

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки)
Энергосбережение и энергоэффективность
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Разработка автономной солнечной электростанции для питания
слаботочных систем освещения»

Студент

Д.А. Нагаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

А.Н. Черненко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы

к.т.н. А.Н. Черненко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ Г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ Г.

Тольятти 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Анализ способов преобразования солнечной энергии в электроэнергию	9
1.1 Термодинамические СЭС (CSP)	9
1.1.1 СЭС башенного типа	9
1.1.2 СЭС, использующие параболоцилиндрические концентраторы	11
1.1.3 СЭС тарельчатого типа	11
1.1.4 Солнечно-вакуумные электростанции	12
1.1.5 Комбинированные СЭС	13
1.2 Фотоэлектрические СЭС (PV)	13
1.3 Выводы по первому разделу	14
2 Выбор компонентной базы для солнечной электростанции	16
2.1 Устройство и принцип работы солнечной электростанции	16
2.1.1 Солнечная панель. Принцип действия	17
2.1.2 Типы солнечных панелей	19
2.1.3 Категории фотоэлектрических солнечных панелей	24
2.1.4 Климатические и географические условия применения	25
2.1.5 Альbedo поверхности Земли	28
2.2 Инверторы	30
2.2.1 Виды инверторов	32
2.2.2 Солнечная электростанция и мощность инвертора	33
2.3 Аккумуляторные батареи	35
2.3.1 Виды аккумуляторных батарей	37
2.4 Контроллеры	40
2.4.1 Виды контроллеров заряда АКБ	41
2.5 Выводы по второму разделу	44
3 Разработка системы хранения и преобразования энергии для поддержания независимой работоспособности солнечной электростанции в течении 24 часов	46

3.1	Исходные данные для выбора элементов солнечной электростанции	46
3.1.1	Характеристика объекта	46
3.1.2	Выбор и расчет параметров солнечных панелей	51
3.1.3	Выбор контроллера заряда АКБ	58
3.1.4	Выбор и расчет параметров инвертора	59
3.1.5	Выбор и расчет параметров аккумуляторной батареи	66
3.1.6	Компоновка	70
3.2	Выводы по третьему разделу	75
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	81

ВВЕДЕНИЕ

Невозможно представить себе жизнь современного человека без использования энергетических ресурсов. Компьютеры, телефоны, бытовая техника и другие электроприборы - все это то, без чего современный человек не может обойтись в течение дня. Процесс обеспечения потребителей энергетической энергией носит название энергоснабжение. Важно рационально использовать энергетические ресурсы [1-4].

Экономия энергоресурсов, в том числе не возобновляемых, является ключевым звеном в экономике. Кроме того, экономия таких ресурсов ведет и к экономии денежных средств. Для выявления эффективности использования энергетических ресурсов и разработки мер для снижения затрат предприятия проводят инструментальное обследование системы электроснабжения или энергоаудит.

Солнце – это безлимитный источник энергии. Энергию солнца можно использовать для независимого питания любых слаботочных потребителей электрической энергии [5-6].

В наше время в мире присутствует необходимость в экологически чистых источниках энергии. Например, солнечная энергия, в отличие от нефти, газа, угля и др. – является экологически чистым ресурсом. При создании электроэнергии с использованием солнечных электростанций в атмосферу не выбрасываются парниковые газы. К тому же, поскольку солнце производит большее количество энергии, чем нам когда-либо понадобится, то электричество, полученное от солнечной энергии, является очень важным источником при переходе на экологически чистое производство [7].

Альтернативная энергетика может помочь с решением проблемы получения дополнительной энергии. Во всем мире начинают развиваться автономные малые энергетические установки. С помощью них происходит получение возобновляемой энергии. Для решения диссертационной проблемы можно использовать энергию ветра и/или энергию солнца.

Энергия ветра преобразуется в электричество за счет использования ветряков. Если установить ветрогенераторы в городе массово, то они, теоретически, могут уменьшить скорость движения воздушных масс. Город Тольятти не может похвастаться экологичностью. Наличие ветра позволяет унести опасные загрязненные массы воздуха в другое место.

Снижение скорости движения воздушных масс может изменить климат в регионе на более континентальный. Это связано с тем, что движущийся более медленно воздух успеет сильнее нагреться летом и меньше остыть зимой. Медленные потоки воздуха могут повлиять на величину влажности территорий. Так же ветроустановки генерируют шум. Они опасны для животных и птиц. Ветроустановки содержат подвижные части. Это влияет на уровень надежности генераторной установки.

Если выполнить сравнение ветряной энергетики и солнечной энергетики, учтя все минусы ветряков, то выбор исследования падает на солнечные электростанции.

Энергетика, основанной на энергии солнца, считается безопасным зеленым видом энергии. Некоторые ученые считают, что массовая установка солнечных электростанций может поменять рассеивающую способность Земли (альбедо). Это может изменить климат на всей планете. Однако, это не подтверждено [8-15].

Итак, выведем основные требования для солнечной электростанции:

1. Автономная работа;
2. Возможность применения в выбранной климатической зоне;
3. Минимальный срок окупаемости при сопоставимом качестве компонентов;
4. Срок службы – максимально большой;
5. Зеленая энергия.

Для данных требований как-никак подходит солнечная электростанция.

Появление солнечной энергетики, как таковой, связано с бесплатностью и общедоступностью энергии. Источником этой энергии является солн-

це. Ученые с давних времен пытались «приручить» солнце на пользу человечества.

В 1873-ем году Уиллоуби Смит определил, что селен чувствителен к солнечному свету. Однако, объяснить это явление у него не получилось. В 1877-ом году двое ученых – Дэй и Адамс заметили влияние солнца на селен. Объяснить это явление им так же не удалось. Чарльз Фриттс смог применить эффект воздействия солнца на селен для хозяйственных потребностей, но физика процесса не была описана. Разработанный в те годы прототип солнечной панели имел низкий КПД и был забыт.

В 1905-ом году Альберт Эйнштейн приложил руку к солнечным батареям. Он объяснил физику процессов, происходящих при фотоэффекте. На этом принципе и работают солнечные панели. Электрические справочники говорят, что первая солнечная батарея была сконструирована в 1954-ом году. Солнечная панель была изготовлена на основе кремния учеными: Гордоном Пирсоном, Дериллом Чапином и Кэлом Фуллером. В то время КПД панели был меньше 5%.

Год за годом характеристики солнечных панелей улучшались. В настоящее время уже изготавливаются солнечные панели с КПД до 44,7%. В среднем КПД панели составляет около 15%. Развитые страны начинают переходить на солнечную энергетику, объясняя это экологичностью, бесплатностью и повсеместной доступностью.

Типовая солнечная панель площадью 1 м² в солнечный день выдает мощность до 120 Вт. Этого достаточно, чтобы запитать 100 Вт лампочку. Чайник, подключенный к такой панели, не сможет вскипятить воду. Для работы чайника мощностью 2000 Вт необходимо 20 солнечных панелей, т.е. около 20 м² открытого солнечного пространства. Для создания мегаваттных электростанций требуются большие освещенные солнцем пространства. Дополнительное оборудование: инвертор, аккумуляторы, контроллер так же требуют некоторого места для их размещения. Проблема с пространством в настоящее время решается: солнечные панели размещают в необжитых райо-

нах, в пустынях или устанавливают на высотах выше 2 метров. Это позволяет использовать земли под ними для сельского хозяйства.

Развитие солнечной энергетики натывается на ограничение уровня технологий. Первым шагом для применения солнечной энергии является запитывание слаботочных потребителей. Именно так можно доказать, что солнечная энергетика может быть автономной и децентрализованной.

За последние 15 лет стоимость солнечных панелей упала с 12 до 2 долларов за 1 Вт вырабатываемой энергии. Важно заметить, что солнечная энергия фактически является бесплатной. В долгосрочной перспективе рассматриваемая электроэнергия станет сверхприбыльной [16].

Максимальная активность солнца наблюдается днем. В этот период времени солнечная панель генерирует максимум энергии. Суточный график потребления электроэнергии говорит о том, что максимальное потребление электричества наблюдается вечером. Появляется несоответствие между интервалами выработки максимума электрической энергии солнечными панелями и интервалами максимального потребления электричества [17-19].

Неблагоприятные погодные условия могут вывести из строя солнечную электростанцию. Потребуется дополнительные затраты на защиту панелей от града или сильных бурь. Солнечные панели большой мощности имеют большие габариты, т.е. высокую парусность. Порыв ветра легко ломает такую панельку без дополнительной защиты.

Для питания потребителей вечером, ночью и утром электроэнергию необходимо запасать днем. Существуют различные подходы в хранении энергии: аккумуляторные батареи, преобразование электрической энергии в кинетическую энергию (вращение массивного тела), преобразование электрической энергии в потенциальную энергию (запасаем жидкость высоко над землей), электричество в энергию сжатого газа [20-22].

Целью данной работы является разработка автономной солнечной электростанции, способной выполнять электроснабжение слаботочных систем освещения при отсутствии электричества до 24 часов [23-24].

Согласно ПУЭ, отключение электроэнергии у потребителей 3-ей категории возможно на время ремонта - до 24 часов.

Для решения данной цели необходимо выполнить ряд задач:

1. Анализ способов преобразования солнечной энергии в электроэнергию и выбор наиболее актуального.
2. Выбор компонентной базы для солнечной электростанции
3. Разработка системы хранения и преобразования энергии для поддержания независимой работоспособности солнечной электростанции в течении 24 часов.

1 Анализ способов преобразования солнечной энергии в электроэнергию

В первом разделе рассмотрены варианты преобразования солнечной энергии в электричество. Любая солнечная электростанция основана на преобразовании солнечного света в электрическую энергию. Различают несколько способов преобразования солнечной радиации, зависящих от конструкции электростанции [25-29].

Принципиально солнечные электростанции (СЭС) могут быть двух типов: фотоэлектрические и термодинамические [30-35].

1.1 Термодинамические СЭС (CSP)

Для выработки электроэнергии используется энергия солнечного излучения (тепловая энергия солнца), которая преобразуется в механическую, а затем в электрическую. Термоэлектрогенераторы работают по принципу появления на выводах разнородных проводников ЭДС (термоэлектрический эффект). Если концы этих проводников находятся при разной температуре. Зеркала CSP концентрируют тепло от солнца в фокусе, которое затем приводит в действие паровой двигатель для производства электричества. CSP требуют большого количества пространства и непрерывного солнечного света. Преобразование солнечной радиации в электростанциях данного типа осуществлено по принципам солнечного коллектора.

Данный тип СЭС включает в себя:

1.1.1 СЭС башенного типа

Также известная как гелиостат, данная СЭС представляет собой тип солнечной печи, использующей башню для получения сфокусированного солнечного света. СЭС использует массив плоских подвижных зеркал, называемых гелиостатами, чтобы сфокусировать солнечные лучи на коллекторную башню. В ранних разработках эти лучи использовались для нагрева во-

ды, а полученный пар - для питания турбины. Позднее были продемонстрированы новые конструкции с использованием жидкого натрия, и в настоящее время работают системы с использованием расплавленных солей в качестве рабочих жидкостей. Эти жидкости обладают высокой теплоемкостью, которую можно использовать для накопления энергии. Эти конструкции также позволяют генерировать энергию, когда солнце не светит (рисунок 1.1.).

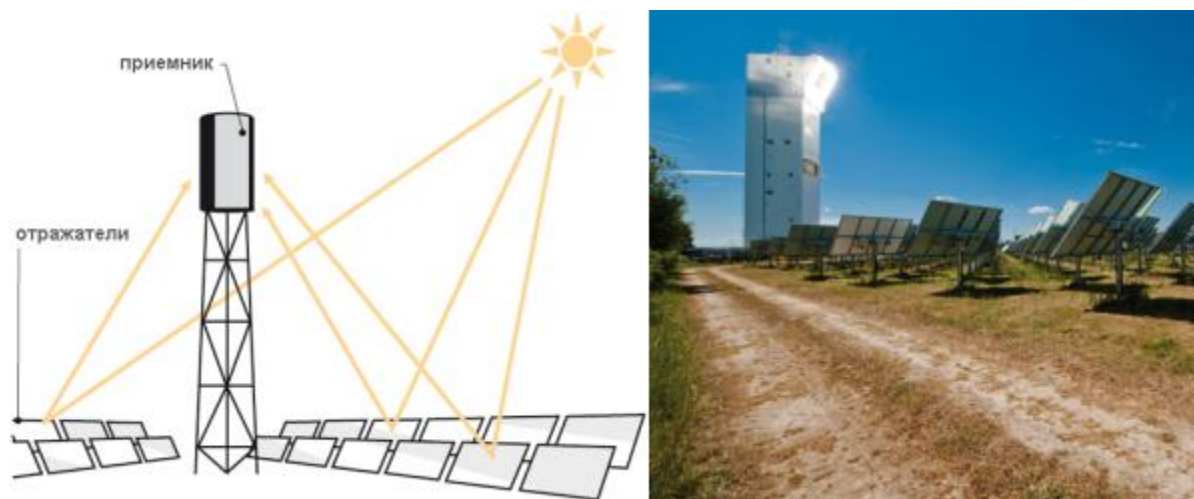


Рисунок 1.1 - Солнечная электростанция башенного типа

1.1.2 СЭС, использующие параболические концентраторы

Принцип работы СЭС на параболическом концентраторе прост. Теплоноситель подогревается с помощью сконцентрированной концентраторами энергии солнца. Когда параметры теплоносителя достигнут необходимых параметров, его подают в турбогенератор.

Этот тип является наиболее распространенным типом термодинамических СЭС. Параболические желоба используют ряды изогнутых зеркал с фокусом на приемных трубках, которые проходят по длине зеркал. Интенсивный солнечный свет, сфокусированный от зеркал в форме желоба, нагревает жидкость внутри трубок. Затем горячие жидкости нагревают воду и таким образом вращают паровую турбину для выработки электроэнергии (рисунок 1.2.).



Рисунок 1.2 - СЭС, использующая параболические концентраторы

1.1.3 СЭС тарельчатого типа

СЭС тарельчатого типа содержит два важных элемента - отражатель и приемник. Отражатели в виде параболы из зеркал размещаются на опорах. Фокус отражателя нацелен на приемник. Каждый отражатель содержит 10

зеркал. Каждое зеркало настраивают индивидуально так, чтобы максимум солнечной энергии попало на приемник. В качестве приёмника можно применить двигатель Стирлинга. Двигатель можно подключить с генератором. Так же к двигателю Стирлинга необходимо подключить резервуар с жидкостью. Обычно – водой. Вода закипая, превращается в пар. Пар крутит турбину.

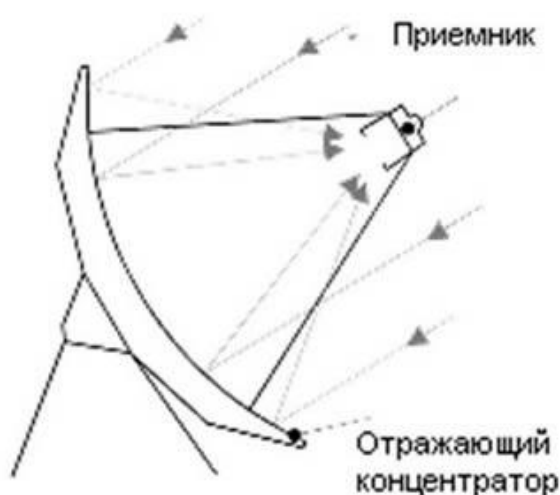


Рисунок 1.3 - Солнечная установка тарельчатого типа

Так же различают два отличных типа СЭС, не относящихся к вышеперечисленным:

1.1.4 Солнечно-вакуумные электростанции

Работают по принципу перепада температур. Когда солнце нагревает специально сооружённую оранжерею, поток воздуха устремляется через трубу, находящуюся в центре оранжереи, вверх, и вращает турбину. Тяга постоянна, поскольку солнце разогревает воздух в определённом объеме, закрытом стеклом (рисунок 1.4).

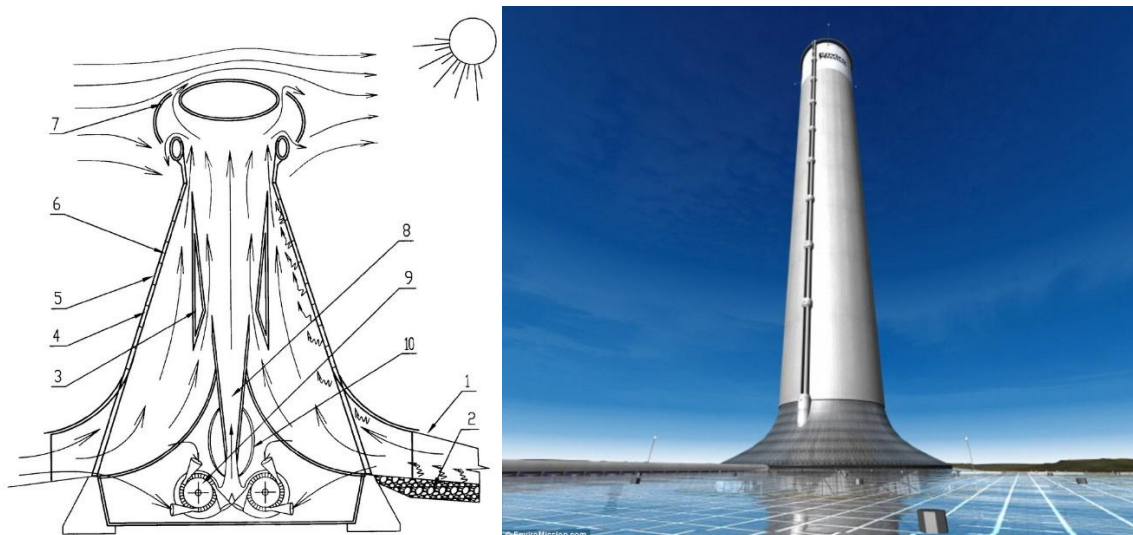


Рисунок 1.4 – Солнечно-вакуумные электростанции

1.1.5 Комбинированные СЭС

Технология является, объединяющей солнечную тепловую энергию с традиционными турбинами, работающими на ископаемом топливе, когда к теплообменным аппаратам подключают коммуникации горячего водоснабжения и отопления, либо используют для технических нужд. Тепловая энергия является вспомогательной энергией для обычного цикла, работающего на ископаемом топливе, для производства дополнительной электроэнергии при относительно низких затратах.

1.2 Фотоэлектрические СЭС (PV)

Принцип работы состоит в том, что электричество генерируется непосредственно из солнечного света посредством фотоэлектрического эффекта, который происходит естественным образом в определенных типах материалов, называемых полупроводниками. Фотоэлектрические устройства могут использоваться для питания чего угодно, от небольшой электроники, такой как калькуляторы и дорожные знаки, до домов и крупных коммерческих предприятий.



Рисунок 1.5 – Фотоэлектрические солнечные панели

1.3 Выводы по первому разделу

Первыми появилась концепция солнечных коллекторов (солнечных термодинамических электростанций), в которых электричество вырабатывает жидкость, нагретая до температуры кипения под сконцентрированными солнечными лучами. Однако, не всегда оптимально использовать такой вид преобразователей.

Солнечные батареи на фотоэлектрических панелях более эффективна. Это связано с тем, что панели производят электричество непосредственно, то есть прямой трансформацией. С данным способом преобразования теряется значительно меньше энергии, чем при многоступенчатом, как у коллекторов (концентрация солнечных лучей, нагрев воды и выделение пара для вращения паровой турбины, выработка электричества генератором).

Каждый фотоэлектрический элемент состоит из двух кусков полупроводящего материала, обычно кремния - того же материала, который используется в микроэлектронике.

Фотоэлектрические панели не имеют неподвижных частей, надежны, долговечны. С каждым годом их стоимость снижается.

Компоненты для солнечной электростанции стоят дорого. Традиционная энергетика в Российской Федерации имеет низкую стоимость. Это влияет на срок окупаемости электростанции. Для снижения расходов на солнечную энергетику электростанция должна быть надежна, автономна, иметь минимально-возможное обслуживание.

Анализ существующих решений преобразования энергии солнца в электричество показывает, что с точки зрения заданной практической значимости лучше всего подходят фотоэлектрические солнечные панели. Солнечную электростанция будет создаваться на основе солнечных панелей.

2 Выбор компонентной базы для солнечной электростанции

Во втором разделе рассмотрен принцип действия солнечной электростанции. Так же будет рассмотрен выбор компонентов солнечной электростанции, основанных на применении фотоэлектрических солнечных панелей. Из выбранной компонентной базы будет разработана автономная солнечная электростанция.

2.1 Устройство и принцип работы солнечной электростанции

Любая автономная солнечная электростанция на основе фотоэлектрических солнечных панелей (далее солнечная электростанция) содержит минимум 4 блока (рисунок 2.1):

- Солнечная панель;
- Контроллер заряда аккумуляторной батареи;
- Аккумулятор;
- Инвертор.

Рассмотрим каждый из этих блоков отдельно.



Рисунок 2.1 – Устройство солнечной электростанции

2.1.1 Солнечная панель. Принцип действия

Когда солнечный свет попадает на солнечную батарею (даже в пасмурную погоду), фотоэлементы принимают фотоны и превращают их в электричество. Иными словами, фотоны выбивают электроны из своих атомов (рисунок 2.2) [36-39].



Рисунок 2.2 – Принцип действия солнечной панели

Проводники, прикреплённые к положительному и отрицательному полюсам ячейки, образуют электрическую цепь. Когда электроны проходят через такую цепь, они генерируют электричество. Несколько ячеек составляют солнечную панель, несколько панелей (модулей) могут быть соединены вместе, чтобы сформировать солнечную батарею. Чем больше батарей будет размещено, тем больше энергии можно получить.

Далее металлические проводящие пластины по бокам ячейки собирают электроны и переносят их на проводники. Происходит генерация постоянного напряжения.

Фотоэффект в солнечной панели возникает только при попадании на ее поверхность фотонов. На улице источником фотонов является солнце. Ночью КПД любых солнечных панелей стремится к нулю. В утренние и вечерние часы, в облачную погоду эффективность монокристаллических солнечных панелей очень низка. Поликристаллические панели незначительно снижают

выходную мощность, т.к. они хорошо поглощают даже рассеянные лучи солнца. Для ультрафиолетового излучения облака не являются преградой.

Максимальная активность солнца наблюдается днем. В этот период времени солнечная панель генерирует максимум энергии. Наибольшее потребление электричества на освещения наблюдается утром и вечером, т.е. в темное время суток. В дневное время суток освещение может не потребоваться.

Видно несоответствие между интервалами выработки максимума электрической энергии солнечными панелями и интервалами максимального потребления электричества.

Солнечная батарея состоит из фотоэлементов. Рабочую поверхность солнечных панелей необходимо периодически очищать от пыли и мусора. Солнечные панели проблематично использовать в регионах, где часто выпадают осадки, особенно снег. Снег необходимо убирать с рабочей поверхности, т.к. он сильно мешает работе солнечной панели. Затемнение фотоэлемента приводит к снижению разности потенциалов на выходе панели. Это объясняется потерями на неосвещенном элементе, который становится паразитной нагрузкой. Данную проблему можно решить установкой байпаса для каждого фотоэлемента.

Эффективность работы солнечной батареи снижается при увеличении ее температуры. Это связано со структурой фотоэлементов. В солнечный день обратная сторона панелей может нагреваться до 100°C , поэтому появляется дополнительная задача в охлаждении солнечных панелей [41].

Неблагоприятные погодные условия могут вывести из строя солнечную панель. В этом случае могут потребоваться дополнительные затраты на защиту панелей от града или сильного ветра. Солнечные панели большой мощности имеют большие габариты, т.е. высокую парусность. Порыв ветра легко сломает такую панель, если она будет без дополнительной защиты.

Снег в зимнее время года мешает активному развитию солнечной энергетики. От снега необходимо очищать солнечные панели. Минусовая темпе-

ратура зимой снижает характеристики панелей электричества. Однако, аккумуляторы можно хранить в тепле.

Зимой наблюдается высокий коэффициент отражения снега. Значение альбедо может достигать 85%. Отраженный свет, попадая на солнечные панели, увеличивает количество получаемой электроэнергии.

Для решения проблем со снегом можно использовать статичные солнечные панели, расположенные вертикально. Снег зимой на вертикальных панелях не будет скапливаться. В результате снизится количество времени, требуемое на обслуживание панелей – чистка от снега.

При вертикальном расположении солнечные панели будут преобразовывать падающие и отраженные (рассеянный свет) от снега солнечные лучи. Панели нужно направить на южную сторону.

2.1.2 Типы солнечных панелей

Солнечная панель представляет собою несколько фотоэлементов, выполненных из полупроводников. Данные фотоэлементы соединяются в цепь. В полупроводниках происходит прямое преобразование солнечной энергии в электричество.

Кремниевые солнечные панели - самые популярные. Это легко объяснить тем, что кремний широко распространен в земной коре. Он имеет низкую себестоимость и высокие показатели производительности, в сравнении с другими видами солнечных панелей [4].

Рассмотрим подробнее каждый из видов фотоэлементов (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Типы солнечных панелей

2.1.2.1 Монокристаллические фотоэлементы

Данный тип солнечных панелей является наиболее распространенным и наиболее эффективным типом. Монокристаллы делают по методу Чохральского. Для этого нужен высокоочищенный кремний. После того, как монокристалл затвердевает, его нарезают на квадраты или «пластины», образующие солнечную панель. В результате получается высококачественный кристалл, похожий на те, которые используются в компьютерных чипах. Термин «моно» означает, что все нарезаемые панели являются практически идентичными, именно это делает монокристаллические кремниевые солнечные панели такими эффективными.

Обычно монокристаллические панели не являются идеально квадратными, поскольку имеют срезанные углы. Эта техника помогает потоку энергии, проходящему по сетке из электродов, быть еще более эффективным. Электроны движутся через панель быстрее, если острота углов каждого элемента была уменьшена.

Несомненно, монокристаллические кремниевые солнечные панели являются высокоэффективными, но их эффективность сводится к цене. Как правило, это самый дорогой тип солнечных батарей на рынке. КПД данных

батарея достигает 20%. Для получения отличных характеристик панель необходимо направлять перпендикулярно лучам солнца.

2.1.2.2 Поликристаллические фотоэлементы

Поликристаллы создают из кремния, имеющего худшую степень очистки. Так же их можно создавать и из вторсырья. При этом на создание поликристаллов нужно меньше энергии. В результате поликристаллические пластины стоят дешевле монокристаллических.

Для получения поликристалла, кремниевую субстанцию медленно охлаждают. При изготовлении данного типа панелей затрачивается меньшее количество энергии, чем при монокристаллических, однако их эффективность ниже. Эти солнечные элементы имеют квадратную форму. Относительно низкая эффективность объясняется тем, что электроны оказываются в ловушке между кристаллами, в отличие от монокристаллических ячеек, в которых зёрна кристаллов расположены параллельно. Из-за этого солнечные панели из поликристаллического кремния дешевле, но они все еще могут производить достаточное количество энергии.

Такие солнечные панели могут работать при пасмурной погоде и от рассеянного света.

2.1.2.3 Аморфные фотоэлементы

Этот тип можно отнести и к кремниевым панелям, поскольку кремний является материалом изготовления, и к плёночным, потому что они изготовлены по принципу их производства. Поскольку выходная электрическая мощность низкая, солнечные элементы на основе аморфного кремния обычно используются только для небольших устройств, таких как карманные калькуляторы.

2.1.2.4 На основе теллурида кадмия

Кадмий является материалом с очень высоким показателем светопоглощения. Теллурид кадмия является единственной технологией плёночных

солнечных панелей, которая экономически превзошла эффективность поликристаллических и монокристаллических солнечных панелей на значительной части рынка. Эффективность панелей на основе кадмия обычно находится в диапазоне 9-11%.

2.1.2.5 На основе селенида меди-индия

По сравнению с другими плёночными технологиями, описанными выше, описываемые солнечные элементы показали наибольший потенциал с точки зрения эффективности. Ко всему прочему, эти солнечные элементы содержат меньшее количество токсичного материала кадмия, который сполна содержится в теллурид-кадмиевых солнечных элементах. Показатели эффективности для этих солнечных панелей обычно работают в диапазоне 20-21%.

2.1.2.6 На основе полимеров

В качестве светопоглощающих материалов используются полупроводники - полифенилен, фуриллены, фталоцианин меди. КПД полимерных солнечных батарей равно около 5-6%. Главное достоинство – дешевая стоимость производства. Такие панели доступны по цене, они не оказывают вредного воздействия на окружающую среду. Основное направление их использования – объекты, необходима механическая эластичность и возможность утилизации без причинения вреда экологии.

2.1.2.7 Обобщение данных о фотоэлектрических панелях

С каждым годом КПД солнечных батарей растет. Себестоимость – снижается. Помимо самой технологии производства на характеристики солнечных панелей оказывают влияние и другие факторы.

При увеличении температуры окружающей среды, нагреваются солнечные панели. В результате их КПД снижается. Если часть рабочей панели затемнить, то это приведет к появлению паразитной нагрузки. Неосвещенные части панели начинают потреблять энергию. Это приводит к снижению вы-

ходного напряжения. От таких проблем можно избавиться, если подключить байпас к каждому блоку солнечной панели.

Солнечные панели имеют гарантированный срок службы при потере номинальной мощности до 10% - 10 лет. С потерей мощности до 80% - 20-25 лет. В целом, солнечные панели можно эксплуатировать 35 лет.

Сравнение всех видов солнечных панелей сведем в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Сравнение видов солнечных панелей

Тип солнечных панелей	Возможный уровень эффективности (КПД)	Плюсы	Минусы
Монокристаллические	~20%	Высокая эффективность; оптимизированность для коммерческого использования; высокая продолжительность жизни	Высокая стоимость Необходимо направлять перпендикулярно солнцу
Поликристаллические	~15%	Низкая цена Работают в пасмурную погоду, преобразуют и рассеянный свет.	Чувствительность к высоким температурам; низкая продолжительность жизни и плохая эффективность пространства

Продолжение таблицы 2.1

Аморфные	~7%	Относительно низкая стоимость; простые в производстве	Короткие гарантии и продолжительность жизни
Теллурид кадмия	11%	Один из дешевых вариантов стоимости электроэнергии на 1 кВт.	Высокое загрязнение окружающей среды из-за присутствия токсичного материала – кадмия. Низкий КПД
Селенид меди-индия	~17%	КПД может составлять до 20%. Отсутствует высокое загрязнение окружающей среды из-за отсутствия токсичного материала - кадмия	Дорогие.
Полимерные	~6%	Низкая стоимость, доступность, экологичность. Панели эластичны. Толщина пленки около 100 нм.	Низкий КПД.

2.1.3 Категории фотоэлектрических солнечных панелей

Все фотоэлементы делятся на несколько категорий:

1. Класс А. При их создании используется самый чистый кремний, следовательно, они имеют самое высокое качество. Панели класса А не имеют видимых дефектов. При близком осмотре данный класс может иметь небольшой изгиб (2 миллиметра или менее), или очень лёгкое отклонение цвета от основного.

2. Класс В. Панели класса В могут иметь дефекты, которые видны невооруженным глазом. Допустимые дефекты: изгиб панели (2-2,5 мм), отклонение цвета, царапины длиной до 50 мм. Эти панели имеют тот же выходной ток, что и панели класса А.

3. Класс С. К нему относятся фотоэлементы, имеющие недостаток, который влияет на выходную мощность, поэтому она ниже, чем у ячеек класса А и В, однако цена этого класса самая низкая. Данные ячейки могут быть частично сломаны, но могут быть разрезаны и использованы в качестве панелей меньшего размера.

4. Класс D. Ячейки этого класса, в отличие от предыдущего, сломаны настолько сильно, что не могут быть разрезаны на более мелкие части.

Для применения в проекте предлагается использовать солнечные панели класса А или В.

2.1.4 Климатические и географические условия применения

Уровень инсоляции или облучения показывает количество энергии, попавшей на поверхность земли на единицу поверхности за единицу времени. На рисунке 2.4 показана карта уровней инсоляции в различных местах Европы и Азии. Уровень инсоляции зависит от географической широты, от высоты солнца над горизонтом, от угла наклона и ориентации поверхности земли. Чем выше уровень инсоляции, тем больше электрической энергии можно получить с одного квадратного метра земли. В России из-за большой протяженности страны уровень инсоляции колеблется от 800 до 1400 кВт*ч/м² в год [19, 29].

Примем расположение солнечной электростанции в г. Тольятти, Самарской области. Тольятти находится в средней полосе Российской Федерации [17,31].

Солнечные панели, а также аккумуляторные батареи меняют свои характеристики при смене температуры окружающей среды. Выполним анализ

инсоляции и температуры в г. Тольятти. В результате сделаем вывод: возможно ли применение солнечных панелей в этой местности.

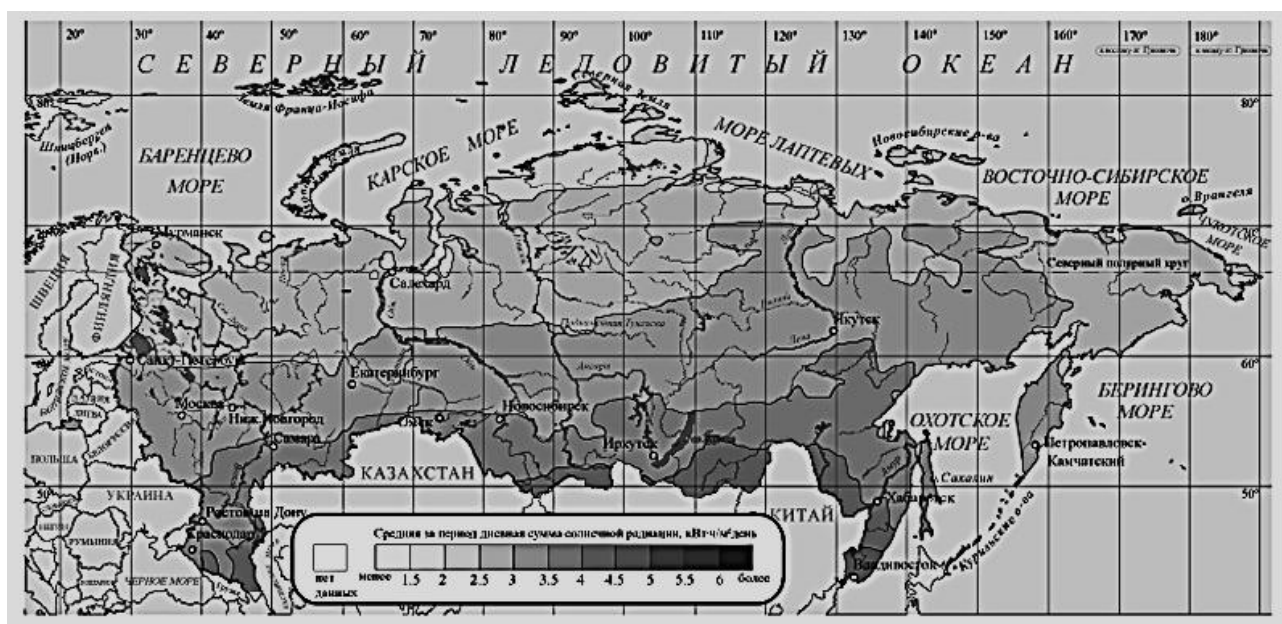


Рисунок 2.4 – Карта инсоляции

Климат в г. Тольятти – континентальный. Летом жарко, зимой холодно. Благодаря наличию ГЭС имени Ленина, климат более мягок на расстоянии до 3 километров от Куйбышевского водохранилища. Город Тольятти состоит из 3 районов: Комсомольский, Центральный и Автозаводский районы. Каждый район находится отдельно друг от друга. Районы разделены лесом. Рельеф г. Тольятти не оказывает значительное влияние на микроклимат [17,18].

В январе средняя температура составляет « -10.6°C ». В июле – « $+20.9^{\circ}\text{C}$ ». Абсолютный максимум был в 2010 году – « $+40.5^{\circ}\text{C}$ ». Абсолютный минимум « -43.4°C » наблюдался в январе 1979 г. Среднегодовая температура – « $+5.1^{\circ}\text{C}$ ». За городом температура обычно отличается на 1.2°C - $4,5^{\circ}\text{C}$.

В холодное время года выпадает – 160 мм осадков. Общее среднее количество - 493 мм/год. В 1965 и в 1966 г.г. количество осадков составляло 355 мм и 615 мм соответственно. Так же бывают засухи.

Солнечных дней в среднем в г. Тольятти - 285. Это около 2113 часов для возможности выработки электроэнергии из энергии солнца.

С помощью программы Pvsyst можно получить требуемые характеристики для дальнейшего использования солнечных панелей. Эта программа содержит информацию о движении солнца для нужных координат, наличие облаков, альбедо и прочее [18,31,42-43].

Для Самарской области, находящейся в средней полосе России, график солнечной инсоляции изображен на рисунке 2.5. Данный график описывает среднемесячную выработку энергии солнечными панелями, направленными на Юг. При условии, если их установить под углом 38° .

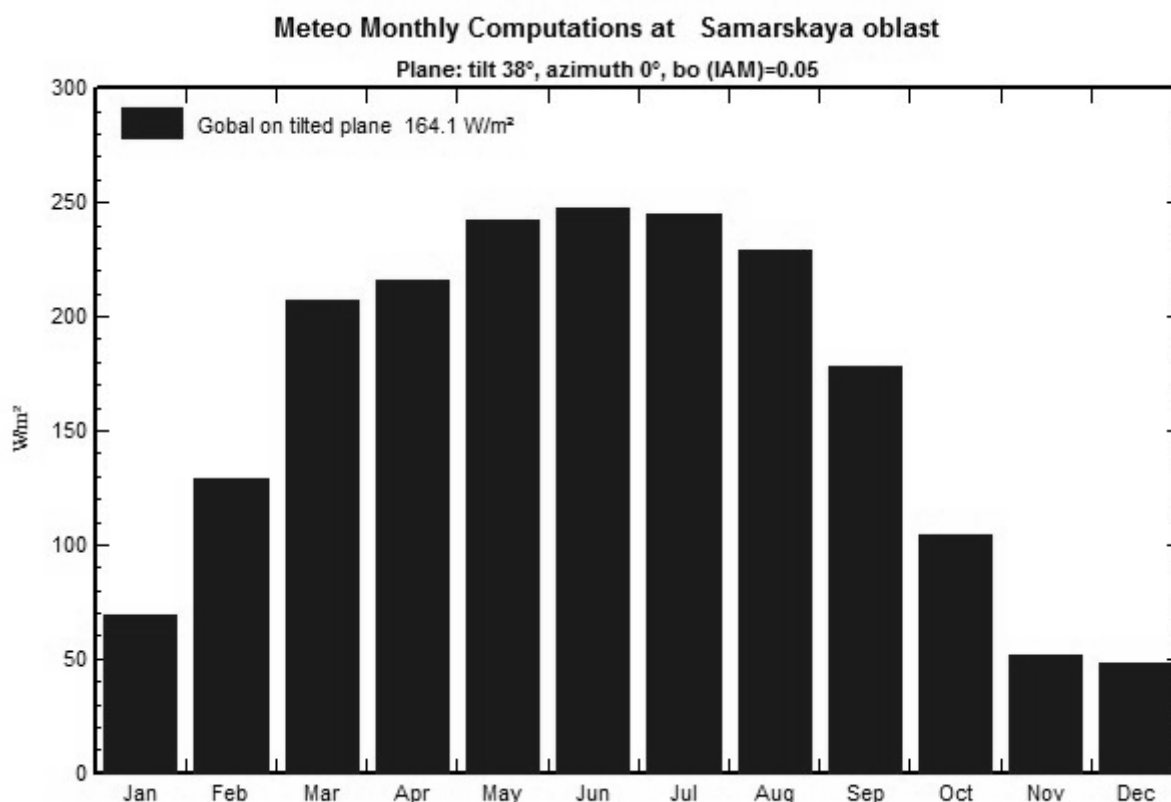


Рисунок 2.5 – График годовой выработки энергии, когда солнечная панель направлена на Юг под углом 38°

Анализ возможных наклонов панели показал, что именно угол 30° позволяет получить максимум энергии из солнечной панели. Если солнце будет

падать прямо перпендикулярно на солнечную панель, то для идеальных условий летом количество сгенерированной электроэнергии увеличится. Однако, для зимних месяцев выработка энергии резко падает. Это связано с тем, что солнце не поднимается высоко. Чтобы сбалансировать генерацию энергии панелями можно либо перестраивать наклон солнечных панелей весной и осенью, либо наклонить их под углом. В этом случае уменьшится разность вырабатываемых минимум и максимумов.

2.1.5 Альbedo поверхности Земли

Большая часть солнечных панелей может преобразовывать энергию солнца, не только непосредственно упавшего на панель, но и отраженную часть. Иными словами, солнечные панели могут работать от прямого и диффузного излучения.

Коэффициентом альbedo называют способность поверхности отражать солнечный свет. Число выражается в безразмерной величине и может принимать значение от 0 до 1. Альbedo нужно учитывать, если солнечные панели имеют наклон относительно земли больше 0° . Для угла наклона, равного 0° коэффициент Альbedo близок к нулю. По формуле 2.1 можно найти величину альbedo:

$$A = \frac{1 - \cos \alpha}{2} \quad (2.1)$$

где α – угол наклона плоскости относительно горизонтали.

В таблице 2.2. приведены типовые значения коэффициента альbedo для поверхностей.

Дополнительной причиной установки солнечных панелей под углом к поверхности – использование рассеянного света зимой. Зимой все покрыто снегом, значит высока степень диффузного света. Согласно таблице 2.2 зимой свет, отразившийся от снега, имеет коэффициент альbedo от 0,5 до 0,9.

Таблица 2.2. – Типовые значения коэффициента альбедо для поверхностей

Тип поверхности	Коэффициент альбедо
Асфальт	0,12
Зелёная трава	0,25
Песок	0,40
Поверхность земли	0,17
Только что выпавший снег	0,80 – 0,90
Хвойный лес	0,09 – 0,15
Лиственный лес	0,15 – 0,18
Тающий снег	0,5 – 0,7
Вода	0,10

После создания модели установки вертикальных солнечных панелей в программе Pvsyst получим среднегодовой график возможной генерации солнечной энергии с помощью солнечных панелей (рис. 2.6).

Видно, что у графика минимумы и максимумы уменьшились. Разница не более чем в 3 раза. У изначального графика (рис.2.5) разница была более чем в 5 раз. Из графика (рис.2.6.) видно, что рассеянный свет может достигать 50% от прямого падающего света.

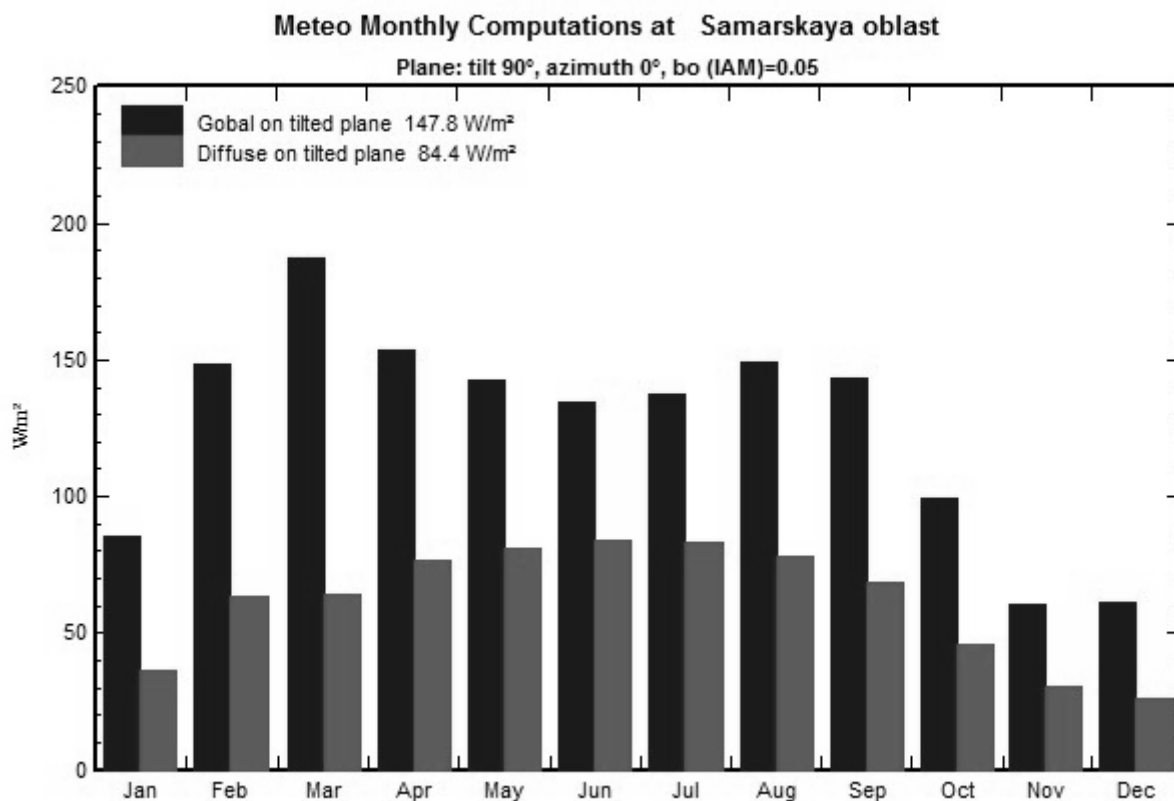


Рисунок 2.6 – Средний график генерации электричества солнечными панелями с учетом коэффициента альбеда

2.2 Инверторы

Солнечные панели вырабатывают постоянного напряжения. К сожалению, большинство электроприборов не могут использовать данный тип электроэнергии, поэтому солнечные электростанции так же включают в себя инверторы [44-49].

Инвертор – устройство, которое преобразует постоянный ток в переменный. Инверторы являются «мозгом» системы. Наряду с преобразованием напряжения постоянного тока в переменный ток, инверторы также обеспечивают защиту от замыкания и отслеживание системной статистики. Выходное напряжение автономных инверторов в большинстве случаев составляет 220В (рис.2.7).

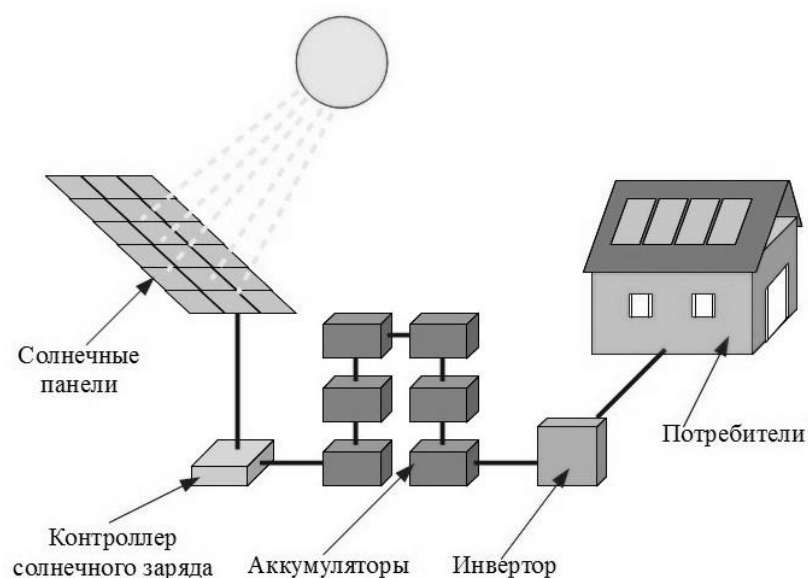


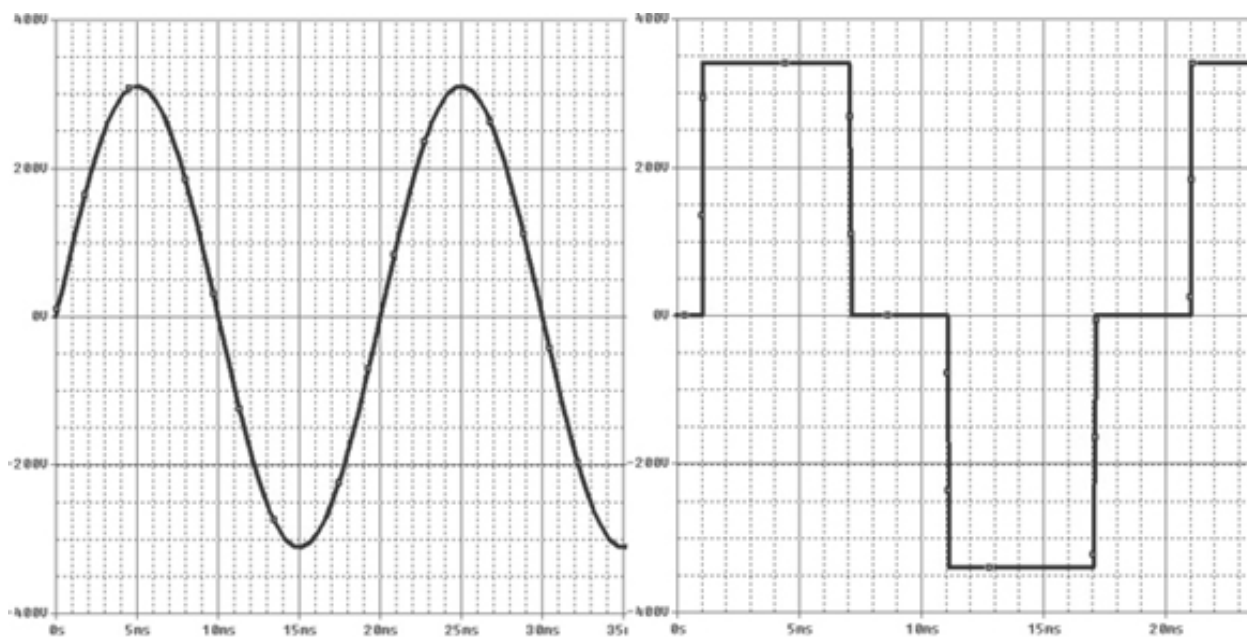
Рисунок 2.7 - Схема подключения инвертора к солнечной панели через аккумулятор

Преобразованная мощность переменного тока используется для работы таких приборов, как телевизор, холодильник, микроволновая печь и т.д. Для некоторых конкретных приборов мощность постоянного тока от солнечной панели может быть использована напрямую (светодиоды, зарядное устройство для сотового телефона). Однако, как правило, мощность домашней солнечной энергосистемы в основном используется в виде переменного тока.

Инверторы могут на выходе выдать чистый синусоидальный сигнал (рисунок 2.8 а) или модифицированный синус (рисунок 2.8 б).

Инвертор, выдающий чистый синус может запитать любой электроприемник, рассчитанный на синусоидальный сигнал. Запитывать электроприемник от модифицированного синуса – опасно. Большинство электроприемников могут выйти из строя или начать сильно греться.

Цены на инверторы с чистым и модифицированным синусом различны. Инверторы с выходным модифицированным синусом – дешевле. Однако, инверторы, выдающие чистый синус, характеризуются меньшими потерями и лучшими показателями качества электроэнергии.



а) б)

а) Чистый синусоидальный сигнал

б) Модифицированный синусоидальный сигнал

Рисунок 2.8 – Виды выходного сигнала с инвертора

Каждый инвертор характеризуется набором параметров. Один из важных параметров – КПД. У инверторов он может составлять 98%. Если КПД инвертора ниже 90%, то его не следует использовать для построения солнечной электростанции.

Важными параметрами инвертора так же считаются: класс защиты IP, срок службы, количество выходов синусоидального сигнала...

2.2.1 Виды инверторов

У всех типов инверторов одна и та же основная задача: преобразовать солнечную энергию постоянного тока в полезную энергию переменного тока. Тем не менее, есть три различных типа инверторов, и каждый из них работает по-своему. Рассмотрим каждый из них.

2.2.1.1 Автономные инверторы

Данный вид инвертора называется еще off grid. Такие инверторы используют там, где отсутствует электричество.

2.2.1.2 Сетевые инверторы

Данный вид инвертора называется еще on grid. Такие инверторы работают синхронно с электрической сетью. Помимо преобразования постоянного напряжения в переменное, такого рода инверторы еще контролируют амплитуду и частоту сети. Сетевые инверторы используют без АКБ. Энергия из солнечных панелей сразу сбрасывается с сеть.

2.2.1.3 Гибридные инверторы

Гибридными инверторам является смесь сетевых и автономных инверторов. Их еще называют «аккумуляторно-сетевыми». Такого типа инверторы имеют множество настроек для оптимального энергоснабжения от сети и от АКБ.

Этот тип инверторов применяется в схемах, где используется резервное хранение полученной от солнца энергии в аккумуляторной батарее. Излишки неиспользуемой энергии передаются в электросеть. Синхронные инверторы способны обеспечивать подачу энергии переменного тока в сеть во время перебоев в подаче электричества. В пасмурные дни, когда эффективность работы солнечных батарей достаточно низкая, приборы могут работать от традиционной электросети, и потребителю не понадобится отдельная аккумуляторная батарея для СЭС.

2.2.2 Солнечная электростанция и мощность инвертора

Для выбора требуемой мощности инвертора необходимо знать мощность солнечных панелей, вырабатывающих электроэнергию и максимальную потребляемую мощность нагрузкой.

Солнечные электростанции малой мощности до 5 кВт обычно подключаются к одному инвертору. Для электростанций большей мощности исполь-

зуют каскадное подключение инверторов. В этом случае, если один из инверторов выйдет из строя, то не все солнечные панели будут простаивать.

2.2.2.1 Правила выбора мощности инвертора в зависимости от мощности солнечных панелей

Большинство рекомендаций по выбору инвертора заключается в выборе инвертора мощнее на 30%, чем солнечные панели. При инсоляции ниже 1000 Вт/м^2 данные рекомендации могут только навредить: производительность солнечных электростанции падает (рисунок 2.9).

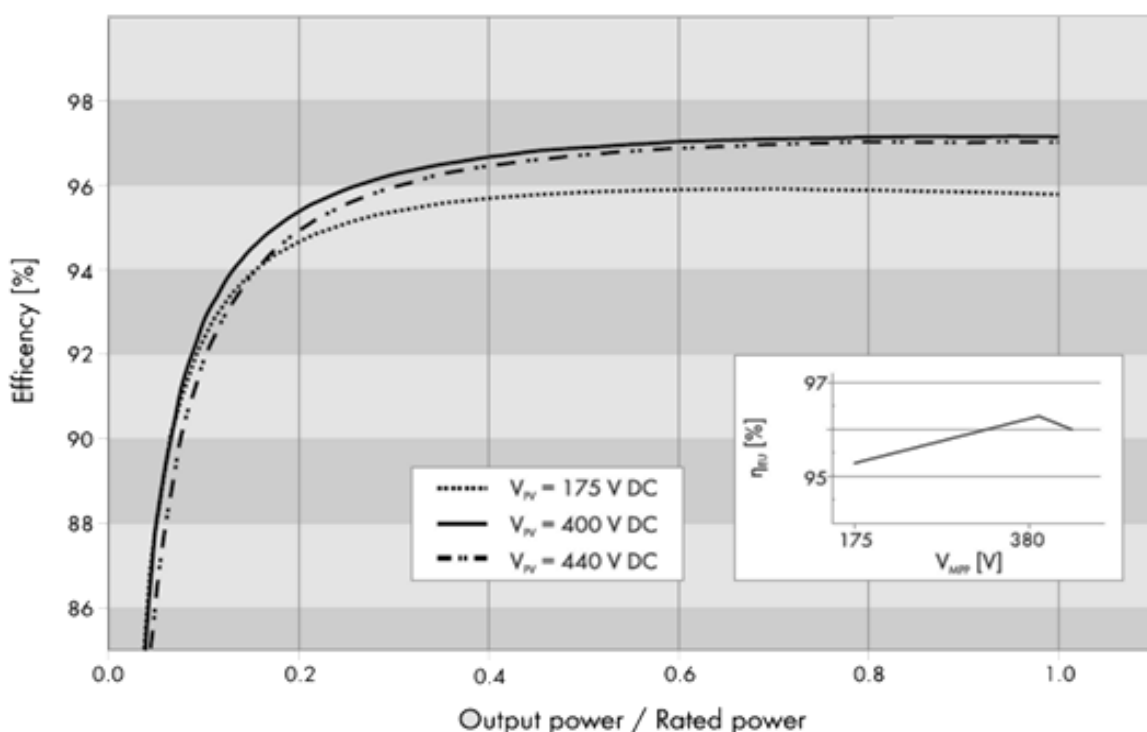


Рисунок 2.9 – Влияние эффективной работы инвертора от загрузки солнечными панелями

Анализ графика показывает, что при загрузке инвертора ниже 30% от номинала его эффективность снижается. Большую часть времени на солнечные панели падает солнечное излучение $100\text{--}400 \text{ Вт/м}^2$. Излучение выше 1000 Вт/м^2 за все время бывает не чаще 10% от всего времени. Исходя из этого, изначальное увеличение мощности инвертора на 30% приведет к его не-

эффективной работе во время преобразования постоянного тока в переменный.

Чем севернее находятся солнечные панели, тем меньший запас инвертора нужно выбирать. В некоторых случаях нужно брать запас равный 90% от номинального. Так же дополнительным аргументом для выбора менее мощного инвертора является его цена. Чем мощнее инвертор, тем выше его цена.

2.2.2.2 Правила выбора мощности инвертора в зависимости от мощности нагрузки

При выборе мощности инвертора необходимо учитывать условие: пиковая мощность инвертора должна быть больше суммарной мощности электроприемников переменного напряжения на 20-30%. В этом случае все приборы будут работать нормально при питании от АКБ. Это связано с тем, что при пуске многих устройств их пусковые токи могут быть больше номинальные в 2-9 раза. Если мощности инвертора будет недостаточно, то такая нагрузка не сможет запуститься. При выборе мощности инвертора нужно учитывать пусковые токи нагрузок.

2.3 Аккумуляторные батареи

Для питания потребителей вечером, ночью и утром или при отсутствии электричества, электроэнергию необходимо запасать днем. Существуют различные подходы в хранении энергии: аккумуляторные батареи, преобразование электрической энергии в кинетическую энергию (вращение массивного тела), преобразование электрической энергии в потенциальную энергию (запасаем жидкость высоко над землей), электричество в энергию сжатого газа. Нужно помнить, что любое преобразование одного вида энергии в другое вносит потери. Преобразование электричества в другой вид энергии с последующим преобразованием опять в электрическую энергию дает двойные потери.

Для нашего проекта подходит хранение энергии в аккумуляторной батарее.

При работе параллельно с сетью, если система вырабатывает больше энергии, чем потребляется нагрузкой, то избыток подается в аккумуляторные батареи. Когда появляется необходимость в потреблении накопленной энергии, батареи отправляют эту энергию в сеть [50-51].

Когда солнечные элементы не вырабатывают энергию, например, ночью, или отсутствует электричество, то используется энергия, накопленная в аккумуляторах, либо электросеть напрямую.

Потребность в аккумуляторных батареях (АКБ) в системе солнечной электростанции заключается в том, что аккумуляторные батареи способны отдавать накопленную энергию в пасмурную погоду, ночью или в условиях пониженных температур, когда нет возможности использовать солнечные батареи в обычном режиме. Эти устройства помогают продлить срок службы всей системы. Объединив их в блок из нескольких батарей, можно увеличить объём накапливаемой энергии. При возникновении скачков напряжения, аккумуляторная батарея подпитывает систему электроснабжения, помогая солнечным панелям справляться с обеспечением потребителей в предельные моменты.

Каждая АКБ имеет свою плотность энергии на 1 кг веса (рисунок 2.10)

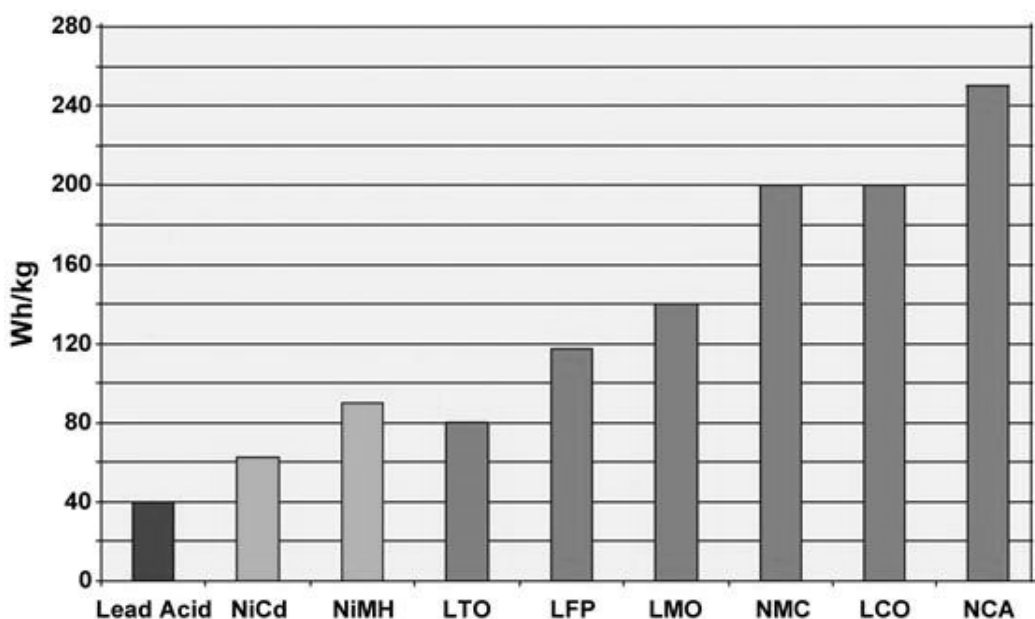


Рисунок 2.10 – Распределение плотность энергии в зависимости от типа АКБ

2.3.1 Виды аккумуляторных батарей

Рассмотрим существующие виды аккумуляторных батарей.

2.3.1.1 Свинцово-кислотные батареи

Являются обычными автомобильными аккумуляторами, в которых электроды представляют собой оксид свинца с примесью других химических элементов, помещённый в электролит, который находится в состоянии водян-ного раствора. Электролит разбавлен серной кислотой.

Стандартные аккумуляторы могут прослужить около 3-5 лет. В связи с режимом работы, который отличается от режима при запуске автомобильно-го двигателя, в данной системе рассматриваемые аккумуляторы изнашиваются и выходят из строя относительно быстро. Важный их плюс - они дешёвы. Глубокий разряд свинцово-кислотный АКБ плохо влияет на их характери-стики. Перезаряд тоже портит АКБ. В случае полного разряда резко сокра-щается их срок службы. Если не отключить от зарядки полностью заряжен-ный аккумулятор, тогда электролит в нем может закипеть. Начнется образо-вание газов. АКБ может вспучиться или взорваться.

2.3.1.2 Никель-кадмиевые батареи

Представляют собой щелочные аккумуляторные батареи, в которых положительным активным материалом является оксид никеля, а отрицательным - кадмий.

Батареи этого типа хорошо справляются с высокими показателями мощности. Их основным преимуществом можно выделить большой ресурс циклов «заряда-разряда». Однако, данные батареи опасны при разгерметизации, что делает их утилизацию очень дорогой.

2.3.1.3 Щелочные аккумуляторы

Щелочные аккумуляторы редко применяют в системах СЭС по причине невосприимчивости этого типа АКБ к малым токам при зарядке, и необходимости прохождения полного цикла от заряженного до разряженного состояния. В противном случае происходит уменьшение емкости батареи. Тем не менее, щелочные аккумуляторы способны переносить глубокий заряд. Это делает их удобными в использовании на больших СЭС. Также эти устройства имеют больший вес и габариты по сравнению с конкурентами той же емкости.

2.3.1.4 Литий-ионные аккумуляторы

Литий-ионные аккумуляторы намного легче и имеют меньшие габариты, чем многие другие АКБ. Они имеют высокую себестоимость, поэтому их редко используют в СЭС. Они также имеют более длительный срок службы по сравнению со свинцово-кислотными батареями. К тому же, срок их эксплуатации вдвое меньше, чем у гелиевых. Это делает их использование невыгодным в долгосрочной перспективе. Другим важным недостатком является постепенное уменьшение объема емкости, не зависящее от принципа отслеживания уровня заряда литий-ионных аккумуляторов.

2.3.1.5 Аккумуляторы OPzS

«OPzS» используется для обозначения заливных трубчатых свинцово-кислотных аккумуляторных батарей глубокого цикла. В этих батареях, как правило, элементы соединены последовательно для получения более высокого напряжения и каждый из них имеет напряжение 2 Вольта. Этому типу батарей нужна вентиляция. Они содержат жидкий электролит, который состоит из разбавленной серной кислоты.

2.3.1.6 Аккумуляторы AGM

AGM АКБ– это Absorbent Glass Mat батарея, т.е. содержащая абсорбирующее стекловолокно.

Аккумуляторы AGM относятся к виду свинцово-кислотных, но отличаются от обычных АКБ этого типа тем, что в AGM устройствах электролит удерживается в стекловолокне. Волокна стекловолокна не впитывают электролит и не подвержены его воздействию. Данные аккумуляторы обладают лучшими характеристиками саморазряда, чем традиционные аккумуляторы.

Эти АКБ отличаются продолжительным сроком эксплуатации, имеют большую емкость и имеют большое количество циклов заряда-разряда. AGM АКБ не нужно обслуживать. В них применена технология, которая не дает кислоте утечь, и возникнуть коррозии. AGM устройства характеризуются устойчивостью к глубоким зарядам. Батарея может работать при температуре -40° . АКБ обладает виброустойчивостью. Это увеличивает ее срок службы.

Как и в случае со свинцово-кислотными батареями, для увеличения срока службы батареи AGM важно соблюдать требования к зарядке, либо использовать контроллеры заряда АКБ.

2.3.1.7 Гелиевые аккумуляторы

Гелиевые АКБ относятся к типу AGM аккумуляторов, но электролит, удерживаемый в стекловолокне, является гелеобразным. Этого добиваются с помощью силикагеля

Такие АКБ могут работать в условиях пониженных температур, достигающих до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, сохраняя при этом ёмкость и работоспособность, однако не на долгое время. Свойства устройства полностью сохраняются в отключенном режиме при длительном хранении.

АКБ устойчивы к глубоким разрядам. Срок службы - до 12 лет. Производители гарантируют от 500 до 3500 циклов заряда-разряда.

2.4 Контроллеры

Контроллер заряда АКБ – это блок, который должен быть в любой автономной системе с аккумуляторной батареей. Контроллер контролирует процесс заряда и разряда АКБ.

Контроллер заряда аккумулятора позволяет получить правильную функцию заряда для разных типов АКБ. Для получения максимального эффекта от солнечной панели необходимо подключать ее к нагрузке определенного сопротивления. Для обеспечения правильного согласования нагрузки и солнечной панели применяют контроллер.

Контроллер заряда аккумуляторной батареи для заряда АКБ использует ШИМ. С помощью такой модуляции достигается полный заряд батареи.

Контроллер следит за процессом заряда и разряда аккумуляторной батареи. Он может осуществлять процесс переключения нагрузки от сети на аккумулятор.

Контроллер заряда используется в сочетании с системой солнечного энергоснабжения с подключением к сети, которая включает в себя резервные аккумуляторные батареи. Контроллер солнечного заряда управляет энергией, поступающей в батарею от солнечной батареи. Это гарантирует, что батареи глубокого цикла не будут перезаряжаться в течение дня, и что питание не переходит назад к солнечным батареям в течение ночи и не разряжает батареи. Управление питанием является его основной задачей.

2.4.1 Виды контроллеров заряда АКБ

Существуют три разновидности контроллеров:

- Простейшие;
- МРРТ;
- ШИМ (PWM).

Каждый из них имеет свой алгоритм работы. Рассмотрим каждый из них подробнее.

2.4.1.1 Простейшие контроллеры

Принцип работы простейших контроллеров прост. Как только батарея зарядилась до 14,4 В, контроллер отключает источник энергии. В нашем случае – это солнечная панель. Контроллер контролирует напряжение. Как только напряжение на АКБ упало до 12,5-13В, снова подключается источник энергии - солнечная панель. АКБ начинает снова подзарядаться.

При таком способе заряда АКБ, она заряжается всего до 60-70%. Если АКБ постоянно недозарядается, то пластины сульфатируются. При этом снижается срок работы АКБ.

Данный простейший контроллер – самый неэффективный, но дешевый.

2.4.1.2 МРРТ контроллеры

МРРТ контроллеры – это Maximum Power Point Tracking контроллеры. Данные контроллеры, по особому алгоритму, создавая особую величину нагрузки, чтобы забрать максимум мощности от солнечной панели в АКБ.

МРРТ контроллеры измеряют напряжение панели и преобразуют понижающее напряжение в напряжение батареи. Поскольку мощность на контроллере заряда равна мощности на выходе контроллера заряда, при падении напряжения в соответствии с аккумуляторной батареей ток увеличивается, поэтому им используется больше доступной мощности с одной солнечной панели. При использовании панели на 24В с помощью МРРТ контроллера

можно заряжать батарею на 12В, или две последовательные батареи могут заряжать батарею на 24В и т.д.

MPPT контроллер контролирует величины напряжения и тока от солнечной панели. Далее по алгоритму контроллер рассчитывает мощность и определяет параметры, при которых будет передаваться максимальная мощность. Отдельный алгоритм работы контроллера определяет за состоянием аккумулятора. В зависимости от его состояния, он подает на выход ток определенной величины. В то же время процессор передает информацию на индикационное табло, сохраняет в постоянную память необходимые данные.

Значения максимального тока и напряжения (точка максимальной мощности) на выходе солнечной панели зависит от освещенности фотоэлементов, температуры, до которой нагрета панель и других условий.

В алгоритме контроллера есть программный код, который пытается оптимизировать точку максимальной мощности (ТММ). Для этого он для текущей оптимальной точки пытается увеличить и уменьшить нагрузку. Если для одно из вариантов мощность увеличилась, то контроллер перейдет в эту точку. В момент поиска точки максимальной мощности появляются незначительные потери энергии. Однако, найденная точка максимальной мощности с помощью MPPT с лихвой компенсируется. Особенно в пасмурные дни. Поиск точки максимума – ТММ сопряжен с незначительной потерей энергии. Данные потери ничтожны по сравнению с выигрышем от этого подхода особенно в облачные дни. Рисунок 2.11 демонстрирует изменение ТММ при смене внешних условий.

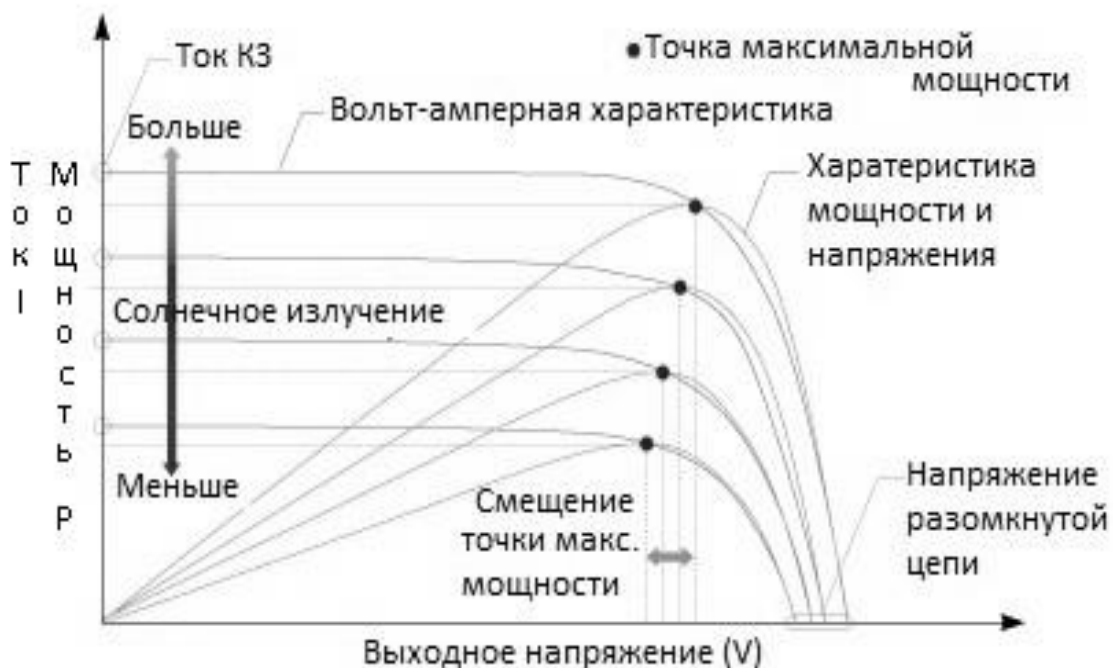


Рисунок 2.11 – Изменение ТММ солнечной панели при разных уровнях освещенности

Последним новшеством является оптимизатор мощности для солнечной панели. Power optimizer – устройство, являющееся уменьшенной копией MPPT контроллера. Оно контролирует поиск рабочей точки для получение максимального тока и напряжения на выходе солнечной панели. Такое устройство не контролирует процесс заряда АКБ. Такие оптимизирующие устройства уменьшают потери энергии, возникающие из-за разного освещения панелей.

2.4.1.3 ШИМ контроллеры

ШИМ контроллеры основаны на широтно-импульсной модуляции тока заряда. Данный тип контроллера работает путем подключения напрямую от солнечной батареи к аккумулятору. Во время массовой зарядки, когда существует непрерывное соединение между массивом солнечных панелей и аккумулятором, выходное напряжение массива понижается контроллером до напряжения аккумулятора. Когда батарея заряжается, её напряжение повы-

шается, поэтому выходное напряжение солнечной панели также увеличивается, используя больше солнечной энергии во время зарядки. При этом возможен заряд АКБ до 100%.

ШИМ в свою очередь подразделяется на два подвида:

- последовательные;
- шунтовые.

Последовательные контроллеры отсоединяют батарею от солнечной панели, чтобы регулировать систему используются два полупроводниковых транзистора, которые предотвращают движения тока в обоих направлениях.

В шунтовых контроллерах, при необходимости остановить заряд АКБ, электрический ток протекает через шунт в обход АКБ.

2.5 Выводы по второму разделу

С учетом географического расположения электростанции – необходимо выбирать поликристаллические солнечные панели. Они позволяют преобразовывать не только прямые солнечные лучи, но и отраженные.

Солнечные панели будем располагать вертикально под углом 38° . При этом угле наклона, согласно расчетам, получены усредненные характеристики преобразования панелей. Количество выработанной энергии зимой и летом будут отличаться всего в 2 раза. При других наклонах разница выработки электричества отлична до 5 раз.

Для снижения расходов на обслуживание электростанции, все элементы будут выбираться необслуживаемыми. Выбор наклона в 38° позволяет исключить лишнее обслуживание батареи зимой. При таком наклоне снег не будет задерживаться на панели. Под действием силы тяжести он сам будет с нее съезжать. В летнее время года – осадки не будут задерживаться на панели.

В качестве инвертора можно выбрать автономный или гибридный инвертор. При незначительной разности в цене, лучше выбирать гибридный ин-

вертор. Он может подмешивать в сеть излишки энергии, генерируемые солнечными панелями. Тем самым снизится срок окупаемости устройства.

Как только будет принят закон о зеленой энергии в России, такую сгенерированную энергию можно будет продавать. Это ускорит срок окупаемости электростанции.

Главная особенность автономной работы солнечной электростанции заключается в необходимости накопления требуемого объема энергии в аккумуляторные батареи в дневное время суток. Солнечные панели должны за день успеть сгенерировать нужное количество энергии, а аккумуляторы – запасти.

Солнечная электростанция должна содержать MPPT контроллер заряда АКБ. Данный контроллер позволит получить максимум мощности от солнечных панелей. Контроллеры другого типа использовать можно, но они имеют меньшую эффективность.

Разработанная солнечная электростанция должна иметь возможность масштабирования. В этом случае может быть запитан от нее целый электро-технический корпус.

Автономная солнечная электростанция позволит экономить электричество, питать слаботочные установки при отсутствии электроэнергии в сети. Для такой электростанции не нужны подстанции, распределительные будки, трансформаторы.

3 Разработка системы хранения и преобразования энергии для поддержания независимой работоспособности солнечной электростанции в течении 24 часов

3.1 Исходные данные для выбора элементов солнечной электростанции

3.1.1 Характеристика объекта

Для проведения такого обследования нами был выбран учебный корпус Э, предназначенный для проведения лекционных, практических и лабораторных занятий, Тольяттинского Государственный Университета, расположенный по адресу 445020, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Ушакова, 57. Общая площадь корпуса 1428,6 м²

В здании корпуса находятся 67 учебных, 41 административное и 11 подсобных помещений, а также 17 санузлов.

В корпусе в основном находятся компьютерные классы и лабораторные стенды.

На рисунке 3.1 приведена электрическая схема ввода ЭТФ.

Для снятия характеристик объекта использовался анализатор качества энергии Circutor.

По данному графику (рис.3.2) зависимости фазного тока от времени можно заметить, что ток в фазе А, в некоторые моменты времени, имеет особенное различие с током фазы В, это может быть связано с неравномерно распределенной нагрузкой. При максимальном значении разница между этими фазами составляет 27%. Данное значение превышает норму (рекомендуемое значение- 15%). Необходимо, по возможности, выровнять нагрузку по фазам.

Также мы видим, что значение тока начинает расти с началом учебного процесса и уменьшается ближе к концу учебного дня.

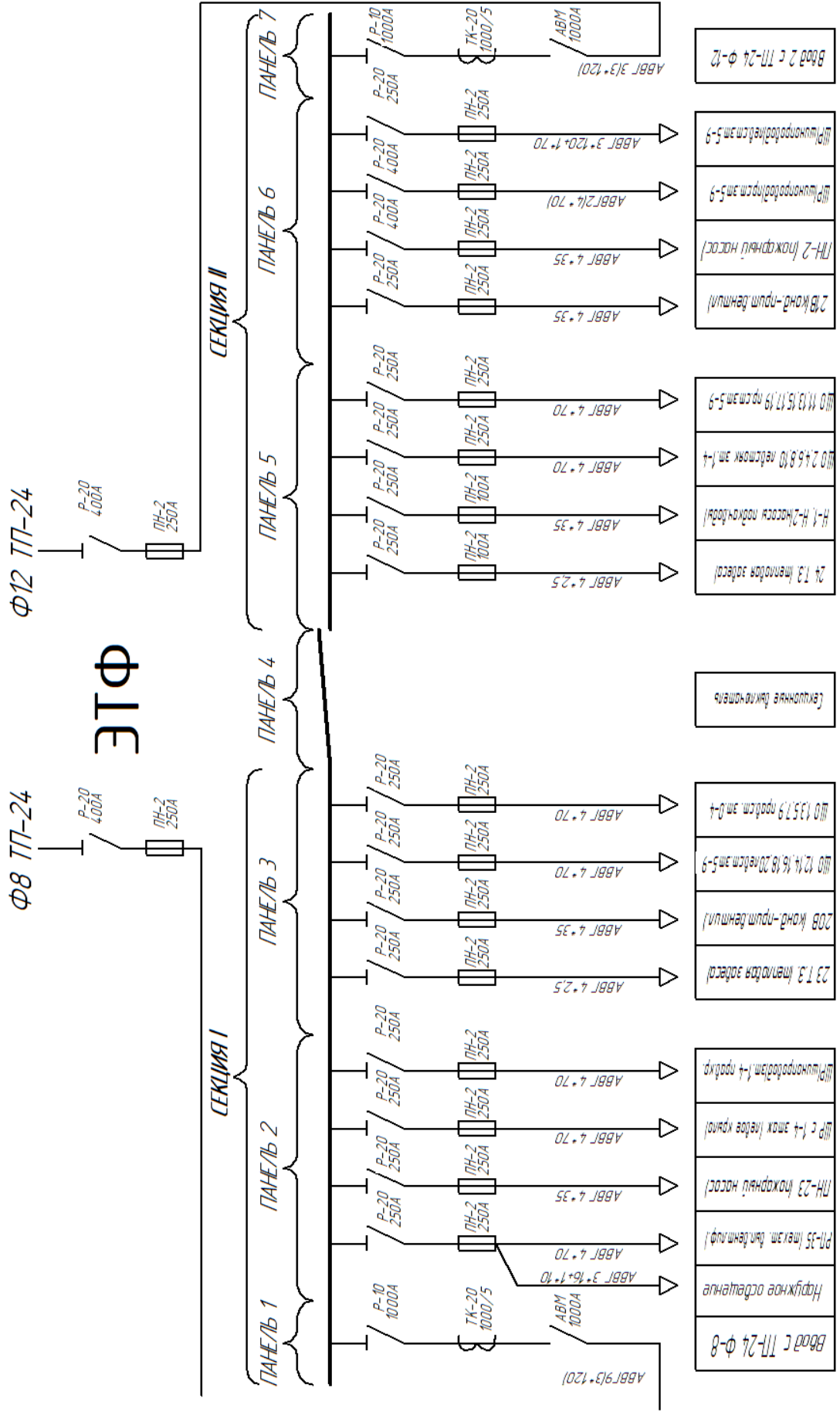


Рисунок 3.1 – Схема электриче-

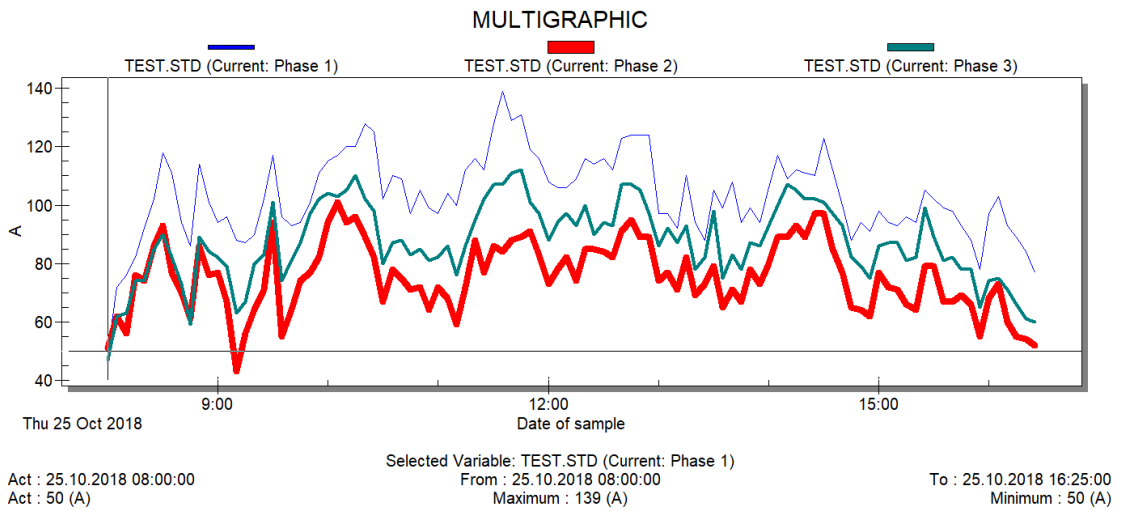


Рисунок 3.2 – Ток

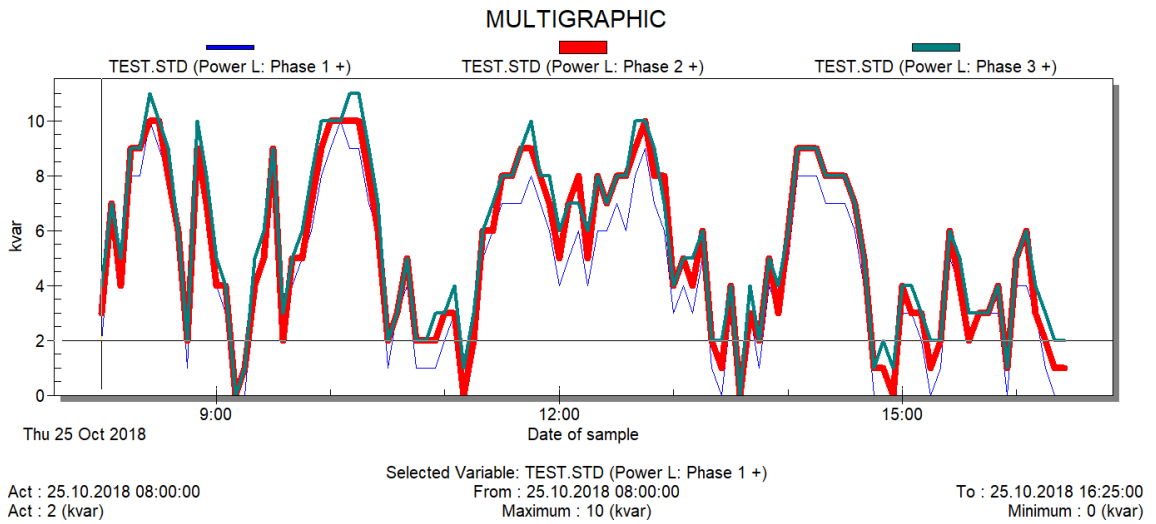


Рисунок 3.3 – Реактивная мощность

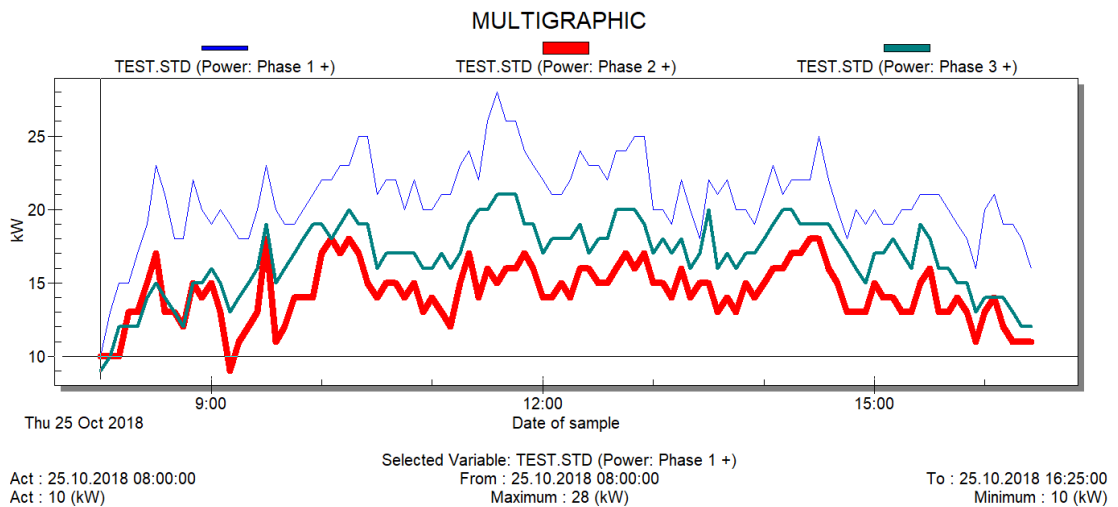


Рисунок 3.4 – Активная мощность

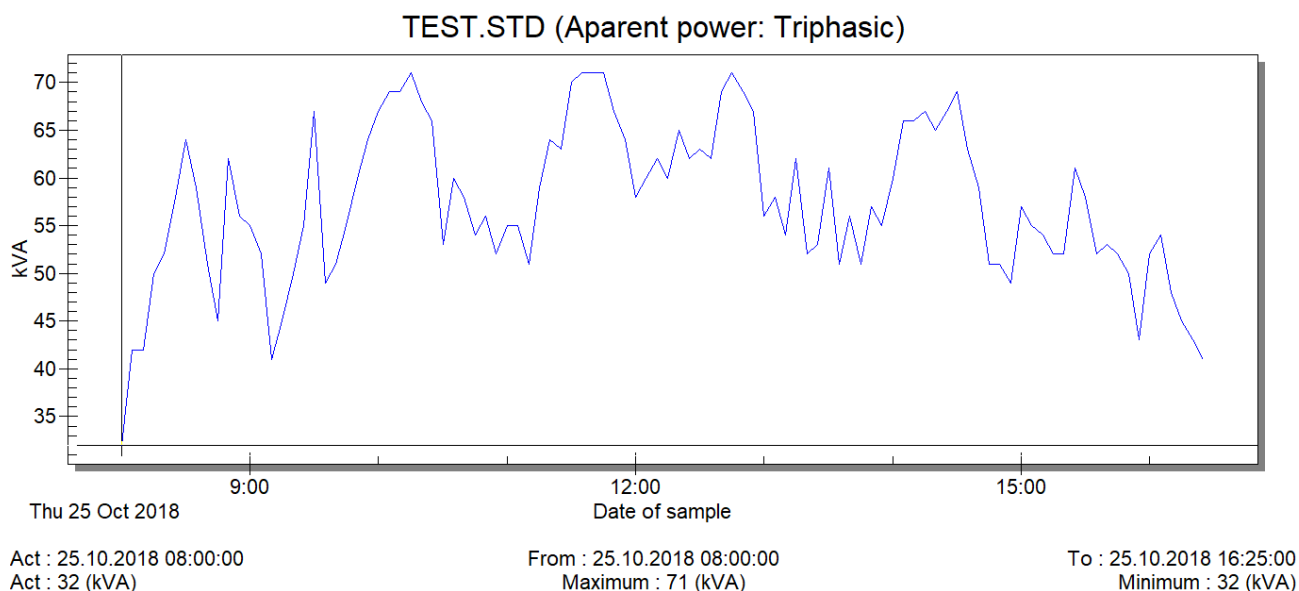


Рисунок 3.5 – Полная мощность

На рисунках 3.3 – 3.5. показаны дневные графики потребления полной, активной и реактивной энергии. Исходя из графиков (рис.3.4) на фазе А самая большая нагрузка. По графику видно, что приблизительно в 8:30 нагрузка резко возрастает в связи увеличением количества потребителей. Далее мы видим, что до 12 часов количество потребителей продолжает возрастать, а после 12 по мере уменьшения потребителей уменьшается потребляемая мощность. На фазах В и С мы видим приблизительно аналогичные графики, но мощность заметно меньше, так как на них подключено меньше потребителей.

Из анализа графика 3.5. можно сделать вывод, что максимум потребляемой полной мощности составляет 71 кВА, минимум – 32 кВА в рабочее время суток.

График (рис.3.6) коэффициента мощности напрямую связан с графиком мощности. Можно заметить, что во время падения мощности на трёх фазах значительно увеличивается $\cos\varphi$. Это говорит нам о том, что в данный момент времени количество потребителей значительно уменьшается. Значение $\cos\varphi$ находится в пределах нормы.

Анализ исходных данных показывает, что максимальное потребление учебного корпуса Э – 71 кВА. Среднее значение – 55 кВА.

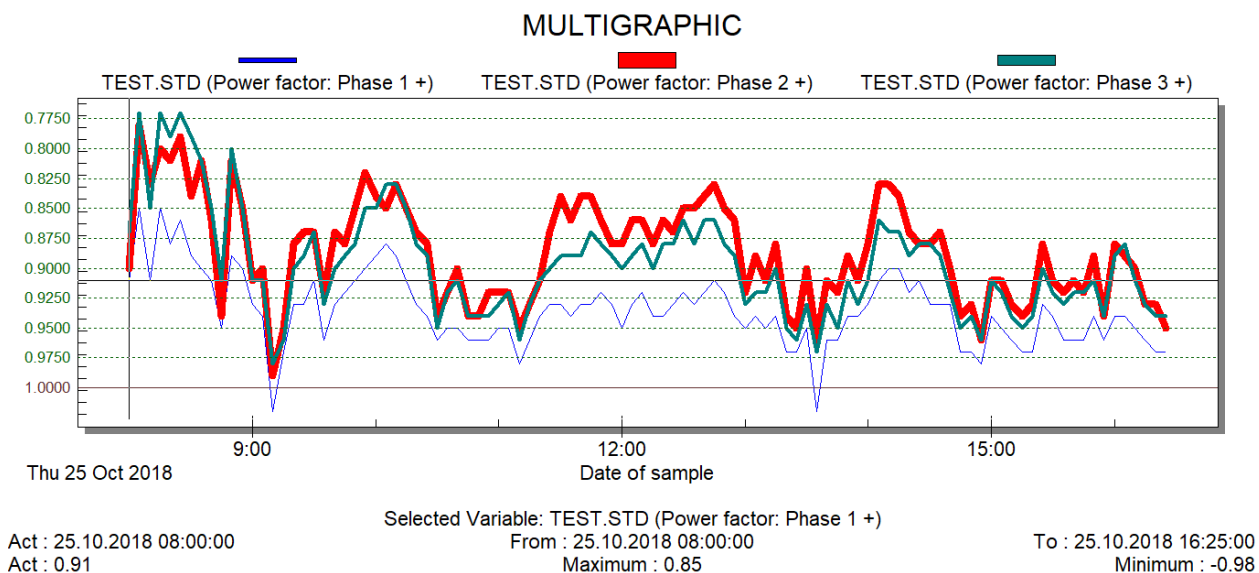


Рисунок 3.6 – Коэффициент мощности

Солнечная электростанция должна обеспечить питание только слабых систем освещения. В учебном корпусе на потолке установлены светодиодные светильники.

В здании корпуса находятся 67 учебных, 41 административное и 11 подсобных помещений, а также 17 санузлов. Снабжать автономным электричеством для освещения помещений будем только учебные и административные объекты.

Расчеты показали, что в среднем каждый объект потребляет 200 Вт. Найдем максимальную потребляемую мощность:

$$P = P_{\text{осв}} \cdot A = 200 \cdot 108 = 21\,600 \text{ Вт} \quad (3.1)$$

где $P_{\text{осв}}$ – средняя мощность, необходимая для освещения одной аудитории;

A – количество аудиторий.

Загрузка аудиторий составляет от 50 до 65%. В результате требуемая мощность на освещение все аудиторий при максимальной загрузке аудиторий в 70%:

$$P_{\text{осв65}} = P \cdot k_{\text{загр}} = 21600 \cdot 0,65 = 14\,040 \text{ Вт} \quad (3.2)$$

Занятия в учебном корпусе проходят с 8:30 и до 21:15. Получается, что освещение необходимо с 8:00 и до 22:00. В оставшееся ночное время освещение в аудиториях не используется. В случае отсутствия электричества необходимо запастись энергии для автономного питания аудиторий:

$$W = P_{\text{осв65}} \cdot t = 14040 \cdot 14 = 196560 \approx 200\,000 \text{ Вт}\cdot\text{ч} \quad (3.3)$$

где $t=14$ – время использование аудиторий, часы.

3.1.2 Выбор и расчет параметров солнечных панелей

Из возможных вариантов выбрана поликристаллическая солнечная панель марки NEOSUMTM Standart 72 – NS-335PP. Она создана на базе передовых Поликристаллических 5BB ячеек. Ячейки позволяют получить высокую производительность даже при низкой инсоляции и в суровых климатических условиях. Гарантированный срок службы солнечной панели - более 30 лет. Производитель рекомендует использовать такие панели для построения электростанций от сотен Вт до нескольких МВт. Цена – 17000 руб. [48].

Характеристики солнечной панели сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики солнечной панели NEOSUM NS-335PP

Электрические характеристики	
Параметр	Значение
Солнечный элемент	Поли 72 ячейки, 5BB, Grade A, 6x12 ячеек
Мощность модуля	335Вт
Допуск мощности	до +10Вт
Напряжение при нагрузке	38.0В
Ток нагрузки	8.82А

Напряжение холостого хода	46.1В
Ток короткого замыкания	9.31А
КПД солнечного модуля	17.4%
Электрическая прочность	6000В

Продолжение таблицы 3.1

Электрические характеристики	
Параметр	Значение
t °С эксплуатации и хранения	-40°С до +85°С
Класс огнезащиты	С
Габариты АхВхС	1950х990х40мм

На рисунке 3.7 изображен внешний вид солнечной панели NEOSUM NS-335PP.

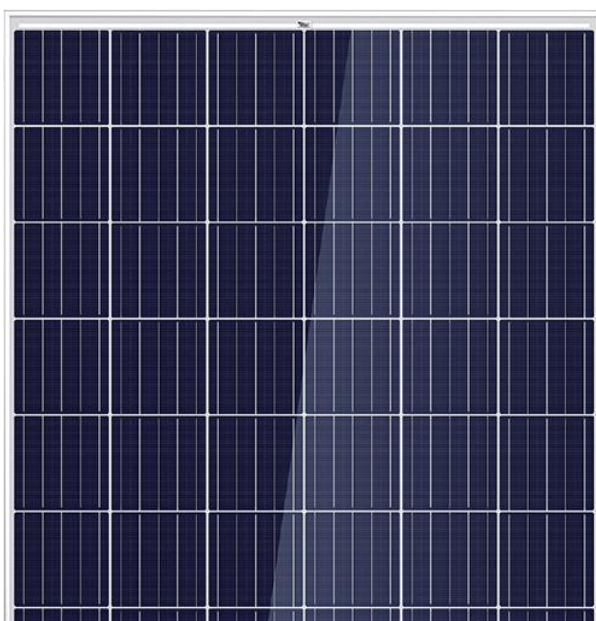


Рисунок 3.7 - Солнечная панель NEOSUM NS-335PP

В зависимости от освещенности, Вольт-амперная характеристика солнечной панели будет отличаться (рисунок 3.8).

Конструкция солнечной панели усилена от снега и ветра. Усиленная 35 / 40мм рама и 3,2мм закаленное стекло позволяют выдерживать высокую снеговую нагрузку до 5400Па, ветровую нагрузку до 2400Па.

Солнечная панель имеет защиту от пыли, песка и соли. Низкая влагопроницаемость модулей NEOSUN обеспечивает высокую устойчивость к

коррозии, солевому туману и аммиаку, что гарантирует стабильную работу СЭС даже в суровых условиях — у береговой линии и на севере [52].

Анализ параметров батареи показывает, что с 1 м^2 можно получить 167 Вт энергии.

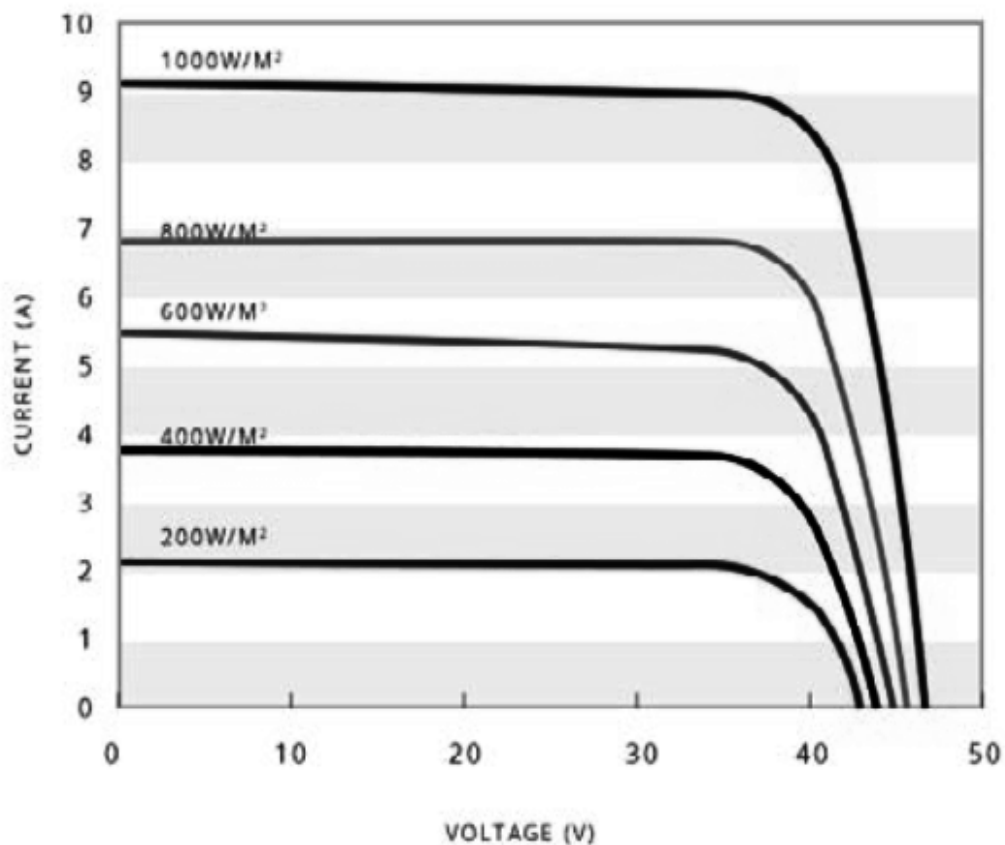


Рисунок 3.8 - Вольт-амперная характеристика солнечной панели при разной степени освещенности

Используя рисунок 2.6 можно найти мощность, полученную с одного квадратного метра. Результаты внесли в таблицу 3.2.

По формуле 3.3 за солнечное время суток необходимо получить 200 кВт·ч энергии. Средняя продолжительность светового дня по месяцам приведена в таблица 3.3

Таблица 3.2 – Мощность, которую можно получить с 1 м^2

Месяц	Мощность		
	Прямой свет	Рассеянный свет	Суммарная
Январь	85	35	120
Февраль	150	65	215
Март	190	65	255
Апрель	160	80	240
Май	140	85	225
Июнь	135	80	215
Июль	140	80	220
Август	145	80	225
Сентябрь	150	80	230
Октябрь	100	50	150
Ноябрь	60	30	90
Декабрь	60	25	85

Таблица 3.3 – Средняя продолжительность светового дня по месяцам в г. Тольятти, Самарская область

Месяц	Продолжительность, ч
Январь	8
Февраль	9,5
Март	12
Апрель	14
Май	16
Июнь	17
Июль	16,5
Август	15

Продолжение таблицы 3.3

Месяц	Продолжительность, ч
Сентябрь	12,5
Октябрь	10,5
Ноябрь	8,5
Декабрь	7,5

Из таблицы 3.2 возьмем суммарную мощность с 1 м^2 и длительность светового дня из таблицы 3.3 рассчитаем необходимую мощность для каждого месяца, которую нужно получить за 1 час светового дня (формула 3.4).

$$P = \frac{W}{t} = \frac{200\,000}{8} = 25\,000 \text{ Вт} \quad (3.4)$$

где W – энергия, которую нужно получить от солнца за солнечный день;

t – длительность солнечного дня.

Все результаты расчетов для каждого месяца сведем в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Требуемая мощность для автономной солнечной электростанции по месяцам в Самарской области, г. Тольятти.

Месяц	Мощность, кВт
Январь	25
Февраль	22,2
Март	16,7
Апрель	14,3
Май	12,5
Июнь	11,8
Июль	12,1
Август	13,3
Сентябрь	16

Продолжение таблицы 3.4

Месяц	Мощность, кВт
Октябрь	19
Ноябрь	23,5
Декабрь	26,7

Анализ данных активной мощности из таблицы 3.4. показывает, что максимальная требуемая мощность необходима зимой – 26,7 кВт в декабре. Минимальная – 11,8 кВт в июле. Разница обусловлена длительностью солнечного дня.

Рассчитаем необходимое количество солнечных панелей. Производитель солнечных панелей сообщает, что один модуль может генерировать 335 Вт. Полученные значения округлим до больше величины:

$$N = \frac{P}{P_{\text{панели}}} = \frac{26\,700}{335} = 79,7 \approx 80 \text{ шт} \quad (3.5)$$

где P – требуемая мощность всех солнечных панелей, Вт;

$P_{\text{панели}}$ – мощность одной сборки солнечных панелей, Вт.

Выполним расчеты по формуле 3.5 для каждого месяца. Результаты сведем в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Требуемое количество солнечных сборок по месяцам в г. Тольятти, Самарская область

Месяц	Количество сборок солнечных панелей, шт.
Январь	75
Февраль	67
Март	50
Апрель	43
Май	38

Продолжение таблицы 3.5

Месяц	Количество сборок солнечных панелей, шт.
Июнь	36
Июль	37
Август	40
Сентябрь	48
Октябрь	57
Ноябрь	71
Декабрь	80

Анализ данных из таблицы 3.5 показывает, что наибольшее количество солнечных сборок панелей необходимо в декабре – 80 шт. Наименьшее в июне – 36 шт. При таком количестве панелей аккумуляторные батареи будут успевать накапливать необходимую энергию. Разница между минимумом и максимумом батарей различается более, чем в 2 раза. Получается, что летом 54 батареи будут работать в холостую. За час простоя 54 солнечных сборок можно было бы получить:

$$W = P_{\text{панели}} \cdot N = 335 \cdot 54 \approx 18 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (3.6)$$

Полученную энергию можно подмешивать в электрическую сеть всего корпуса института. А если учесть, что летом занятия в корпусе не проводятся, то практически все 80 сборок солнечных панелей будут работать в холостую. Для ускорения сроков окупаемости солнечной электростанции необходимо использовать гибридный инвертор.

3.1.3 Выбор контроллера заряда АКБ

Контроллер для заряда АКБ – важное устройство. При его отсутствии остальное оборудование может перестать работать. Контроллер выполняет функцию правильного заряда АКБ. Выбирая контроллер, будем учитывать исходные параметры сборок солнечных панелей.

В нашем случае будет выбран MPPT контроллер. Это связано с тем, что зимой в регионе низкая солнечная активность. А также с тем, что у контроллера есть функция поиска максимума передачи энергии. В результате можно получить до 2,5 раз больше энергии с одной солнечной панели, чем без такого контроллера. Несмотря на высокую стоимость MPPT контроллера, с ним вся солнечная электростанция окупится быстрее [53-54].

3.1.4 Выбор и расчет параметров инвертора

Большинство фирм, занимающихся продажей компонентов к солнечным электростанциям, продают в одном блоке инвертор и контроллер заряда АКБ.

Для работы системы параллельно с сетью и независимо от нее необходим трехфазный гибридный инвертор. При использовании гибридного инвертора блок-схема всех элементов будет выглядеть согласно рисунку 3.9.

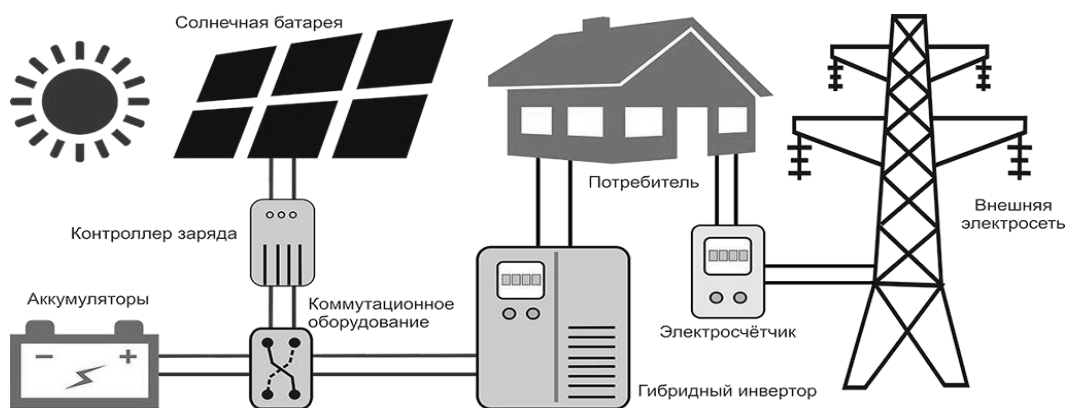


Рисунок 3.9 - Схема автономной гибридной солнечной электростанции

В качестве инвертора выбрана система трехфазных инверторов SILA PRO 20кВт (рисунок 3.10). Это система, состоящая из двух параллельно подключенных инверторов SILA Pro 10000МН. Она обладает всеми характеристиками инверторов SILA Pro 10000МН и рабочей мощностью 20 кВт [53].



Рисунок 3.10 - Система трехфазных инверторов SILA PRO 20кВт

Система трехфазных инверторов SILA PRO 20кВт это уникальное устройство три в одном. Это :

- MPPT контроллер заряда
- Сетевой инвертор
- Автономный инвертор с возможностью выбора приоритетов зарядки и нагрузки.

К сожалению, в России нельзя продавать энергию, отправляя ее в общую сеть. Ни один счетчик электрической энергии не воспримет этого. Он посчитает эту энергию, как потребленную. А за потребленную энергию нужно платить. Для регулировки подмешивания энергии в сеть нужно ставить специальный инвертор, который не будет скидывать лишнюю энергию в сеть.

Система трехфазных инверторов SILA PRO 20кВт использует технологию Infini Hybrid. Вся нагрузка, подключенная на вход Load, питается от солнечных панелей и АКБ. Если мощность этой нагрузки мала, то остатки энергии начинают заряжать АКБ. Когда АКБ зарядился, то электричество подается на инвертор для подмешивания в сеть.

При наличии нагрузки между инвертором и счетчиком электрической энергии, вся энергия с выхода инвертора будет питать эту нагрузку. Если нагрузка будет отсутствовать, то энергия уйдет в сеть. Если счетчик электрической энергии не умеет считать отданную энергию, то в настройках инвертора можно сделать запрет на сброс лишней энергии в сеть.

Производитель говорит, что эта технология позволит использовать по назначению до 70-75% энергии солнца.

Система трехфазных инверторов SILA PRO 20кВт при наличии сети подмешивает туда энергию, полученную с помощью солнечных панелей. Также в это время производится заряд АКБ. Нагрузку для такого режима работы необходимо подключать через внутренние реле к общей сети.

Если сеть пропадет, то инвертор начинает работу автономно, обеспечивая нагрузку, подключенную к терминалам LOAD энергией из солнечных панелей и АКБ. При таком питании нагрузки приоритет всегда отдается энергии от солнечных панелей. Если солнечные панели в автономном режиме генерируют больше энергии, чем может потребить нагрузка, то остатки энергии тратятся на заряд АКБ. Режимы работы инвертора показаны на рисунке 3.11.

Система трехфазных инверторов SILA PRO 20кВт имеет функцию MPPT – слежение за точкой максимальной мощности солнечной панели.

Основные особенности системы трехфазных инверторов SILA PRO 20кВт:

- Чистая выходная синусоида
- Трехфазное напряжение
- Управление с помощью микропроцессора
- Контроль точки максимальной мощности солнечной панели
- ЖК дисплей, предоставляющий полную информацию
- Настройка тока заряда АКБ до 200 А
- Мониторинг и управление через сотовую сеть и интернет
- Функция мониторинга через сотовую сеть

- Функция параллельного подключения до 6 устройств (встроенная)

Основные режимы инвертора:

- Параллельно с сетью (Grid-tie). Инвертор отдает энергию в сеть. АКБ не нужны.

- Параллельно с сетью в режиме резервного источника (Grid-tie with backup). Инвертор отдает энергию в АКБ и в сеть. При пропадании сети, продолжает снабжать энергией нагрузку за счет АКБ.

- Автономный режим (Off-grid). Инвертор – единственный источник питания. Он отдает энергию в нагрузку от солнечных панелей и АКБ.

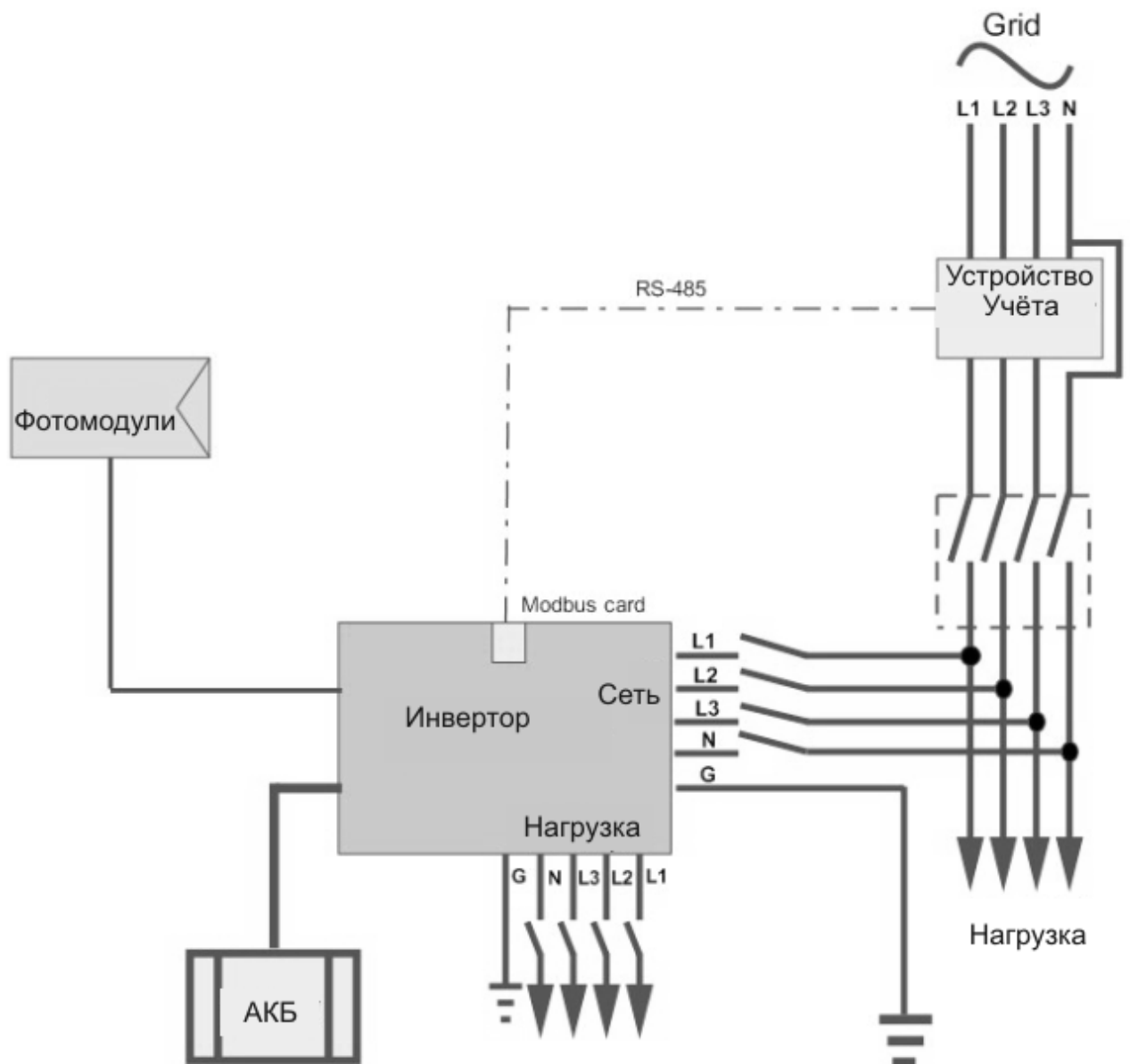


Рисунок 3.11 - Автономная гибридная солнечная электростанция.
Схема подключения

Основные параметры гибридного трехфазного инвертора SILA PRO 20кВт внесены в таблицу 3.6

Таблица 3.6 - Основные параметры гибридного трехфазного инвертора SILA PRO 20кВт

Название свойства	Значение свойства
Тип устройства	Бестрансформаторный
Количество фаз	Три
Мощность	20 000 Вт
Пиковая мощность	40 000 Вт (не более 5 сек)
Максимальная мощность солнечных батарей	29 700 Вт
Номинальная выходная мощность	20 000 Вт
Максимальная мощность заряда	19 200 Вт
Порты коммуникации	RS-232/USB and CAN Interface
Функция удаленного управления и мониторинга (SNMP Card дополнительно)	Есть
Функция мониторинга через сотовую сеть (GPRS Card дополнительно)	Есть
Параллельное подключение	Да
В режиме сетевого инвертора	
Входные характеристики солнечных батарей	
Номинальное / Максимальное напряжение	720 В (DC) / 900 В (DC)
Минимальное напряжение	320 В

Диапазон работы МРРТ контроллера	400 - 800 В
Количество МРРТ контроллеров	2 / 2 x 18,6 А

Продолжение таблицы 3.6

Название свойства	Значение свойства
Выходная сеть	
Номинальное выходное напряжение	230 В (АС) (P-N) на фазу
Диапазон выходного напряжения	170 - 280 В (АС) (P-P) на фазу
Номинальная сила тока на выходе	14,5 А на фазу
Коэффициент мощности	> 0,99
Эффективность	
Максимальный коэффициент преобразования (DC/AC)	96%
В режиме автономного инвертора	
АС Вход	
Минимальное напряжение	120-140 В (АС) на фазу
Диапазон входного напряжения	170 -280 В (АС) на фазу
Максимальный входной ток	40 А
Входные характеристики солнечных батарей	
Максимальное напряжение DC	900 В
Диапазон работы МРРТ контроллера	400 - 800 В
Количество МРРТ контроллеров	2 / 2 x 18,6 А
Выходные характеристики в режиме работы от аккумуляторов	
Номинальное выходное напряжение	230 В(АС) (P-N) / 400 В(АС) (P-P)
Форма выходного сигнала	Чистый синус
Коэффициент преобразования из постоянного тока в переменный (max)	91%
В режиме гибридного инвертора	

Входные характеристики солнечных батарей	
Номинальное / Максимальное напряжение	720 В (DC) / 900 В (DC)

Продолжение таблицы 3.6

Название свойства	Значение свойства
Минимальное напряжение	320 В
Диапазон работы МРРТ контроллера	400 - 800 В
Количество МРРТ контроллеров	2 / 2 x 18,6 А
АС Выход	
Номинальное выходное напряжение	230 В(АС) (P-N) / 400 В(АС) (P-P)
Диапазон входного напряжения	184 - 264,5 В (АС) на фазу
Максимальный входной ток	14,5 на фазу
АС Вход	
Минимальное напряжение	120-140 В (АС) на фазу
Диапазон входного напряжения	170 -280 В (АС) на фазу
Максимальный входной ток	40 А
АКБ	
Зарядный ток	20 - 400А (120А по умолчанию)
Номинальное напряжение	48 В
Размеры, вес:	
Длина	500 мм
Высота	622мм
Ширина	167,5 мм
Вес	90 кг
Цена за 1 шт.	241 000 руб

3.1.5 Выбор и расчет параметров аккумуляторной батареи

В устройстве автономной солнечной электростанции самым узким местом является – устройство для хранения энергии. Срок службы многих АКБ не более 7 лет при постоянных циклах заряда - разряда. Возможно, что в будущем от аккумуляторных батарей можно будет перейти к ионисторам. Это существенно снизит срок окупаемости устройства.

Для данной солнечной электростанции выбран: гелиевый тяговый аккумулятор SunStonePower MLG 200Ач 12В серии MLG (рисунок 3.12) зарекомендовал себя как надежный аккумулятор для систем резервного электропитания и для работы в системах электропитания на солнечных батареях. Силикагель используют в гелиевых АКБ. Он является сепаратором между свинцовыми пластинами. Его засыпают в пустоты между пластинами [55].



Рисунок 3.12 – Гелиевая АКБ SunStonePower MLG 200Ач 12В

Аккумуляторные батареи SunStonePower серии MLG могут работать циклически или буферно.

Сферы применения:

- солнечные электростанции;
- ветряные электростанции;
- источники бесперебойного питания;
- телекоммуникационное оборудование;
- другие области применения.

Срок службы аккумуляторов SunStonePower серии MLG в буферном режиме 12 лет. Фактический срок службы аккумуляторной батареи зависит от многих параметров, температуры эксплуатации, глубины разряда, токов заряда и т.д.

Особенности и преимущества аккумуляторов SunStonePower:

- Полностью герметичная конструкция, утечка электролита невозможна.
- Предназначен для глубоких разрядов.
- Не нужно добавлять воду.
- Можно перевозить любым транспортом.
- Эксплуатация в любом положении.
- Высокая плотность энергии за счет легирования кальцием свинцовых пластин.
- Низкий уровень саморазряда.

На рисунке 3.13 представлена зависимость циклов разряда АКБ от глубины разряда.

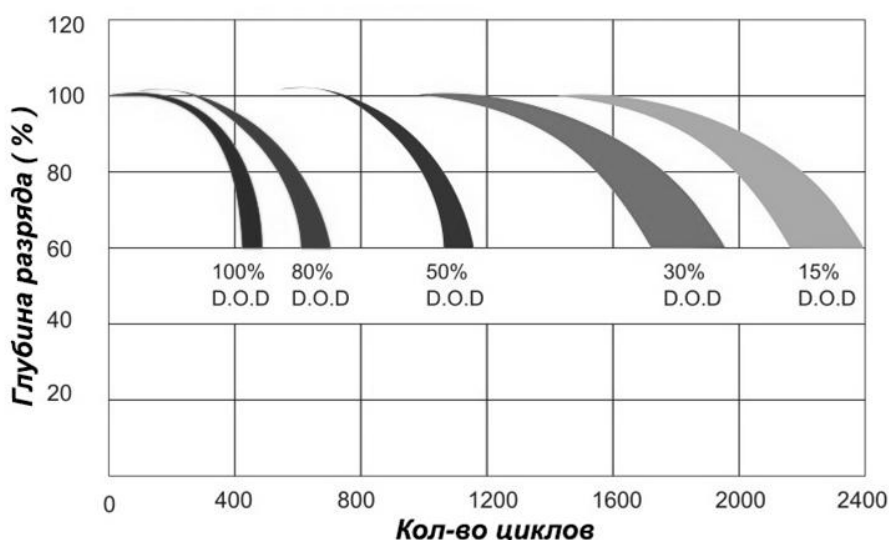


Рисунок 3.13 – Зависимость циклов разряда от глубины разряда гелиевой АКБ SunStonePower MLG 200Ач 12В

На рисунке 3.14 представлена емкости АКБ от температуры окружающей среды.

Основные параметры гелиевой АКБ SunStone Power MLG 200Ah 12V внесены в таблицу 3.7.

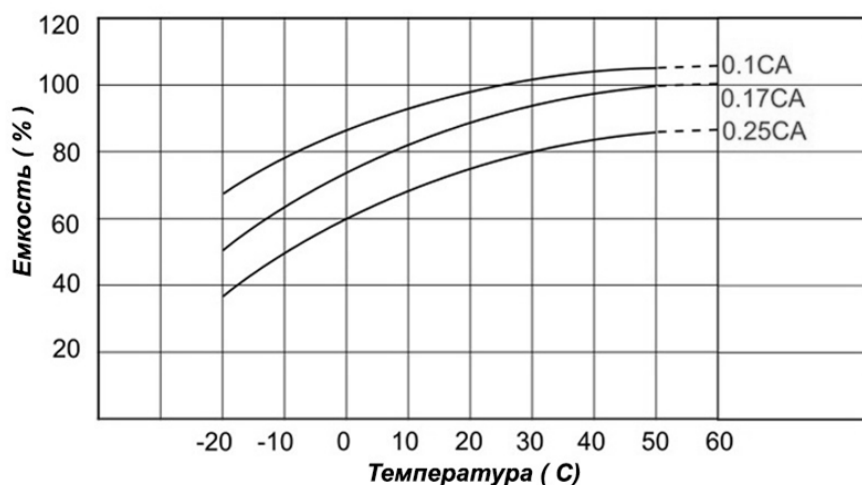


Рисунок 3.14 – Зависимость емкости гелиевой АКБ SunStonePower MLG 200Ач 12В в зависимости от температуры окружающей среды

Таблица 3.7 - Основные параметры гелиевой АКБ SunStone Power MLG 200Ah 12V

Название параметра	Значение параметра
Напряжение	12 В
Емкость	200 Ач
Фактическая емкость при 10-ти часовом цикле разряда	210 Ач
Толщина плюсовых пластин	2,9 мм
Толщина минусовых пластин	2,1 мм
Клеммы	болт М8
Срок службы:	
буферный режим	12 лет
циклический режим при 30% глубине разряда	2000 циклов разряда/заряда
В циклическом режиме при 50% глубине разряда	1100 циклов разряда

	да/заряда
В циклическом режиме при 100% глубине разряда	450 циклов разряда/заряда

Продолжение таблицы 3.7

Температурные режимы:	
Хранение	от -15°C до +40°C
Заряд	от 0°C до +40°C
Разряд	от -15°C до +50°C
Емкость при температуре + 25 °С	200 Ач
Емкость при температуре + 10 °С	190 Ач
Емкость при температуре 0 °С	180 Ач
Емкость при температуре - 10 °С	160 Ач
Емкость при температуре - 20 °С	140 Ач
Параметры заряда, разряда:	
Заряд постоянным напряжением (25°C)	
Циклический режим	14.4-14.8В
Буферный режим	13.5-13.8В
Максимальное напряжение заряда	14,8 В
Минимальное напряжение заряда	10,6 В
Максимальный ток заряда	60 А
Максимальный ток разряда	2000 А (5 сек)
Внутреннее сопротивление	3 мОм
Габариты, вес:	
Длина	522 мм
Ширина	240 мм
Высота	218 мм
Вес	61,8 кг
Цена за 1 шт	25 960 руб

Гелиевую АКБ нельзя держать в разряженном состоянии. Это приводит к сульфатации и снижению емкости батареи.

АКБ лучше брать с запасом емкости, т.к. гелиевая АКБ не любит полный разряд. Так же срок службы АКБ зависит от окружающей температуры. Прямые солнечные лучи, температура выше более 35°C может привести к высыханию электролита. Это в свою очередь снижает емкость аккумулятора.

3.1.6 Компоновка

Солнечные панели могут по той или иной причине оказаться в тени. В этом случае они становятся нагрузкой. Чтобы этого избежать, нужно подключить байпас к каждой панели (рисунок 3.15). Обычно такие диоды уже встроены в солнечную панель.

Схема содержит блокирующие - диоды Шоттки. Они блокируют влияние по-разному освещенных блоков и шунтируют солнечную панель, которая начала работать в режиме нагрузки.

Использование диодов Шоттки позволяет получить с солнечных панелей больше энергии, т.к. в открытом состоянии на них падает напряжение всего лишь 0,3-0,4 В.

Для работы солнечной электростанции нужно 80 солнечных панелей. В схеме используется 2 гибридных инвертора. У каждого инвертора есть 2 входа для солнечных панелей. 40 солнечных панелей можно подключить к одному входу или по 20 к двум. Будем использовать по 2 входа гибридного инвертора.

Согласно таблице 3.1 напряжение холостого хода солнечной панели – 46,1 В, напряжение на нагрузке 38,0 В. Ток нагрузки 8,82А. При условии прямого направления панели на солнце.

Согласно таблице 3.6 в режиме гибридного инвертора диапазон работы МРРТ контроллера находится от 400 до 800 В, ток каждого входа 18,6 А.

Получается, что 20 последовательно подключенных солнечных панелей, выдающих под нагрузкой 38,0 В будут выдавать:

$$V_{\text{сум}} = V \cdot N = 38.0 \cdot 20 = 760 \text{ В} \quad (3.7)$$

где V – напряжение на выходе под нагрузкой одной солнечной панели;
 N – количество солнечных панелей.

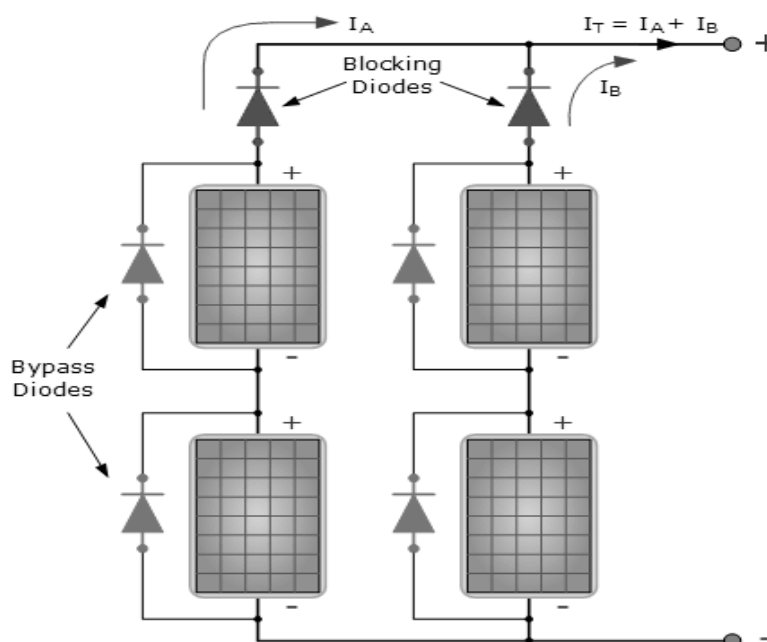


Рисунок 3.15 – Схема соединения солнечных панелей с блокирующими диодами и байпасом

Получается, что на вход гибридного инвертора на каждый вход будет подаваться максимальное напряжение 760 В и максимальный ток 8,82 А рисунок 3.16. При условии прямого направления панели на солнце.

Согласно таблице 3.6 для заряда аккумуляторов нужны аккумуляторы на номинальное напряжение 48 В с максимальными током заряда 20 – 400 А.

Согласно таблице 3.7. Номинальное напряжение АКБ – 12 В. Для получения напряжения в 48 В, необходим аккумуляторы соединить последовательно группами по 4 шт.

Согласно формуле 3.3 необходимое количество энергии для заряда – 200 000 Вт·ч. Рассчитаем необходимую емкость эквивалентной аккумуляторной батареи:

$$C = \frac{W}{V} = \frac{200\,000}{48} = 4\,167 \text{ А}\cdot\text{ч} \quad (3.8)$$

Найдем количество необходимых аккумуляторов емкостью 200 А·ч, округлив число в большую сторону. При этом будем учитывать, что для получения напряжения 48 В аккумуляторы подключены последовательно по 4 шт:

$$N = 4 \cdot \frac{C}{C_{\text{АКБ}}} = 4 \cdot \frac{4167}{200} = 83,2 \approx 84 \text{ шт} \quad (3.9)$$

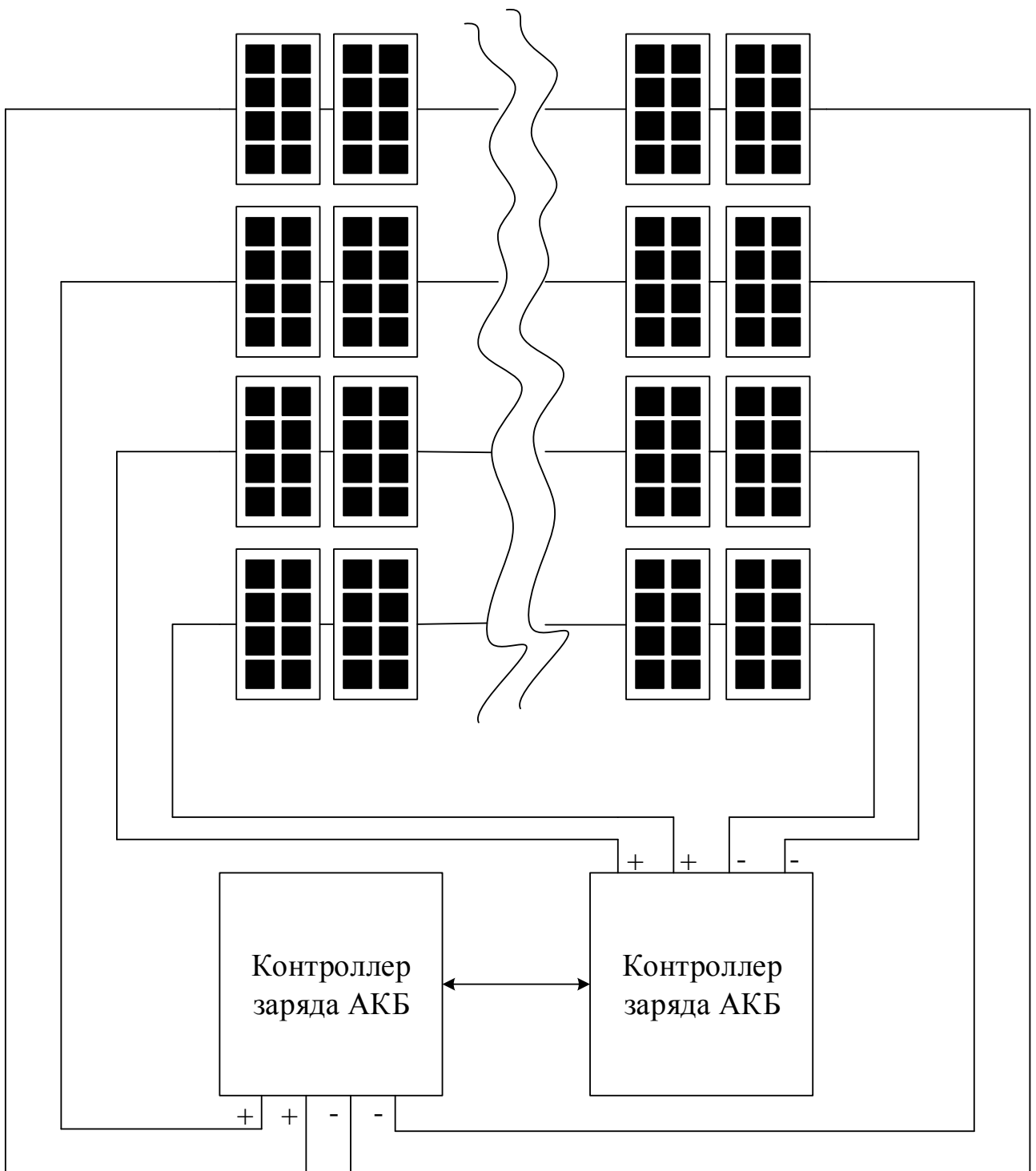


Рисунок 3.16 – Подключение солнечных полей 4x20 шт к контроллерам заряда АКБ

Данное количество АКБ будет выдавать требуемую энергию 200 000 Вт·ч при условии полного разряда. Производитель не рекомендует разряжать АКБ сильнее, чем на 30%. Тогда конечное количество АКБ с учетом данной рекомендации, кратное четырем:

$$N_{рез} = N \cdot \frac{100}{100-30} = 120 \text{ шт} \quad (3.10)$$

Получается сборка из 120 АКБ, в которой 30 блоков АКБ, соединенных параллельно. В каждом таком блоке 4 АКБ, соединенных последовательно.

В результате, объединив все компоненты мы получаем установку с основными параметрами, внесенными в таблицу 3.8.

Таблица 3.8 – Основные характеристики солнечной электростанции

Блок	Количество, шт	Цена за 1 шт, руб	Параметры блока
Солнечные панели NEOSUM NS-335PP	80	15 255	Мощность - 235 Вт Напряжение холостого хода – 46,1 В Напряжение под нагрузкой – 38,0 В Ток – 8,82 А КПД – 17,4%
Гибридный трехфазный инвертор SILA PRO 10кВт	2	241 000	<i>Входные характеристики солнечных батарей в режиме гибридного инвертора.</i> Номинальное/Максимальное напряжение - 720 В (DC) / 900 В (DC) Минимальное напряжение – 320 В Диапазон работы MPPT контроллера – 400-800 В

Продолжение таблицы 3.8

			Количество MPPT контроллеров - 2 / 2 x 18,6 А <i>Выходные характеристики в режиме работы от аккумуляторов</i>
--	--	--	--

			Номинальное выходное напряжение - 230 В(АС) (однофазный режим) / 400 В(АС) (трехфазный режим) Максимальный коэффициент преобразования (DC/AC) - 91% Аккумуляторы Номинальное напряжение - 48В Максимальный ток заряда - 20-400А
Гелиевый АКБ SunStone Power MLG 200Ah 12V	120	25	Напряжение – 12 В Емкость – 200 Ач В циклическом режиме при 30% глубине разряда – 2000 циклов разряда / заряда

После подсчетов получилось:

- Солнечные панели – 122 000 рублей;
- Гибридный трехфазный инвертор SILA PRO 10кВт - 482 000 рублей;
- Гелиевый АКБ SunStone Power MLG 200Ah 12V – 3 115 200 рублей

Итого на основные элементы солнечной электростанции необходимо:
3 719 200 рублей.

$$T_{\text{ок}} = \frac{Sum}{C \cdot W \cdot K} = \frac{3\,719\,200}{3 \cdot 200 \cdot 285} = 21,74 \text{ лет} \quad (3.11)$$

где Sum – стоимость комплектующих солнечной электростанции;

C – стоимость электроэнергии за 1 кВт·ч;

W – энергия, вырабатываемая в сутки, кВт·ч;

K – количество солнечных дней.

3.2 Выводы по третьему разделу

Резервный источник питания необходим во время отсутствия электро-снабжения. Одно из решений – солнечная электростанция с АКБ, выполняющая роль хранения резервной энергии.

Автономная гибридная солнечная электростанция позволяет использовать энергию солнца максимально-полезно. Она может подмешивать энергию в сеть и запасать энергию в АКБ. Вся энергия от солнца будет куда-нибудь использована.

Работа над диссертацией привела к поиску решений во всем мире. В результате при разработке солнечной электростанции были использованы актуальные решения.

После анализа существующих решений были выбраны.

Солнечная панель поликристаллическая марки NEOSUMTM Standart 72 – NS-335PP. Она позволяет преобразовывать не только прямой, но и рассеянный свет. Для этого панель необходимо установить под углом вертикально. Такое расположение панели исключает присутствие снега на ней в зимнее время суток.

При разработке солнечной электростанции были выявлены зависимости и закономерности, подтвердившие возможность установки устройства в средней полосе в Самарской области, г. Тольятти.

Для исключения паразитного воздействия панелей друг на друга при разной степени освещенности, необходимо подключать обратные диоды – байпасы и блокирующие диоды. При отсутствии данного решения, плохо освещенные панели будут вести себя, как нагрузка, потребляя энергию.

Солнечные панели направлены на солнце так, чтобы максимально преобразовывать энергию и зимой и летом от прямого света, так и от рассеянного света.

При разработке электростанции был выбран инвертор с MPPT контроллером. MPPT контроллер позволяет получить до 2,5 раз больше энергии с солнечной панели.

Благодаря наличию АКБ гибридная СЭС менее зависима от источника центрального электроснабжения. Такие СЭС применяют преимущественно как часть системы бесперебойного питания там, где центральное электроснабжение недостаточно или нестабильно.

К недостаткам следует отнести высокую цену системы, за счёт банка АКБ и мощности инвертора, которые должны быть тем больше, чем больше требуется времени бесперебойной работы и подключаемых нагрузок соответственно.

Внедрение маломощных солнечных электростанций натывается на проблему высокой цены. Для покупки электростанции нужен стартовый капитал. Снизить стоимость устройства возможно, если создать производство элементов солнечной электростанции на территории России. При этом характеристики не должны быть хуже импортных.

Прямой срок окупаемости солнечной электростанции составляет около 25 лет. Получается, что как только электростанция выработает свой ресурс, она себя окупит. Если учитывать подорожание электроэнергии за последующие 25 лет, то срок окупаемости сократиться. К тому же нужно учитывать практическую значимость работы: привлечение потенциальных студентов за счет рекламы солнечной электростанции. В этом случае окупаемость электростанции может снизиться до нескольких лет.

Автономные солнечные электростанции имеют большой потенциал для встраивания в городскую инфраструктуру. Так же их можно использовать в труднодоступных местах, куда невозможно подвести линии электропередач. Уже сегодня малогабаритные солнечные электростанции начали внедряться в наше общество.

С каждым годом технологии изготовления солнечных панелей, аккумуляторных батарей, контроллеров улучшаются и дешевеют. Это ведет к росту массового использования солнечных электростанций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние годы появилось много информации про возобновляемые источники энергии. Эта информацию глубоко засела в мыслях людей и влияет на все сферы экономики во всем мире. С каждым годом появляются новые новинки, делающие более доступными энергию ветра и солнца. Развитые страны уже во всю внедряют и используют возобновляемую энергию. При этом эта энергия стоит дешевле, чем традиционная.

Российская Федерация долгое время пыталась игнорировать солнечную энергетику. Это связано с климатом и другими факторами. Мировые тренды, глобализация мотивируют Россию начать активно заниматься солнечной энергетикой. В противном случае Россия будет располагаться в списке отставших стран [5, 56-57].

Дорогие компоненты солнечной электростанции и низкие тарифы на традиционные энергоносители отодвигают сроки окупаемости систем малой мощности за границы адекватных значений. Для конкурирования с традиционными энергоносителями необходимо увеличивать надежность, автономность электростанций, снижать затраты на эксплуатацию.

Применение солнечной энергетики для производства могло бы дать значимый толчок в получении «чистой», не загрязняющей окружающую среду энергетики. Многие ученые прогнозируют, что именно солнечная энергетика может стать зеленым источником энергии. Основная проблема при ее внедрении – большой срок окупаемости.

Большой срок окупаемости солнечной батареи обуславливает высокую стоимость 1 кВт*ч генерируемой электрической энергии. Новые технологии снижают стоимость электричества, но все равно эта стоимость выше, чем у не возобновляемых источников энергии. Только дополнительные инвестиции государства в развитие солнечной энергетики могут ускорить снижение стоимости 1 кВт*ч «зеленой» энергии.

В средних широтах России солнечная энергия непостоянна. Летом с одного квадратного метра можно получать до 1200 Вт. Зимой – в 5 раз меньше. Это связано с наклоном оси Земли, длительностью светового дня, количеством ясных дней.

Для получения максимума энергии от солнца нужно солнечные панели направлять перпендикулярно лучам. Зимой и летом угол наклона панелей – разный. Летом угол наклона равен географической широте местности минус 10 - 15 градусов. Зимой - плюс 10 - 15 градусов.

Другой вариант – использовать солнечные трекеры. Однако, это еще сильнее удорожит стоимость солнечной электростанции [61-65].

В средней полосе России зимой присутствует снежный покров и отрицательные температуры. Снег необходимо убирать с солнечных панелей. Для этого необходим обслуживающий персонал. С другой стороны, из-за снега увеличивается отражающая способность поверхностей до 85%. Его называют альбедо. Это приводит к увеличению генерируемой энергии солнечными панелями.

Решить проблему с осадками, пылью можно, расположив солнечные панели вертикально. В этом случае разница между полученной зимней и летней энергией будет отличаться всего лишь в 2 раза. При стандартном расположении панелей различия достигают 5-6 раз. Это связано с большой отражательной способностью снега зимой. Солнечные панели преобразуют и прямой и отраженный свет в электричество.

Типичное КПД солнечной панели - 17%, если панель направлена оптимально. Для вертикально-направленных панелей КПД снижается до 14%. С помощью программы PvSyst был получен оптимальный наклон солнечной панели, когда зимой панель получает максимум солнечной энергии. В России многие используют вертикальное расположение панелей в частных домах.

Анализ цен на компоненты солнечной электростанции показал, что она быстро окупится только при непосредственно отдаче энергии в сеть. В такой электростанции не нужно использовать АКБ. Энергию нужно сбрасывать в

энергосистему. В этом случае появляются требования к потребителю электрической энергии. Потребитель должен пользоваться энергией, когда она вырабатывается, а не когда ему она нужна.

Для автономных солнечных электростанций эффективным АКБ является литий-ионный аккумулятор. А также его разновидности. Этот АКБ не имеет «эффекта памяти», характеризуется высоким КПД, имеет длительный срок службы. Для процессов заряда-разряда в этой АКБ нужна современная электроника, что увеличивает начальные материальные затраты.

В районах, где отсутствует традиционная энергетика, применение солнечных электростанций является актуальной задачей. Солнечную электростанцию можно установить в любом месте, где светит солнце. Для питания слаботочных приемников электрической энергии отсутствует необходимость в подключении к существующей инфраструктуре объектов традиционной энергетике.

В России о появлении зеленого тарифа говорят много в последнее время. Правила утверждены. Проекты Постановлений - подготовлены. В Государственной Думе закон о зеленом тарифе был предоставлен на рассмотрение в начале 2018 года. Предполагается, что он будет принят в 2019 году.

Закон о зеленом тарифе предусматривает ограничение в продаже электроэнергии до 15 кВт. Многоквартирные дома не смогут продавать энергию. Энергосбыт будет покупать излишки энергии. Государство не будет облагать налогом данный вид дохода [64-65].

В результате появления зеленого тарифа владельцы солнечных электростанций смогут получать необлагаемый налогом доход, снизятся выбросы в атмосферу. Многие люди начнут строить солнечные электростанции. Возникнет бум солнечной энергетике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 51594-2000 Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Термины и определения.
2. ГОСТ Р 51597-2000 Нетрадиционная энергетика. Модули солнечные фотоэлектрические. Типы и основные параметры
3. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
4. СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
5. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года (Постановление Правительства Российской Федерации от 28.08.2003 г. №1234р).
6. Алфёров Ж.И. Тенденции и перспективы развития солнечной фото-энергетики // Физика и техника полупроводников. 2004. том 38. вып.8.
7. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 320 с.
8. Лукутин Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография. М.: Энергоатомиздат, 2008. 231 с.
9. Antonio L., Wiley J. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. England, 2013. P. 205-700.
10. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных элементов: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 2013.
11. Werner J.H. Perspectives of Crystalline Silicon Thin Film Solar Cells // Technical Digest of 13th Sunshine Workshop on Thin Film Solar Cells, NEDO. Tokyo, 2010. P. 41.
12. Saito K., Sano M. Outdoor performance of triple stacked a-Si photovoltaic module in various geographical locations and climates. // Techn. Digest, 11th Int. Photovoltaic Science and Engineering Conf. Kyoto, 2009. P. 229.
13. Staebler K.A. Wronski effect in amorphous silicon and its alloys // Opto-Electron. Rev., 12, no. 1, 2014.

14. Нагаев Д.А., Факторы, ограничивающие применение солнечных электростанций / Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологий. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. С. 130-135.

15. Нагаев Д.А., Мезин А.В. Энергосбережение и энергосберегающие технологии / Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологий. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. С. 264-268.

16. Беляев Ю.К., Богатырёв В.А., Болотин В.В. Надёжность технических систем: Справочник; Под ред. И.А. Ушакова. М.: Инфра-М, 2012. 608 с.

17. Тольятти – Википедия [Электронный ресурс] : URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Тольятти> (дата обращения 22.04.2019).

18. Время восхода и захода в г. Тольятти [Электронный ресурс] : URL: <https://voshod-solnca.ru/sun/%D1%82%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%8F%D1%82%D1%82%D0%B8> (дата обращения 22.04.2019).

19. Информационный портал о мировом климате [Электронный ресурс] : URL: <http://www.climatedata.info/> (дата обращения 12.04.2019).

20. Лапаева О.В. Трансформация энергетического сектора экономики при переходе к энергосберегающим технологиям и возобновляемым источникам энергии [Электронный ресурс] : URL: http://vestnik.osu.ru/2010_13/8.pdf (дата обращения 10.02.2019).

21. U.S. Energy Information Administration/ Solar [Электронный ресурс] : URL: https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=solar_home (дата обращения 7.05.2019).

22. Vivint Solar Developer/ How do solar panels work? [Электронный ресурс]: URL: <https://www.vivintsolar.com/learning-center/how-does-solar-power-work> (дата обращения 10.04.2019).

23. Солнечная батарея [Электронный ресурс] : URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_батарея (дата обращения 10.04.2019).

24. Насколько подешевеет солнечная энергия [Электронный ресурс] : URL: <https://geektimes.ru/post/260160/> (дата обращения 18.04.2019).

25. Поручение о стимулировании развития микрогенерации на основе возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] : URL: <http://government.ru/orders/selection/401/26467/> (дата обращения 22.04.2019).

26. Are we headed for a solar waste crisis? [Электронный ресурс] : URL: <http://www.environmentalprogress.org/big-news/2017/6/21/are-we-headed-for-a-solar-waste-crisis> (дата обращения 11.05.2019).

27. Маругин А. П. Силовая электроника: конспект лекций. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013 – 246 с.

28. Перспективы солнечной энергетики [Электронный ресурс] : URL: <http://altenergiya.ru/apologiya/perspektivy-solnechnojenergetiki-2015.html> (дата обращения 7.05.2019).

29. Собственная солнечная электростанция – за и против [Электронный ресурс] : URL:http://www.solarhome.ru/autonom/pros_cons.htm (дата обращения 11.04.2019).

30. Виды солнечных элементов и их отличия [Электронный ресурс] : URL: <http://www.solarroof.ru/theory/30/51/> (19.05.2019).

31. Он-лайн калькулятор [Электронный ресурс] : URL: <http://www.helios-house.ru/on-line-kalkulyator.html> (дата обращения 19.04.2019).

32. Солнечный контроллер [Электронный ресурс] : URL: <http://www.helios-house.ru/solar-controller.html> (дата обращения 26.04.2019).

33. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения. М. : Госэнергоиздат, 2013.

34. Шведов Г.В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети. М.: Изд-во МЭИ, 2012.

35. Киреева Э.А., Шерстнев С.Н. Полный справочник по электрооборудованию и электроснабжению (с примерами расчетов)– 3-е изд. М.:КНОРУС, 2017.

36. Нагаев Д.А. Обзор современных солнечных панелей // Вестник современных исследований. Выпуск №6-3 (21) (июнь, 2018): Научный центр «Орка», 2018. С. 530-535.

37. Безруких П.П. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России. СПб.:Наука, 2014.

38. Alternative Energy Sources [Электронный ресурс] : URL: <http://www.conserve-energy-future.com/alternativeenergysources.php> (дата обращения 1.04.2019).

39. Center for Climate and Energy Solutions [Электронный ресурс] : URL: <http://www.pewclimate.org> (дата обращения 23.02.2019).

40. US Solar Power Growth through 2040 Exponential or inconsequential? [Электронный ресурс] : URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/energy-and-resources/articles/us-solar-power-growth-through-2040.html> (дата обращения 10.04.2019).

41. Ваш солнечный дом – системы электроснабжения [Электронный ресурс] : URL: <http://www.solarhome.ru> (дата обращения 10.02.2019).

42. Солнечная радиация. Таблицы инсоляции [Электронный ресурс] : URL: http://net220.ru/poleznye_stati/solnechnaya_radiaciya_tablicy_insolyacii (дата обращения 10.01.2019).

43. Система имитационного моделирования фотоэлектрических установок PvSyst [Электронный ресурс] : URL: <http://www.pvsyst.com/en/> (дата обращения 27.04.2019).

44. Gonen T. Electric Power Distribution Engineering. - 3 изд. Boca Raton: CRC Press, 2014. 1061 с.

45. McPartland J.F., McPartland B.J., McPartland S.P. McGraw-Hill's Handbook of Electric Construction Calculations. New York City, 2013. 320 с.

46. Гибилиско С. Альтернативная энергетика без тайн. Москва, 2010. 368 с.

47. Шехер Г. Экономические основы солнечной энергетики. Экологический возобновляемый источник энергии будущего. 2004. 368 с.

48. Наумов А.В. Ещё раз о развитии солнечной энергетики и рынке кремниевого сырья в 2007-2010 гг. 2007. 20 с.

49. Marti A.B., Luque A. "The Sun Tracker in Concentrator Photovoltaics" in Cristobal, Next Generation Photovoltaics, Springer Verlag, 2012. 332 p.

50. Нагаев Д.А. Альтернативная энергетика: накопители энергии / Электр. «Молодежь. Наука. Общество» : Всероссийская студенческая научно-практическая междисциплинарная конференция (Тольятти, 5 декабря 2018 года) : электронный сборник студенческих работ / отв. за вып. С.Х. Петерайтис. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2018. С. 695-697.

51. Wang, X. Use of LiFePo4 batteries in stand-alone solar system [Электронный ресурс] : URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610212011800>, свободный (дата обращения 1.04.2019).

52. Солнечная панель [Электронный ресурс] : URL: <https://neosun.com/wp-content/uploads/2019/05/Neosun-NS-325-335P-72-ru.pdf> (дата обращения 22.04.2019).

53. Инвертор [Электронный ресурс] : URL: <https://e-solarpower.ru/solar/inverter/hybrid-inv/sistema-trehfaznyh-invertorov-sila-pro-20kvt/> (дата обращения 22.04.2019).

54. Rosu-Hamzescu M. AN1521 Practical Guide to Implementing Solar Panel MPPT Algorithms [Электронный ресурс] : URL: https://www.academia.edu/7279951/Practical_Guide_to_Implementing_Solar_Panel_MPPT_Algorithms (дата обращения 11.02.2019).

55. Аккумуляторная батарея [Электронный ресурс] : URL: <https://e-solarpower.ru/batteries/hel-bat/akkumulyator-gel-sunstonepower-mlg200/> (дата обращения 21.04.2019).

56. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» – от 13.11.2009 г.

57. Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности, и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» – от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 13.07.2015).

58. Экологически чистые технологии [Электронный ресурс] : URL: <http://www.solbat.ru> (дата обращения 5.05.2019).

59. Boden S. A., Bagnall D. M. Bio-mimetic nanostructured surfaces for near-zero reflection sunrise to sunset. 2011.

60. Lubitz W.D. Effect of Manual Tilt Adjustments on Incident Irradiance on Fixed and Tracking Solar Panels // Applied Energy, Volume 88. 2011. P. 1710-1719.

61. Солнечные трекары [Электронный ресурс] : URL: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/3032/>. (дата обращения 29.12.2018).

62. Bhote V., Singh J. Implementation of dual axis solar tracker model by using microcontroller // International Journal of Engineering Research and General Science Volume 2, Issue 4, June-July. 2014. С. 780 – 784.

63. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: в 2-х т. М.: Мир, 598 с.

64. Национальная лаборатория возобновляемой энергетики США [Электронный ресурс] : URL: <http://www.nrel.gov/> (дата обращения 18.02.2019).

65. Luque A. L., Andreev V. M. Concentrator photovoltaics. Springer-verlag Berlin Heidelberg. Berlin, 2007. 345 p.