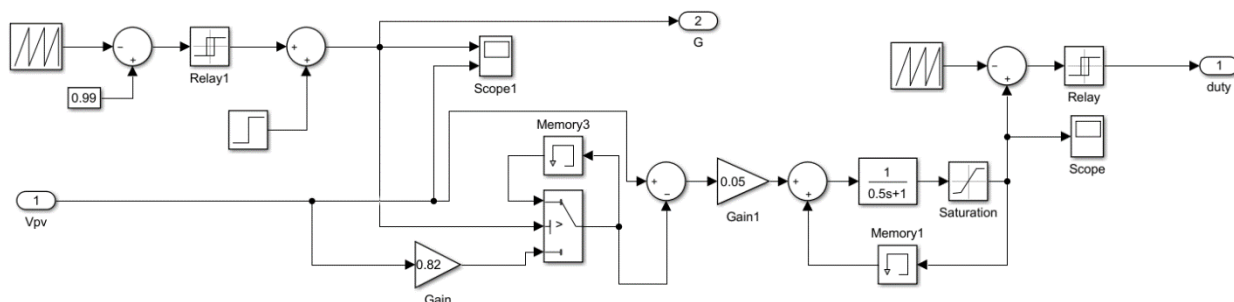


Рисунок 43. Модель блока МРРТ (Метод напряжения холостого хода).

Ниже приведены результаты моделирования контроллера основанном на методе напряжения холостого хода.

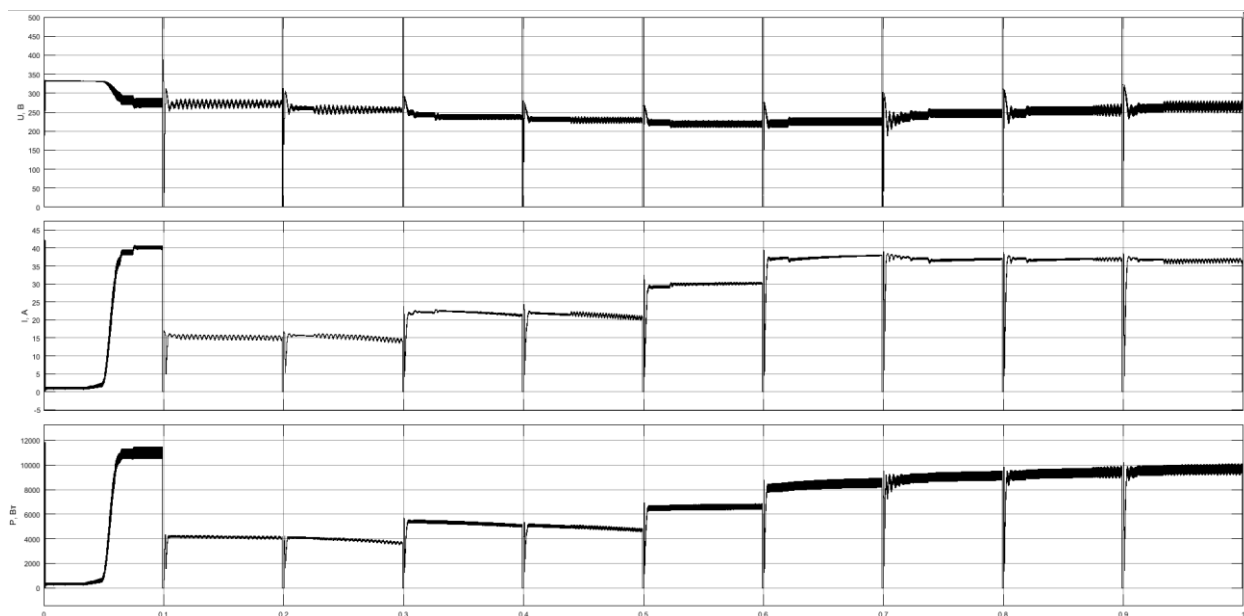


Рисунок 44. Параметры рабочего состояния ФЭС при изменении освещенности и температуры.

Благодаря полученным данным можно заметить, что величина напряжения и мощности в период времени равный 0,2с так же совпадает с

рабочим диапазоном значений солнечной батареи с минимальной погрешностью, но несмотря на это в определенные промежутки времени происходят потери энергии, вследствие неточного подбора параметров преобразователя и величины опорного напряжения.

### 3.8.3. Модель метода постоянного напряжения

Для моделирования процесса отбора точки максимальной мощности задаем значение опорного напряжения, которое в свою очередь равно выходному значению напряжения солнечной батареи. Примем значение опорного напряжения равным  $V_{REF} = 260$  В.

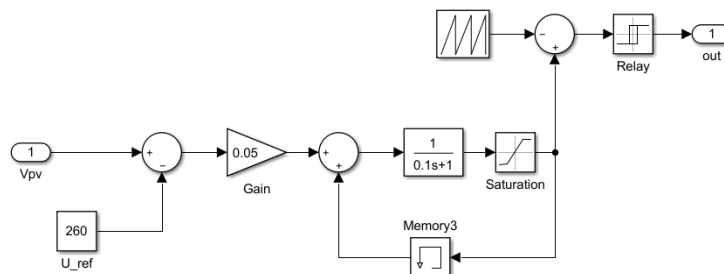


Рисунок 45. Модель блока МРРТ (Метод постоянного напряжения).

Ниже приведены результаты моделирования контроллера основанном на методе постоянного напряжения.

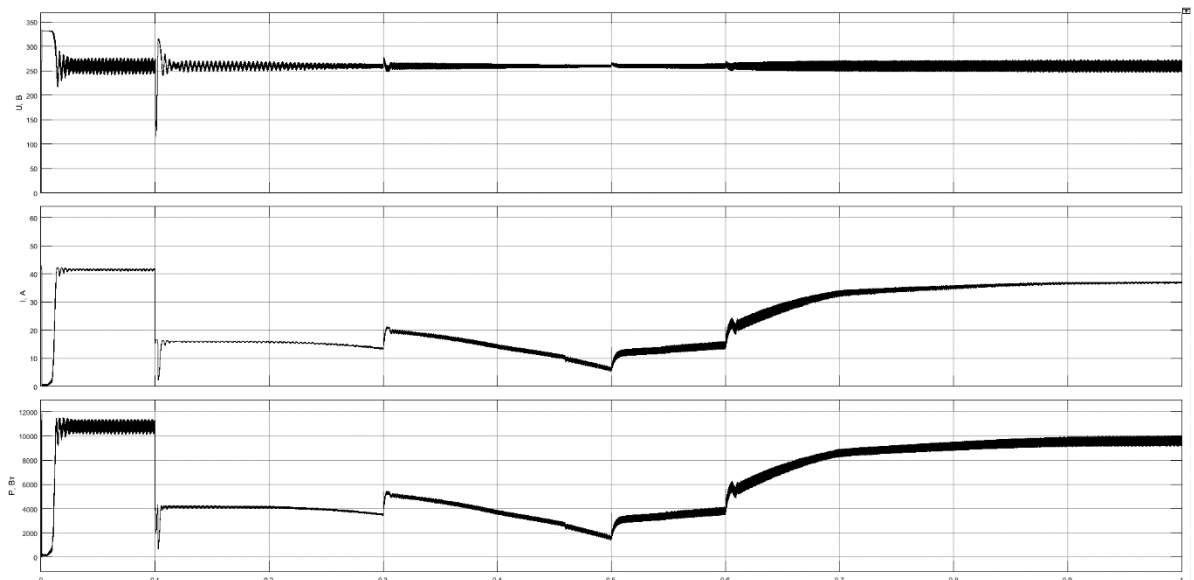


Рисунок 46. Параметры рабочего состояния ФЭС при изменении освещенности и температуры.



По полученным данным можно сказать, что при различных уровнях освещенности напряжение практически не меняется, но температура сильно сказывается на выходных параметрах солнечной батареи. Также присутствует высокая погрешность: значение выходной мощности СБ получилась большей на 300 Вт относительно мощности в рабочем диапазоне (Рис. 33).

### 3.9. Анализ энергетических характеристик автономной фотоэлектрической станции

Также произведем расчет выработанной электроэнергии солнечной батареей при различных алгоритмах поиска точки максимальной мощности:

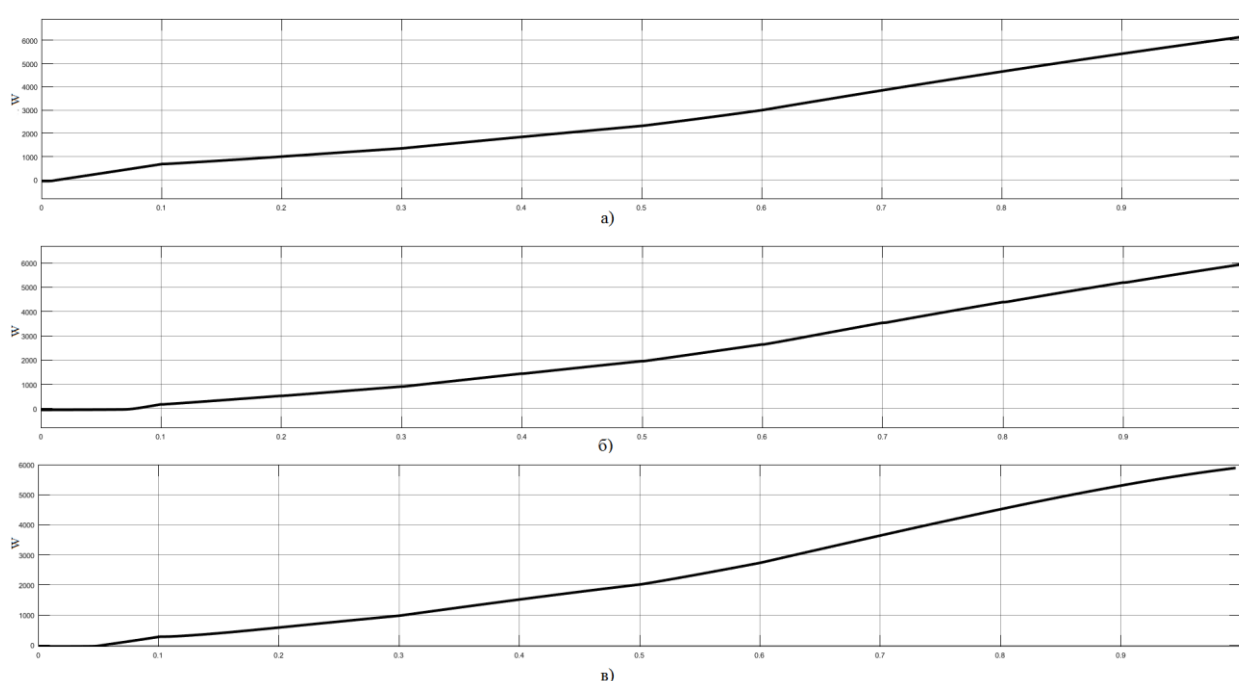


Рисунок 47. Графики выработки электроэнергии солнечной батареей.

а) Метод случайных возмущений; б) Метод холостого хода; в) Метод постоянного напряжения

Проинтегрировав полученные графики получаем:

$$W_a = 6141 \text{ Вт};$$

$$W_б = 5952 \text{ Вт};$$

$$W_в = 5910 \text{ Вт}.$$

На основании полученных (Рис. 47) данных можно сделать вывод, что у каждого метода есть свои недостатки, которые характерны для определенных уровней освещения и температуры  $C$ , но самым оптимальным является метод случайных возмущений. При данном алгоритме вырабатывается наибольшее количество электроэнергии. Несмотря на погрешность, при низких уровнях освещения, характерных для г. Новосибирска колебания напряжения практически не повлияют на отслеживание точки максимальной мощности, поэтому данный метод наиболее эффективен для заданных условий.

### **3.10. Заключение по разделу**

В данной главе были описаны все составляющие автономной фотоэлектрической системы, произведен их выбор. Также были построены математические и компьютерные модели автономной ФЭС. Благодаря моделированию проанализированы преимущества и недостатки алгоритмов контроллера поиска точки максимальной мощности. Разработана методика подбора подходящего типа контроллера при различных входных параметрах солнечной батареи.

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

### **4.1. Инициация научного исследования**

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны исследования, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного исследования.

Потенциальными потребителями результатов исследования являются объекты г. Новосибирск. Это связано с тем, что верно разработанная система электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии даст возможность оценки годовых энергозатрат, что в свою очередь приведет к экономии финансовых затрат на оплату электроэнергии.

## 4.2. SWOT-анализ

SWOT – анализ проекта позволяет оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие реализации проекта. Для анализа проекта составлена таблица 15.

Таблица 15 – SWOT – матрица

Сильные стороны проекта	Возможности во внешней среде
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Новизна проекта</li> <li>2) Новейшее оборудование</li> <li>3) Независимость от ископаемого топлива</li> <li>4) Соответствие ЭС-2030</li> <li>5) Соответствие техническим требованиям</li> <li>6) Схема подключения обеспечивает максимальную энергоэффективность</li> <li>7) Минимальные потери</li> <li>8) Сезонная выработка энергии соответствует пику потребления электроэнергии</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Поддержка Государства</li> <li>2) Содействие со стороны чиновников</li> <li>3) Отсутствие конкуренции</li> <li>4) Стабильный поток солнечной радиации в течение года</li> <li>5) Высокая уровень радиации на выбранном участке</li> </ol>
Слабые стороны проекта	Угрозы внешней среды
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Постройка и эксплуатация требует высококвалифицированного персонала</li> <li>2) Отсутствие подобных проектов</li> <li>3) Расположение в зоне с тяжёлыми природными условиями</li> <li>4) Труднодоступное расположение</li> <li>5) Отсутствие автономности спроектированной системы</li> <li>6) Высокая стоимость оборудования</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Наличие периодов затенения облаками</li> <li>2) Появление более эффективного оборудования</li> </ol>

Продолжение таблицы 15.

Сильные стороны исследовательской проекта: новизна проекта; независимость от ископаемого топлива; новейшее оборудование; минимальные потери; сезонная выработка энергии соответствует пику потребления электроэнергии.

### 4.3. Календарный план проекта

Для строительства данного объекта необходима рабочая группа в состав которой входят люди различных профессий: крановщики, инженер-электрики и др.

В данном разделе составлен план проведения монтажных работ по строительству фотоэлектрической станции, произведено распределение рабочих по видам работ. Составлен порядок этапов и работ, таблица 16.

Таблица 16 – Основные этапы и работы по выполнению проекта

№ Этапа	Основные этапы	№ Работ	Содержание работ	Исполнители
1	Доставка оборудования и материалов на место строительства	1	Встреча оборудования и материалов на вокзале	Сотрудники логистической службы
		2	Перегрузка на дорожный транспорт	
		3	Разгрузка	
		4	Доставка оборудования	
2	Подготовка объекта под установку солнечных батарей и технологическое помещение, прокладка кабель-каналов	5	Установка солнечных батарей, ДГУ, АКБ, контроллеров, инверторов	Монтажная служба
		6	Установка кабель-каналов, прокладка в них кабелей	
3	Сборка солнечных	7	Сборка панелей	Инженеры-электрики

	батарей			
4	Монтаж дизель-генератора	8	Установка ДГУ	Инженеры-механики, инженеры-электрики
5	Установка преобразователя, контроллера и аккумуляторов	9	Установка оборудования	Инженеры-механики, инженеры-электрики
6	Монтирование электрических соединений	10	Монтаж электрических подключений	Инженеры-электрики
7	Пуско-наладочные работы	11	Пуск и настройка работы оборудования	Инженер-механик

При строительстве объекта, все операции стандартны и имеют чёткую продолжительность во времени. Вероятностный характер каких-либо работ отсутствует.

Все работы разбиты на отдельные этапы и на каждые этапы назначены разные исполнители, таблица 17.

Таблица 17 – Календарный план проекта по строительству солнечной станции

Этап	Работа	Исполнители	Длительность работ, часов	Дата начала работ	Дата окончания работ
1	1 - 2	Логистика	7	01.06.15	01.06.15
	3 - 4	Логистика	8	01.06.15	01.06.15
2	5	Строители	7	02.06.15	02.06.15
	6	Строители	7	03.06.15	03.06.15
3	7	Строители	8	04.06.15	05.06.15
4	8	Инженеры	8	05.06.15	05.06.15
5	9	Инженеры	8	06.06.15	06.07.15
6	10	Инженеры	8	06.06.15	06.06.15
7	11	Инженеры	9	06.06.15	07.06.15
<b>Итого</b>			<b>70</b>	-	

Приёмка оборудования на железнодорожном вокзале осуществляется вместе с погрузкой на дорожный транспорт и занимает один рабочий день.

Технологическое помещение необходимо для размещения в нём инверторной станции и аккумуляторных батарей. Строительство подобного помещения производится за 2 рабочих дня.

Сборка солнечных батарей производится специально обученными инженерами, длительность всех операций по наземной сборке длится 1 день.

Установка солнечных батарей на крышу здания происходит за максимум 2 рабочих дня.

Наличие большого количества аккумуляторов в размере 40 штук увеличивает длительность их совместного подключения и подключения к инверторной станции. Длительность работ 1 день.

Электрическое подключение батарей к аккумуляторам, инверторной станции и контроллерам, и последующее подключение электростанции к имеющейся сети электроснабжения занимает 1 день. Пусконаладочные работы электростанции занимают 4 календарных дня.

Ожидаемое время строительства составляет один месяц.

#### **4.4. Расчет затрат**

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного

оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i} ; (44)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$\Pi_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента ( $k_T$ ), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 18.

Таблица 18 – Приведенные суммарные затраты на проект

Наименование	Количество, шт	Цена за шт., руб.	Общая стоимость, руб.
Солнечная панель 1Soltech 1STH-250-WH	54	20 625,00	1 113 750,00
Контроллер заряда KES DOMINATOR MPPT 200	1	40 900,00	40 900,00
Синус-инверторы МАI PRO HYBRID	1	160 000,00	160 000,00
Аккумулятор DELTA GX 12-200	72	26 928,00	1 938 816,00
Дизельный генератор KOHLER-SDMO K16H	1	429 297,00	429 297,00
Покупка и монтаж кабеля			3 000,00
Затраты на геологические работы			10000,00

Наименование		Общая стоимость, руб.
Расходы на доставку		50 000,00
Непредвиденные расходы (10% от всего)		52 000,00
Проектные работы		16 130,00
Строительные работы		20 800,00
Затраты на обслуживание		48 390,00
Ремонтные расходы		4 326,00
<b>Итого</b>		<b>3 887 409,00</b>

Затраты по оплате труда (заработная плата и отчисления на социальные нужды 30% от ФОТ)

Данный пункт включает в себя статью расходов, связанную с заработной платой работающего персонала. Для каждого этапа работ привлекаются отдельные службы стоимость работ которых складывается согласно смете привлекаемой организации.

1) Логистика.

В задачи логистики входит приём, погрузка, доставка, разгрузка и доставка к месту работы необходимого оборудования и материалов. Для привлечения погрузочно-разгрузочных и такелажных работ необходимо привлечение 7 человек. Согласно прайсу некоторой компании, стоимость одного часа составляет 200 рублей. Согласно календарному плану длительность данного



вида работ составляет 4 рабочих дня или 32 часа. Стоимость работы 7 человек составит 44,8 тыс.руб.

2) Инженерные работы.

Инженерные работы: сборка оборудования, монтаж оборудования, пусконаладочные работы выполняют специалисты компании предоставляющие энергетическое оборудование. Стоимость сборки, установки и настройки оборудования составляет не менее 5% от его стоимости. Перечень и стоимость оборудования представлен в таблице 18. Общая стоимость оборудования составляет 3 млн. 887 тыс.руб. Стоимость работ инженеров составит 53,7 тыс.руб. Итоговые затраты по оплате труда представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Затраты по оплате труда

№	Исполнители	ЗП, тыс.руб.
1	Специалисты по такелажным работам и грузчики	44,8
2	Инженеры	53,7
3	30 % - отчисления на социальные нужды	29,55
	Итого	68,95

#### 4.5. Технико-экономическое обоснование целесообразности построения солнце-дизельной электростанции

Абсолютный расход топлива определим по формуле:

$$G_{\Gamma} = g_{\text{ном}} \cdot K_{\text{изн}} \cdot K_{\text{реж}} \cdot W, \text{ г}; \quad (45)$$

где  $W$  – энергия, вырабатываемая ДГ ;  $g_{\text{ном}}$  - удельный расход топлива дизелем при номинальной мощности (по паспортным данным),г/кВт·ч;  $k_{\text{изн}}$  – коэффициент износа (для новых генераторов принимается равным 1);  $k_{\text{реж}}$  – режимный коэффициент, учитывающий изменение удельного расхода топлива при работе ДГ с нагрузкой, меньшей номинальной:

$$k_{\text{реж}} = 0,87 + 0,13 \cdot \frac{P_{\text{ном}}}{P_{\text{потр}}}; \quad (46)$$

$$k_{\text{реж}} = 0,87 + 0,13 \cdot \frac{13}{12,88} = 1,001; \quad (47)$$

где  $P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность ДГ, кВт;  $P_{\text{потр}}$  – вырабатываемая мощность, кВт.

$$G_T = 0,360 \cdot 1 \cdot 1,001 \cdot 4381779 = 1\ 579\ \text{кг}; \quad (48)$$

Стоимость топлива за год, если ДТ стоит 36руб. за литр

$$C = 1579 \cdot 36 = 56840 \text{ руб. за год}; \quad (49)$$

Нужно учесть, помимо известных цен на оборудование, стоимость проектных работ, строительных работ, эксплуатационные расходы, ремонтные расходы.

- Проектные работы:

$$K_{пр} = 2 \cdot \text{МРОТ} = 2 \cdot 9030 = 18060 \text{ руб}; \quad (50)$$

где МРОТ – это минимальный размер оплаты труда, в Новосибирске с 25.01.2016 г. МРОТ= 9 030 руб.

- Строительные работы:

$$K_{стр} = k_p \cdot K_{уст} = 0,04 \cdot 3\ 887\ 409 = 155\ 496,36 \text{ руб}; \quad (51)$$

где  $k_p$  – коэффициент затрат на установку станции, принимают равным 0,04;

$K_{уст}$  – стоимость всего оборудования станции;

- Эксплуатационные расходы (затраты на обслуживание):

$$C_{экс} = 6 \cdot \text{МРОТ} = 6 \cdot 9\ 030 = 54\ 180 \text{ руб}; \quad (52)$$

- Ремонтные расходы:

$$C_{рем} = k_{рем} \cdot p_n (K_{уст} + K_{стр}) = 0,2 \cdot 1/25 \cdot (3\ 887\ 409 + 155\ 496,36) = 32\ 345 \text{ тыс.руб}; \quad (53)$$

где  $k_{рем}$  – это коэффициент затрат на ремонт, принимают равным 0,2;  
 $p_n$  – это нормативный коэффициент рентабельности,  $p_n = 1/T$ , где  $T$  – это экономический срок службы оборудования, который равен 25 лет.

#### 4.6. Смета затрат проекта

Смета – это расчёт всех предстоящих расходов, связанных с реализацией проекта. Смета проекта представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Смета проекта

№	Статья затрат	Сумма, тыс.руб.
1	Стоимость оборудования	3887,409
2	Материальные затраты	260,081
3	Фонд оплаты труда	68,95
Итого		4216,44

Для оценки целесообразности построения солнце-дизельной электростанции сравним смету затрат проекта ФЭС со сметой затрат строительства ЛЭП к данному участку. Ближайшая линия, от которой можно запитаться находится в 7 км от объекта, расчет производит без учета затрат на присоединение.

Затраты на оборудование для ЛЭП:

Оборудование для строительства линии, их количество и стоимость за штуку представлена в таблице 21.

Таблица 21 - Оборудование для строительства ВЛ.

Оборудование	Марка	Кол-во, шт. (м)	Цена за шт (м), Руб.	Стоимость, Руб.
Опоры: анкерные	У35-2Т	3	127752	383256
промежуточные	П35-2ВТ	70	131300	9191000
Провод	АС-120/19	10500	93	976500
Изоляторы: анкерные	ПС 120	30	380	11400
промежуточные	ПС 40а	350	235	82250
Линейная арматура: поддерживающие зажимы	SO 181.6	420	1850	777000
	НБ-2-6	420	340	142800
Скобы	СК-7-1а	420	89	37380
Серьги	СРС-7-16	420	69	28980
ушки	У1-7-16	420	22	9240
Итого				9211894

Потребляемая электрическая энергия для каждого периода:

Осень:

$$W_1 = 11517,57 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Зима:

$$W_2 = 12046,825 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Весна:

$$W_3 = 10695,41 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Лето:

$$W_4 = 10166,163 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Годовое потребление:

$$W_{\text{год}} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 43,818 \text{ МВт} \cdot \text{ч}; \quad (54)$$

Определим платеж за электроэнергию по двухставочному тарифу:

- ставка за мощность  $T^M = 639946,11 \text{ р./МВт}$  в месяц,

- ставка за ЭЭ  $T^{(2)} = 72,11 \text{ р./МВт} \cdot \text{ч}$ -при питании от ВН.[22]

- годовой платеж за электроэнергию по двухставочному тарифу:

$$П^{(2)} = N \cdot P_{\text{max}} \cdot T^M + W_{\text{год}} \cdot T^{(2)} = 12 \cdot 0,012 \cdot 639946,11 + 43,8181 \cdot 72,11 = 3,108 \text{ млн.руб.}$$

### **Выводы по разделу**

Было установлено, что на строительство данного объекта необходима неделя. Была рассчитана стоимость строительства данного объекта, которая составила 4,2 млн. руб. Из них на оборудование приходится 3,887 млн. руб. Так как затраты на присоединение и строительство ЛЭП обойдутся в 9,2 млн. руб плюс 3,108 млн. руб в год будет расходоваться на оплату электроэнергии.

Исходя из этого очевидна целесообразность и строительства фотоэлектрической станции, так как затраты дешевле более чем в 2 раза.