

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К.  
Аммосова»  
Физико-технический институт  
Кафедра «Электроснабжение»

**Н.П. Местников**

**ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ  
В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА**

Учебное пособие. Часть 2.  
по дисциплине «Общая энергетика» и  
факультативу «Основы энергосбережения и  
ресурсоэффективности в условиях Севера»

Рекомендовано учебно-методическим советом СВФУ  
в качестве курса лекций и практических занятий  
для студентов по направлениям подготовки  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Профиль – Электроснабжение  
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
Профиль – Энергообеспечение предприятий

Якутск 2021 г.

УДК 620.92

ББК 31.6

Утверждено учебно-методическим советом СВФУ

Рецензенты:

Э.Г. Нуруллин, д.т.н., профессор ИМиТС КазГАУ, г. Казань

Д.В. Рыжков, к.т.н., доцент, рук-ль УИЦ «ЭиЭ» КГЭУ, г. Казань

**Местников Н.П.**

**Возобновляемые источники энергии в условиях Севера:** учебное пособие часть 2 по дисциплине «Общая энергетика» и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера» / Н.П. Местников – Якутск, 2021 г.: Издательство: ООО РИЦ «Офсет».

Пособие содержит теоретический материал и описание практических работ по дисциплине «Общая энергетика» и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера» с учетом внешних параметров условий Севера в том числе, а также краткую теорию об энергетических установках и системах, применяющиеся в сфере энергосбережения и ресурсоэффективности. Представлены основные понятия, термины и нормативно-правовые акты в сфере энергосбережения и ресурсоэффективности.

Учебное пособие предназначено для студентов по направлениям 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и начинающих специалистов производственных предприятий в сфере энергетики в том числе отраслевых министерств и ведомств. Составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины «Общая энергетика».

При разработке методических указаний использовались практические материалы кафедры «Электроснабжение» Физико-технического института СВФУ им. М.К. Аммосова (г. Якутск), Института теплоэнергетики Казанского государственного энергетического университета (г. Казань) и Университета Аль-Баас (г. Хомс, Сирийская Арабская Республика).

ISBN 978-5-91441-325-2



9 785914 413252

УДК 620.92

ББК 31.6

© Местников Н.П., 2021

© Северо-Восточный федеральный университет, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>6</b>
<b>ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....</b>	<b>8</b>
<b>УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ .....</b>	<b>11</b>
<b>РАЗДЕЛ «СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА».....</b>	<b>14</b>
<b>ГЛАВА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Солнечная электростанция.....</b>	<b>15</b>
1.1.1 Сетевая солнечная электростанция.....	15
1.1.2 Автономная солнечная электростанция .....	18
1.1.3 Гибридная солнечная электростанция.....	19
1.2 Перспективные технологии в солнечной энергетике .....	21
1.3 Рекомендуемые видеоматериалы .....	29
1.4 Контрольные вопросы .....	29
Краткие выводы по главе .....	30
<b>ГЛАВА 2. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ.....</b>	<b>31</b>
2.1. Фотоэлектрические солнечные панели .....	31
2.2 Классификация фотоэлектрических солнечных панелей .....	31
2.3 Монокристаллические солнечные панели.....	31
2.4 Поликристаллические солнечные панели .....	33
2.5 CIS солнечные панели.....	35
2.6 CdTe солнечные панели .....	37
2.7 Аморфные солнечные панели .....	38
2.8 Рекомендуемые видеоматериалы .....	42
2.9 Контрольные вопросы .....	43
Краткие выводы по главе .....	43

<b>ГЛАВА 3. КОНТРОЛЛЕРЫ ЗАРЯДА.....</b>	<b>45</b>
3.1 Контроллеры заряда для солнечных электростанций .....	45
3.2 Виды контроллеров заряда .....	45
3.3 Критерии выбор контроллеров заряда.....	46
3.4 ON/OFF контроллер заряда .....	46
3.4 <i>PWM</i> (ШИМ) контроллер заряда .....	47
3.5 <i>MPPT</i> контроллер заряда.....	51
3.6 Рекомендуемые видеоматериалы .....	53
3.7 Контрольные вопросы .....	54
Краткие выводы по главе .....	55
<b>ГЛАВА 4. АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ.....</b>	<b>56</b>
4.1 Виды аккумуляторных батарей .....	56
4.2 Свинцово-кислотные АКБ .....	56
4.2.1 Стартерные АКБ.....	56
4.2.2 AGM АКБ .....	57
4.2.3 Гелиевые АКБ .....	58
4.2.4 Заливные АКБ .....	59
4.3 Щелочные АКБ.....	61
4.4 Литий-ионный АКБ .....	64
4.5 Основные технические параметры АКБ.....	66
4.6 Расчет выбора аккумуляторной батареи .....	66
4.7 Выбор модели АКБ .....	68
4.8 Схемы соединения АКБ .....	69
4.8.1 Последовательное соединение АКБ .....	69
4.8.2 Параллельное соединение АКБ.....	70
4.8.3 Параллельно-последовательное соединение АКБ.....	71
4.9 Рекомендуемые видеоматериалы .....	71

4.10 Контрольные вопросы .....	72
Краткие выводы по главе .....	73
<b>ГЛАВА 5. СИЛОВЫЕ ИНВЕРТОРЫ.....</b>	<b>73</b>
5.1 Определение силового инвертора .....	74
5.2 Техническая сторона силового инвертора .....	75
5.3 Схемотехника силового инвертора .....	76
5.4 Типы силовых инверторов.....	82
5.5 Рекомендуемые видеоматериалы .....	83
5.6 Контрольные вопросы .....	83
Краткие выводы по главе .....	84
<b>ГЛАВА 6 ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПРОРАБОТКИ.....</b>	<b>85</b>
6.1 Требования к оформлению самостоятельных и расчетно-графических работ.....	85
6.1.1 Требования к выполнению заданий по теме реферата .....	85
6.1.2 Требования к выполнению заданий по расчетно-графической работе .....	88
Образец формы титульного листа для расчетно-графической работы .....	92
Образец формы титульного листа для реферата .....	93
6.2 Задания для самостоятельной работы (Рефераты) .....	94
6.3 Задания для РГР .....	95
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....</b>	<b>100</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....</b>	<b>101</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....</b>	<b>102</b>
<b>РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>103</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

В рамках реализации требований и условий Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС 3++) и Федерального закона "Об образовании в Российской Федерации" от 29.12.2012 N 273-ФЗ высшими учебными заведениями (далее – ВУЗ) активно производятся процедуры обучения студентов по различным направлениям бакалавриата, магистратуры, аспирантуры и специалитета.

Однако необходимо отметить, что в условиях усиления степени цифровой трансформации с учетом направлений развития в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и постоянной актуализации Федерального закона от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 11.06.2021) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" и Федерального закона "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 N 35-ФЗ (последняя редакция) внутри предприятий в сфере энергетики и ЖКХ необходимо обеспечение взаимной интеграции ВУЗов и энергетических компаний в целях получения высококвалифицированных специалистов, владеющие необходимыми навыками, которые являются актуальными и востребованными в настоящий момент.

Кроме того, необходимо особо отметить, что, к сожалению, в большинстве ВУЗов России фактически отсутствуют учебные факультативы, направленные обучение студентов к компетенциям и навыкам энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях высокой скорости развития технологий.

В случае несоответствия навыков и компетенций, полученные студентом во время обучения в ВУЗе, потенциальные работодатели вынуждены обеспечить переобучение молодого специалиста к новым

компетенциям в сфере энергосбережения и ресурсоэффективности, где потребуется до 6 месяцев в зависимости от интеллектуального уровня молодого специалиста, что и является катализатором медленного функционирования предприятия, неприемлемое для предприятий и организаций. Вследствие данной тенденции потенциальные работодатели вынуждены нанимать на рабочую деятельность специалистов со стажем работы от 2 лет.

В связи с этим решением данной проблемной точки является разработка учебно-методического пособия на основании требований и условий рабочей программы факультатива «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера», которая разработана в соответствии с условиями и требованиями существующего уровня развития технологий в сфере энергосбережения и рынка труда внутри энергетических предприятий.

Автор учебно-методического пособия выражает свою большую благодарность за ценные замечания и советы своим научным руководителям и наставникам:

- Н.С. Буряниной, доктору технических наук, профессору кафедры «Электроснабжение» ФТИ СВФУ имени М.К. Аммосова.
- П.Ф. Васильеву, кандидату технических наук, заведующему отделом электроэнергетики 70 ИФТПС СО РАН, и.о. заведующего кафедрой «Электроснабжение» ФТИ СВФУ имени М.К. Аммосова.
- Нуруллину Э.Г., доктору технических наук, профессору кафедры «Машины и оборудования в агробизнесе» Института механизации и технического сервиса Казанского государственного аграрного университета.
- Ильину В.К., доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий» Института теплоэнергетики Казанского государственного энергетического университета.

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

№	Сокращенное название	Определение
1.	ФЗ	Федеральный закон
2.	СП	Свод правил
3.	СанПин	Санитарные нормы и правила
4.	СНиП	Строительные нормы и правила
5.	МинЖКХиЭ	Министерство жилищно-коммунального хозяйства и энергетики
6.	ДККЭиАР	Департамент коммунального комплекса, энергоэффективности и административной работы
7.	ДЭФ	Департамент экономики, финансов, имущества и информатизации
8.	ДЭ	Департамент энергетики, жилищной политики и оперативного контроля
9.	Центр ЖКХ	ГАУ РС(Я) «Центр развития жилищно-коммунального хозяйства и повышения энергоэффективности»
10.	Минстрой	Министерство строительства
11.	Справка	Справочная информация об определенном вопросе в зависимости от запроса руководства
12.	ВОС	Водоочистные сооружения
13.	КОС	Канализационно-очистные сооружения
14.	Указ 204 / Нацпроекты	Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»
15.	ТЗ	Техническое задание
16.	ПЗ	Пояснительная записка
17.	НПА	Нормативно-правовой акт
18.	ГИП	Главный инженер проекта
19.	ОВОС	Оценка воздействия на окружающую среду
20.	ЗУ	Земельный участок
21.	ДЖКХ	Департамент ЖКХ и энергетики
22.	ПО	Программное обеспечение





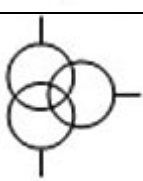







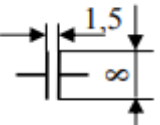

23.	КИУМ	Коэффициент использования установленной мощности
24.	УМП	Учебно-методическое пособие
25.	ТЭО	Технико-экономическое обоснование
26.	БП	Бизнес-план
27.	ПС	Подстанция
28.	ЭС	Электроснабжение
29.	ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
30.	АРМ	Автоматизированные рабочие места
31.	ПК	Персональный компьютер
32.	ЛЭП	Линия электропередачи
33.	СН	Собственные нужды
34.	ВН	Высокое напряжение
35.	НН	Низкое напряжение
36.	ТЭР	Технико-экономический расчет
37.	ИЭИ	Инженерно-экологические изыскания
38.	ИГМИ	Инженерно-гидрометеорологические изыскания
39.	ИГИ	Инженерно-геодезические изыскания
40.	НИР	Научно-исследовательская работа
41.	САПР	Система автоматизированного проектирования
42.	ЗРУ	Закрытая распределительная установка
43.	ОРУ	Открытая распределительная установка
44.	РУ	Распределительная установка
45.	ГПП	Главная понизительная подстанция
46.	СМР	Строительно-монтажные работы
47.	ТУ	Технические условия
48.	НТД	Нормативно-техническая документация
49.	ПД	Проектная документация
50.	ПОС	Проект организации строительства
51.	ППР	Проект производства работ



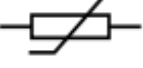
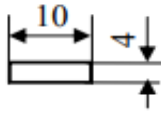
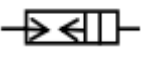
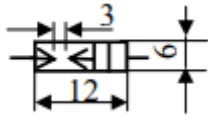
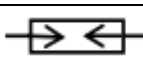

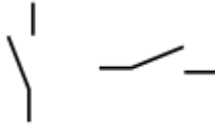
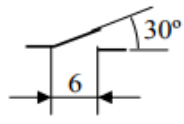
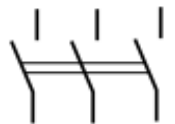
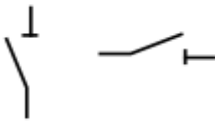
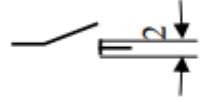
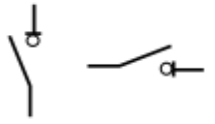
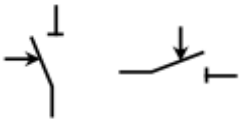
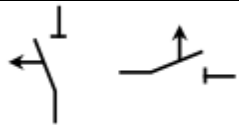
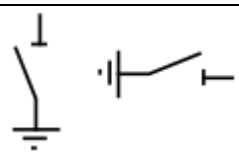

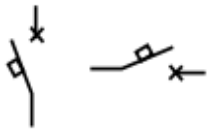
52.	СДТУ	Средства диспетчерского и технологического управления
53.	ДЭС	Дизельная электростанция
54.	ДГУ	Дизель-генераторная установка
55.	э/э	Электрическая энергия
56.	о.е.	Относительные единицы
57.	АКБ	Аккумуляторная батарея












# УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ

## ОБОЗНАЧЕНИЯ

В

Наименование	Обозначение		Размеры в мм
	Графическое	Буквенное	
Двухобмоточный силовой трансформатор		Т	Диаметр – 10, длина стрелки – 20, угол наклона – 45°
Автотрансформатор		АТ	-
Трехобмоточный силовой трансформатор		Т	-
Силовой трехфазный двухобмоточный с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН)		Т	-
Трансформатор тока		ТА	Диаметр окружности – 10, радиус дуг – 2,5.
Трансформатор напряжения		ТВ	Диаметр окружности – 10, расстояние между центрами окружностей – 6
Кабельная линия		КЛ	-
Токоограничивающий реактор		LR	Диаметр – 12 мм
Сдвоенный реактор		LR	-
Батарея конденсаторная силовая		СВ	
Генератор		Г (G)	Диаметр окружности – 10. Для основных элементов схемы размеры увеличивать в 2 раза.

Синхронный компенсатор		GS	-
Электродвигатель		M	-
Ограничитель перенапряжения		ОПН (FV)	
Разрядник вентильный		FV	
Разрядник трубчатый		FV	-
Плавкий предохранитель		FU	-
Рубильник		QS или SA	
Рубильник, выключатель низковольтный трехполюсный		-	-
Разъединитель		QS	
Выключатель нагрузки		QW	-
Короткозамыкатель		QN	-
Отделитель одностороннего действия		QR	
Заземляющий нож		QSG	
Заземление		-	-
Автоматический выключатель		QF	-

Амперметр: А – показывающий Б – регистрирующий	 а)  б)	РА	Диаметр – 10; квадрат 10×10
Вольтметр: А – показывающий Б – регистрирующий	 а)  б)	PV	Диаметр – 10; квадрат 10×10
Ваттметр: А – показывающий Б – регистрирующий	 а)  б)	PW	-
Варметр: А – показывающий Б – регистрирующий	 а)  б)	PVA	-
Счетчик активной энергии		PI	-
Счетчик реактивной энергии		PK	-
Линия проводки		Л	-

## РАЗДЕЛ «СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

В данном разделе представлена информация о терминах и принципе работы объектов гелиоэнергетики с представлением общих схем и графических интерпретаций.

Солнечная энергетика – это одно из основных направлений возобновляемой энергетики, основанное на получении энергии из солнечной радиации. Она получила широкое распространение как частичная замена традиционным источникам энергии на промышленных предприятиях.

Солнечная электростанция – это комплект оборудования, состоящий из одного или нескольких солнечных модулей и комплектующих (аккумуляторов, преобразователей, контроллеров и прочих). Установки предназначены для получения электроэнергии из солнечных лучей с ее последующим резервированием или подачей в сеть.

Солнечный коллектор – гелиоустановка (для сбора тепловой энергии Солнца), способная нагревать материал-теплоноситель. Солнечные коллекторы применяются для отопления промышленных и бытовых помещений, для горячего водоснабжения производственных процессов и бытовых нужд. Пищевая и текстильная промышленности больше остальных отраслей нуждаются в использовании солнечных коллекторов (при производственных процессах требуется вода с температурой 30-90°C).

### Понятийно категориальный аппарат:

*Солнечная электростанция, солнечная радиация, продолжительность солнечного сияния, поликристаллическая солнечная панель, монокристаллическая солнечная панель, аморфная солнечная панель, контроллер заряда, аккумуляторная батарея, система накопления энергии, силовой инвертор, трекерная установка, солнечный коллектор, буферный бак, подогреватель воды.*

# **ГЛАВА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

## **1.1 Солнечная электростанция**

Солнечные электростанции – это самый экологичный, доступный и экономически выгодный источник электроснабжения любых объектов потребления электроэнергии. Данные объекты преобразуют энергию солнца в электрическую энергию, которую можно использовать в целях электроснабжения определенного объекта: дачи, дома, коттеджа, предприятия, офиса, гостиницы и т.д.

В настоящий момент существуют различные виды солнечных электростанций, а именно:

- Сетевая солнечная электростанция.
- Автономная солнечная электростанция.
- Гибридная солнечная электростанция.

Вышеуказанные виды солнечных электростанций будут рассмотрены в последующих подразделах.

### **1.1.1 Сетевая солнечная электростанция**

Сетевая солнечная электростанция – это идеальный способ экономии электроэнергии с применением ВИЭ.

Сетевая солнечная электростанция состоит из источника электроэнергии – солнечных модулей и сетевого инвертора, который ретранслирует солнечную электроэнергию в существующую централизованную сеть 220 или 380 В.

В данный момент на собственной солнечной электростанции возможно существенно сэкономить денежные средства на электроэнергию и в соответствии с последними изменениями в виде 6-й и 7-й Главами Федерального закона "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 N 35-ФЗ (последняя редакция).

В законодательство об электроэнергетике вводится понятие объекта микрогенерации и его критерии. Это объект по производству электрической энергии, установленная генерирующая мощность которого не превышает величину присоединенной мощности энергопринимающих устройств потребителя и составляет 15 кВт и менее, и который используется потребителями электрической энергии на розничных рынках для производства электрической энергии в целях удовлетворения собственных бытовых и (или) производственных нужд.

Создаются правовые основания для стимулирования развития таких объектов, в т.ч. в части порядка их технологического присоединения к сетям и продажи выработанной электроэнергии в сеть — на розничных рынках гарантирующим поставщикам и энергосбытовым организациям.

Правительство РФ наделяется полномочиями по установлению особенностей коммерческого учета вырабатываемых объемов электроэнергии и по определению особенностей взаимодействия «просьюмеров», гарантирующих поставщиков и других субъектов розничных рынков.

Общая схема сетевой солнечной электростанции представлена на рисунке 1.1.

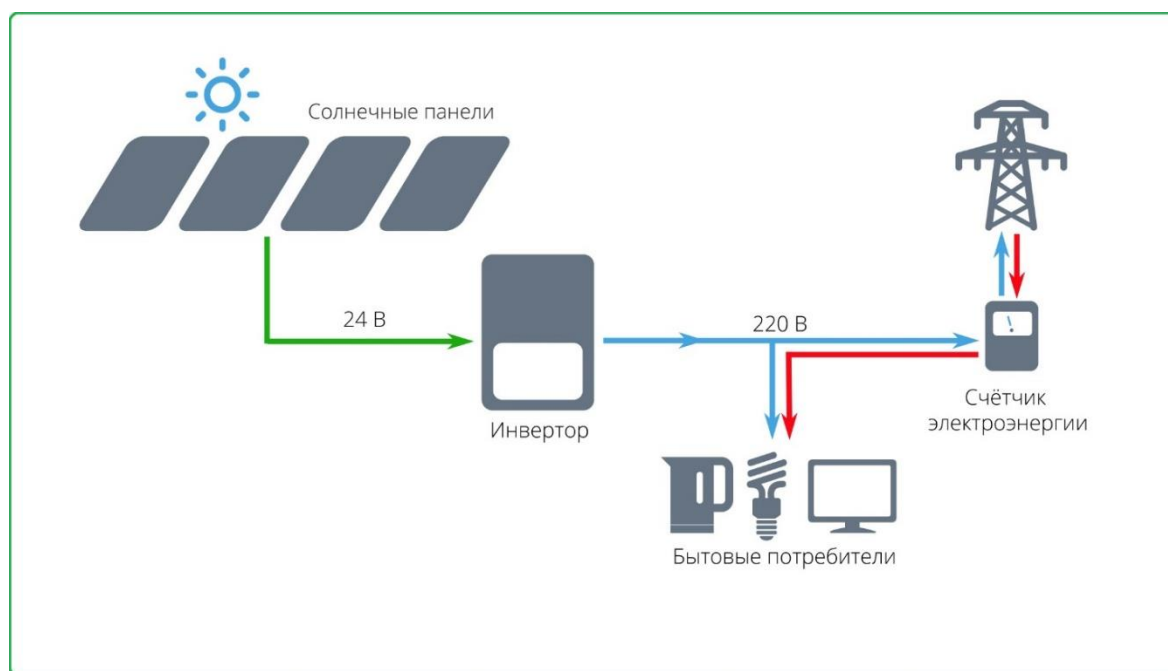


Рисунок 1.1 – Общая схема сетевой солнечной электростанции



Сетевая солнечная электростанция - это солнечная электростанция, в которой используется способ прямого преобразования солнечного излучения в электрическую энергию. Основа солнечной электростанции – это солнечные модули. Они предназначены для преобразования энергии солнца в электрическую энергию постоянного тока. Классическая установка состоит из комплекта солнечных модулей, которые размещаются на опорных конструкциях, контроллеров заряда, использующих солнечную энергию для заряда аккумуляторной батареи (АКБ) и инвертора, предназначенного для преобразования постоянного тока АКБ в переменный и передаче ее во внутреннюю сеть потребителя.

Однако, в последнее время, наиболее популярной стала конфигурация энергосистемы, когда солнечная энергия сразу преобразуется в переменное напряжение промышленной частоты с помощью сетевого солнечного инвертора (grid-tie inverter). Такая схема преобразования на 30-35% более эффективна, чем классическая. Кроме того, концерн SOFAR SOLAR производит сетевые солнечные инверторы, имеющие КПД порядка 98% с MPPT трекером на входе, что дополнительно существенно повышает энерговыработку. Таким образом, вся преобразованная солнечная энергия подается в общую линию потребления всех нагрузок объекта электроснабжения после узла учета для уменьшения потребления от вводной электросети. Система связана с внутренней электросетью и является ведомой: при отключении (плановом или аварии) вводной электросети, генерация электроэнергии от солнечных модулей прекращается.

Существенным преимуществом данной системы является отсутствие в ней, аккумуляторных батарей, самого ненадежного звена в автономной системы с солнечными модулями. Расчетный срок службы солнечных батарей и инвертора составляет свыше 50-ти лет. Система функционирует полностью в автоматическом режиме. Вся энергия от солнечных модулей идет на питание электрооборудования в доме и используется приоритетно, в случае если выработка от солнечных модулей превышает потребление – излишки (если нет

или отключена функция "запрет" у инвертора), поступают в общую сеть.

### 1.1.2 Автономная солнечная электростанция

Автономная солнечная электростанция – основной или дополнительный источник электроэнергии. Основными элементами солнечной системы являются: солнечные панели, аккумуляторные батареи, контроллер заряда и инвертор.

Солнечное излучение непостоянно во времени, поэтому выработка солнечных панелей не всегда соответствует показателям потребления электроэнергии.

В целях накопления излишков электроэнергии и использования ее в случаях, когда потребление превышает выработку, применяются аккумуляторные батареи, где на рисунке 1.2 представлена общая схема автономной солнечной электростанции.

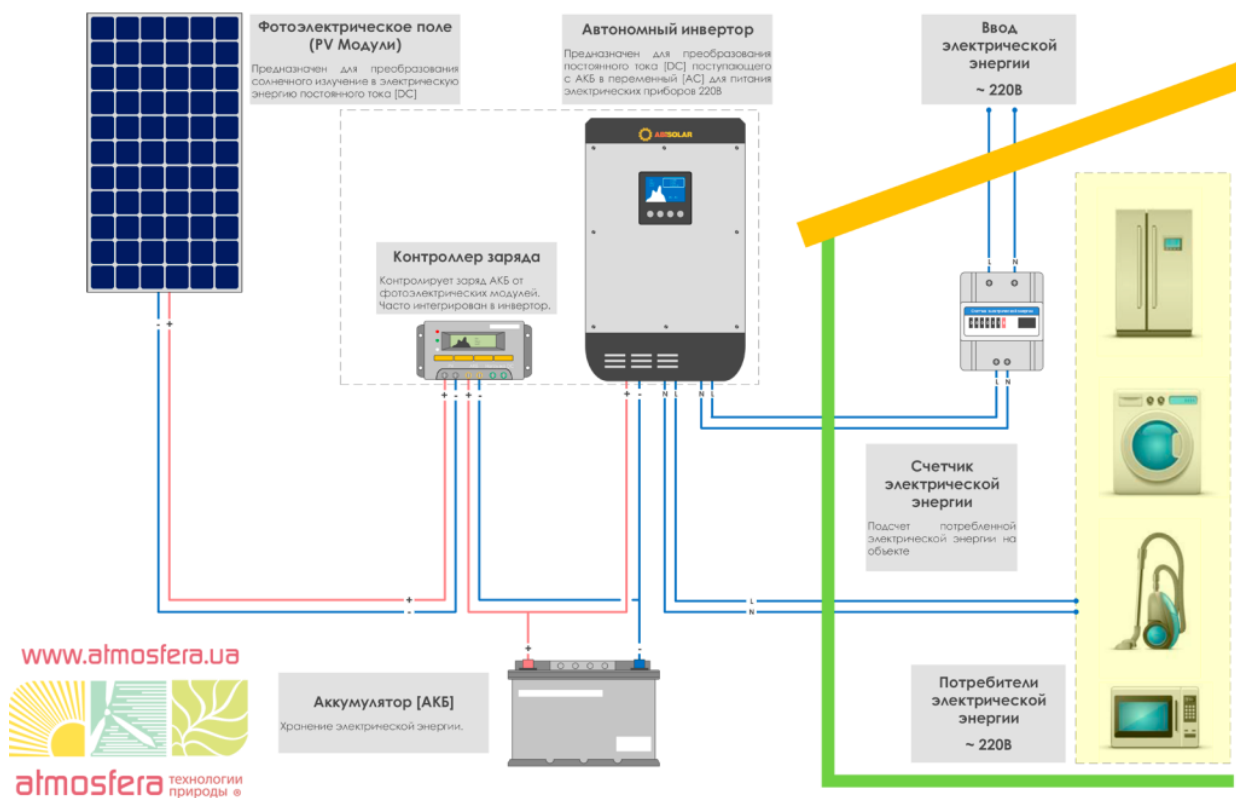


Рисунок 1.2 – Общая схема автономной солнечной электростанции

Подключение солнечных панелей напрямую к аккумуляторным батареям для их заряда недопустимо, поскольку это может привести к их повреждениям, которые повлекут за собой выход из строя. Именно для защиты аккумуляторных батарей от перезаряда и для поддержания оптимальной работы АКБ используют контроллер заряда.

Поскольку большинство потребителей электроэнергии используют переменный ток, а солнечные панели и аккумуляторные батареи выдают постоянный, возникает необходимость в преобразовании тока из постоянного в переменный и в связи с этим применяется силовой инвертор.

В случае необходимости подключения нагрузки постоянного тока – его можно напрямую подключить к выходным клеммам контроллера заряда или аккумуляторной батареи.

### **1.1.3 Гибридная солнечная электростанция**

Гибридная солнечная электростанция – это комбинированный тип сетевой и автономной солнечных электростанций.

Днем солнечная энергия направляется во внутреннюю сеть, уменьшая потребление. Ночью система переходит на питание от промышленной сети или аккумуляторов. При отключении промышленной сети система работает как автономная солнечная электростанция – энергоснабжение объекта не прерывается и осуществляется от солнечной и запасенной в аккумуляторах энергии. Если в гибридной электростанции в качестве солнечного контроллера используется сетевой инвертор (что увеличивает эффективность), она называется гибридно-сетевая солнечная электростанция.

На рисунке 1.3 представлена общая схема гибридной сетевой солнечной электростанции с приведением перечня необходимого силового и вспомогательного оборудования.

Процесс работы гибридной солнечной станции можно описать следующим образом:

- солнечные панели генерируют энергию.
- выработанная энергия напрямую используется включенными электроприборами.
- излишки выработанной энергии будут накапливаться в аккумуляторных батареях (АКБ) для дальнейшего использования. Накопленная в аккумуляторах энергия может быть использована совместно с генерируемой энергией от солнечных батарей в том случае, когда потребляемая мощность включённых электроприборов превышает мощность, вырабатываемую от солнечных панелей.
- в период отсутствия солнечной активности, запасённая ранее энергия может быть использована в соответствии с потребностями. Когда аккумуляторы полностью заряжены и все потребители электроэнергии находятся в выключенном состоянии.

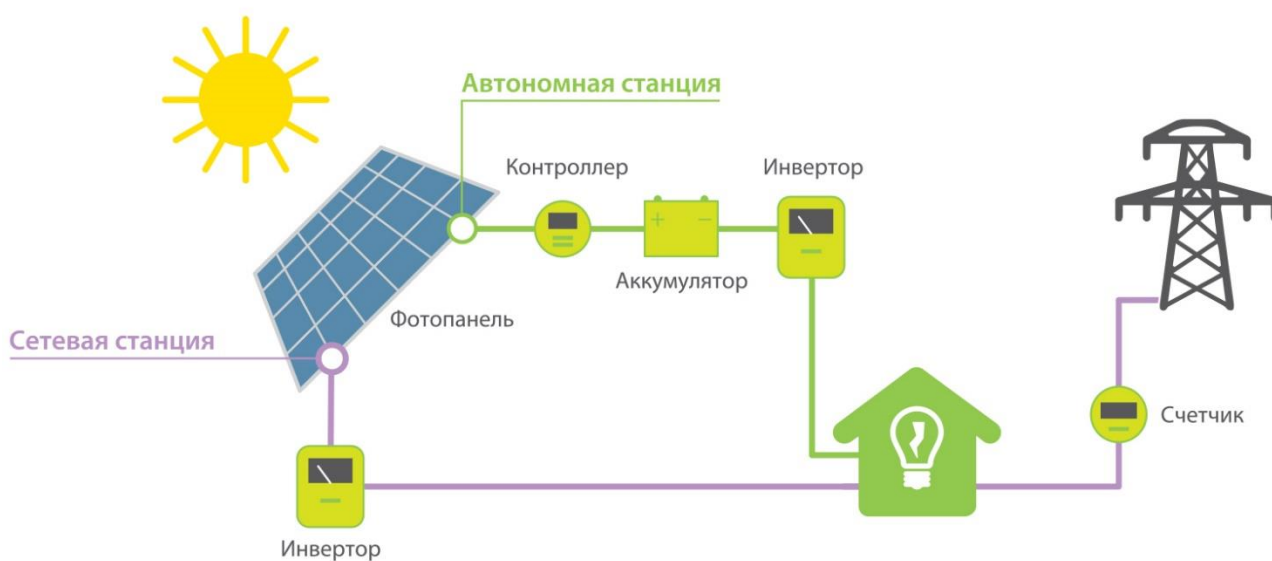


Рисунок 1.3 – Общая схема гибридной сетевой солнечной электростанции

Также гибридные электростанции – широкое понятие. В базовом варианте, данный вид электростанций объединяет в себе сразу три типа, а именно:

➤ Автономная солнечная электростанция. При отсутствии сети гибридная электростанция ведет себя как автономная – вырабатывает электричество от солнечных панелей, заряжает АКБ, а при необходимости – добирает от них мощность или полностью переходит на АКБ.

➤ Сетевая солнечная электростанция. Когда есть сеть, гибридная электростанция ведет себя как сетевая – синхронизируется с внешней сетью и транслирует ее во внутреннюю, выработанное электричество она докачивает во внутреннюю сеть, может отдавать излишки обратно в сеть. В этом режиме АКБ практически не используются.

➤ Система резервного электроснабжения. При пропадании сети и отсутствии выработки с солнечных панелей (например ночью), гибридная электростанция мгновенно перехватывает нагрузку и переходит в режим генерации – все внутренние потребители питаются от АКБ, при необходимости длительного резерва – система может управлять бензо-/дизель-генератором, заводя его только на незначительное время зарядки АКБ. В результате электричество во внутренней сети никогда не пропадет.

Гибридная солнечная электростанция – самый универсальный тип электростанций. Также входят комбинированные солнечно-ветряные электростанции (когда в систему дополнительно добавляется ветрогенератор, позволяющий при наличии ветра вырабатывать электроэнергию круглосуточно), а так же другие типы комбинированных систем.

## **1.2 Перспективные технологии в солнечной энергетике**

В настоящий момент все более популярными технологиями являются системы увеличения эффективности генерации фотоэлектрических панелей с помощью использования трекерных установок.

Солнечный трекер — это система, предназначенная для ориентации на Солнце рабочих поверхностей систем, генерирующих электричество, либо систем концентрирующих (генерирующих) тепловую энергию, установленных на трекере.

На рисунке 1.4 представляется внешний вид трекерной установки.

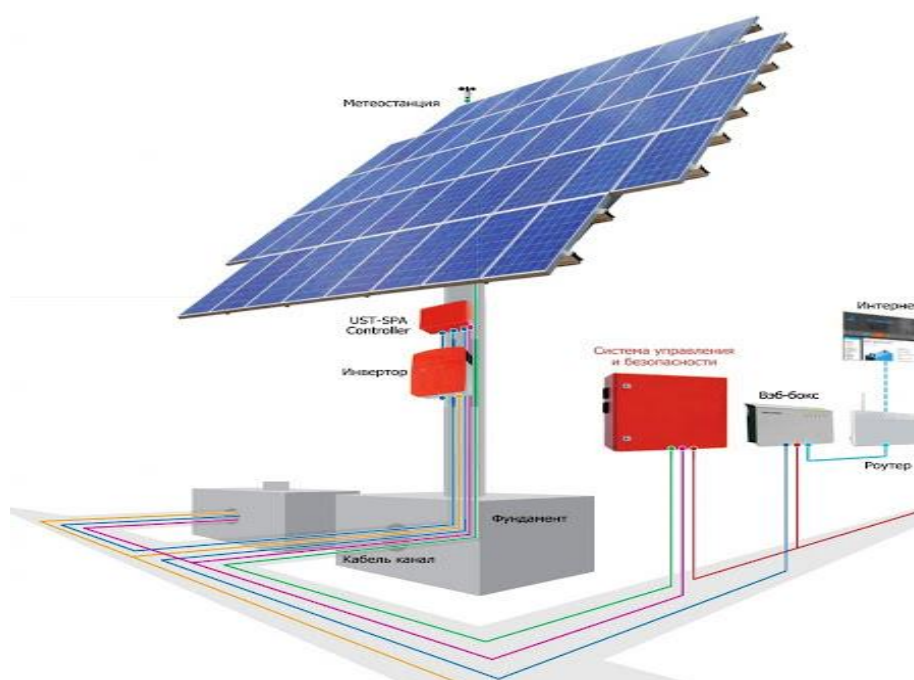


Рисунок 1.4 – Трекерная установка

Данная установка представляет собой несущую конструкцию, на которую крепятся солнечные панели и в зависимости от положения солнца производится в движения в целях достижения перпендикулярного положения фотоэлектрической панели и источника солнечного света. Электропитание установки производится непосредственно от самих панелей. Также возможно установка роутера и веб-бокса в целях передачи данных о объеме генерируемой электроэнергии в диспетчерское управление определенной электростанции.

Также величина генерации солнечной панели значительно зависит от коэффициента пульсации и показателя наружной чистоты фотоэлектрической панели. В этой связи на солнечных электростанциях мощностью от 40 кВт активно используются автоматизированные системы очистки панелей.

На рисунке 1.5 представляется стандартная система очистки фотоэлектрических панелей полуавтоматизированного исполнения в солнечной электростанции.



Рисунок 1.5 – Система очистки панелей полуавтоматизированного исполнения

На рисунке 1.6 представляется стандартная система очистки фотоэлектрических панелей ручного исполнения в солнечной электростанции.



Рисунок 1.6 – Система очистки панелей ручного исполнения

На рисунке 1.7 представляется стандартная система очистки



фотоэлектрических панелей автоматизированного исполнения в солнечной электростанции.



Рисунок 1.7 – Система очистки панелей автоматизированного исполнения

В настоящее время электростанции на основе комбинирования нескольких видов источников энергии с приоритетом на исполнение «Ветер + Солнце» требует максимальной эффективности не только по объемам генерации электроэнергии, но и обеспечение максимальной облегченности при проведении процедур монтажа и демонтажа самого объекта в рамках строительно-монтажных работ.

В соответствии с данным направлением представляется патент на полезную модель Батракова Г.В. ООО «Управление и финансирование» с названием «Гибридная автономная контейнерная электростанция», которая представляет собой солнечные панели, ветрогенераторы, аккумуляторные батареи, контроллер системы управления и распределительный щит управления, отличающаяся тем, что гибридная автономная контейнерная электростанция выполнена с обеспечением мобильности и дополнительно снабжена дизель-генераторной установкой со шкафом управления ДГУ и топливным баком.

На рисунке 1.8 представляется внешний вид данной станции.



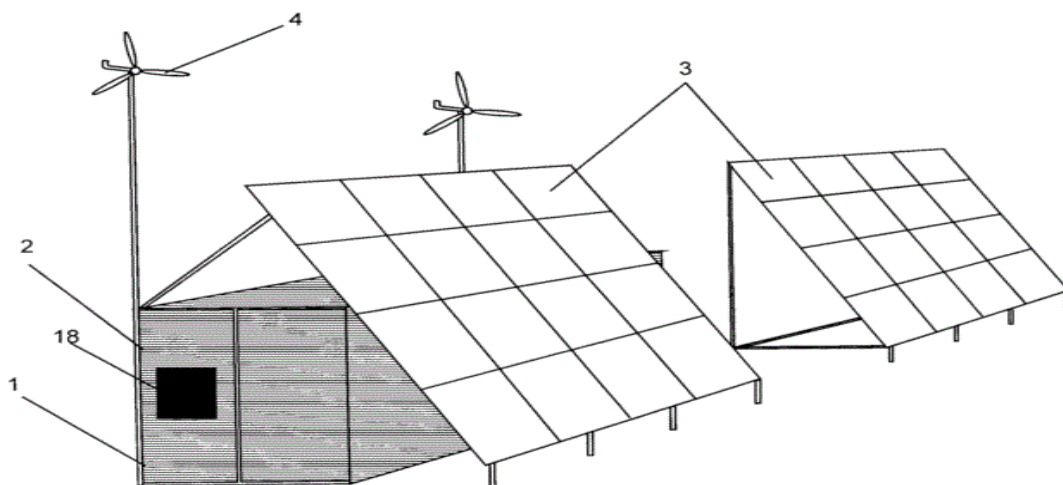


Рисунок 1.8 – Внешний вид станции

В настоящий момент в целях исследования в области изучения нетрадиционных источников энергии активно используется метод математических моделирований, где учитываются основные физико-технические параметры ветровой и солнечной энергетики.

При разработке математического моделирования комбинированных электростанций исполнения «Ветер + Солнце» используются следующие информационно-вычислительное программное обеспечение:

1. *Microsoft Office Excel.*
2. *MathCad 14.*
3. *Homer Energy.*

Использование данных видов программ позволяет при максимальной точности производить технико-экономическое обоснование разных видов комбинированных электростанций в зависимости от:

1. Физико-технических параметров.
2. Географического расположения объекта.
3. Гидрометеорологических параметров.
4. Другие.

Однако с учетом последних технологических и информационных решений наиболее применимой программой является *Homer Energy*. На

рисунке 1.9 представляется внешний вид окна данной программы.

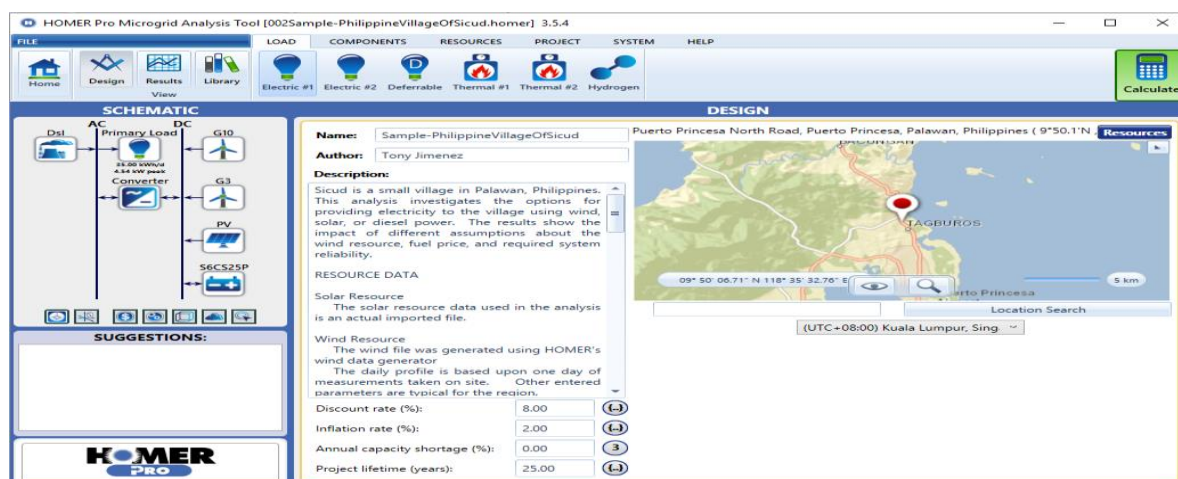


Рисунок 1.9 – Внешний вид *Homer Energy*

Также на рисунке 1.10 представляется диаграммы решения поставленной задачи в данной программы, где вычисляются наиболее подходящие цены на конкретный вид топлива и т.д.

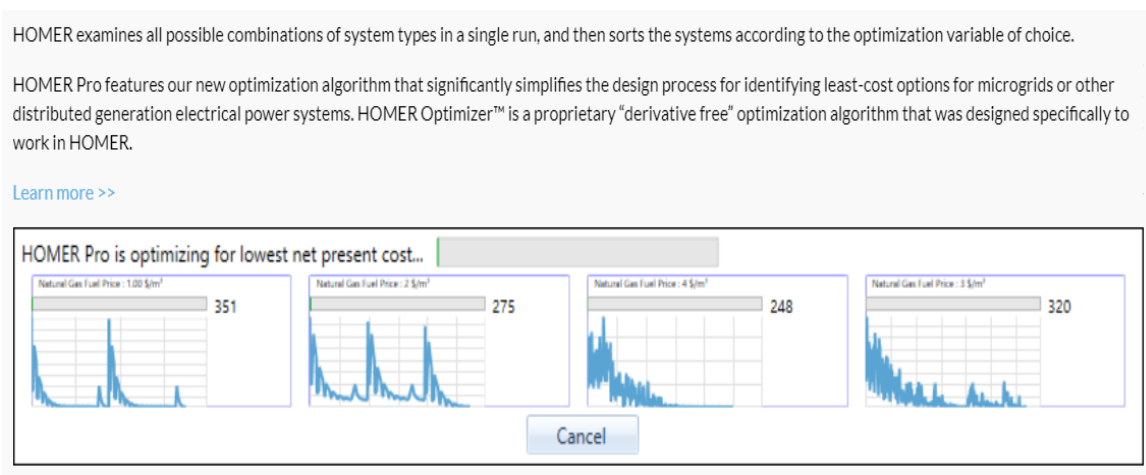


Рисунок 1.10 – Внешний вид *Homer Energy*

На рисунке 1.11 представляется возможность расчеты гидрометеорологических параметров в зависимости от географического положения комбинированной электростанции.

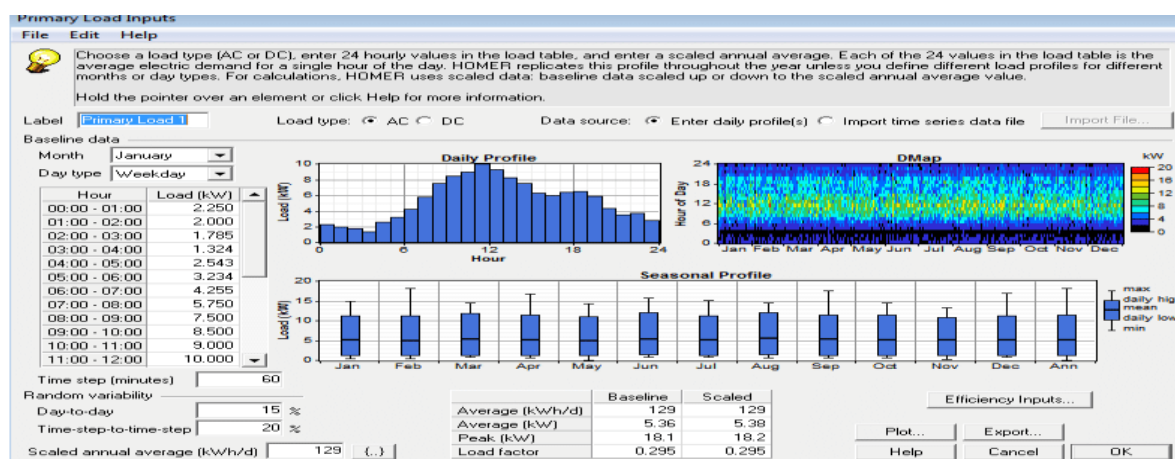


Рисунок 1.11 – Внешний вид *Homer Energy*

На рисунке 1.12 представляется возможность выбора в программе «*Homer Energy*» конкретный вид источника энергии исполнения «Ветер + Солнце» (комбинированная электростанция) с учетом работы инвертора.

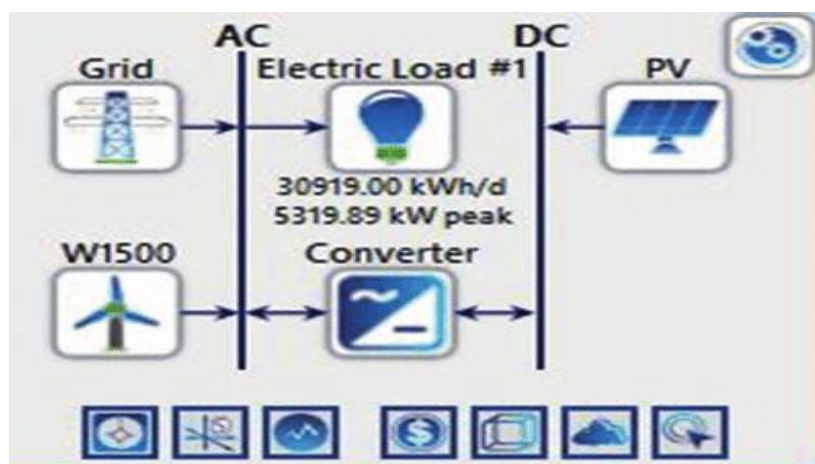


Рисунок 1.12 – Внешний вид *Homer Energy*

На рисунке 1.13 представляется возможность расчета в программе «*Homer Energy*» генерации солнечной электростанции в определенный промежуток времени.

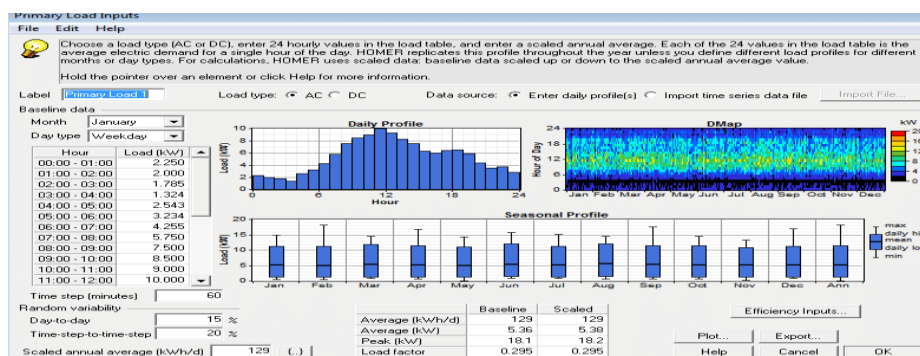


Рисунок 1.13 – Внешний вид *Homer Energy*

На рисунке 1.14 представляется возможность расчета в программе «Homer Energy» генерации ветровой электростанции в определенный промежуток времени.

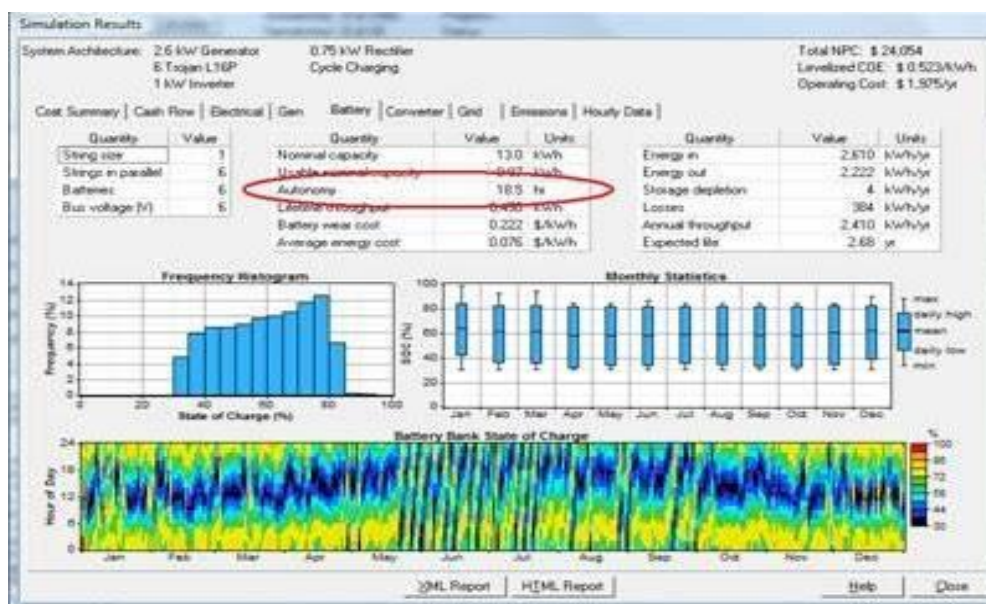


Рисунок 1.14 – Внешний вид *Homer Energy*

Данная программа активно используется в странах Европейского союза и Северной Америки. Использование на территории Российской Федерации маломасштабное из-за работы программы только на английском языке и неизвестности данного программного обеспечения.

При проведении научных исследований и проектировании новых комбинированных электростанций на основе использования нетрадиционных источников энергии вышеуказанные виды программного обеспечения

наиболее эффективны и возможны с учетом высокой точности расчета.

### 1.3 Рекомендуемые видеоматериалы

- Солнечная Электростанция без Аккумуляторов. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=YRQ4yge8xaw>
- Схема и принцип работы солнечной электростанции. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=f1Vnon60a9w>
- Принцип работы сетевой солнечной электростанции. Зеленый тариф. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=NlonN8GXNPg>
- Гибридная солнечная электростанция. Плюсы и минусы. Принцип работы. Цены. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=9gMTaZGWxhU>
- Принцип работы солнечной электростанции для жилого дома. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=ISlet5wCyuM>
- Солнечные электростанции. Выбор и особенности // FORUMHOUSE. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=1NLbHkyCpvc>.

### 1.4 Контрольные вопросы

1. Расскажите и перечислите классификацию солнечных электростанций.
2. Из каких элементов состоит сетевая солнечная электростанция и представьте схему функционирования?
3. Из каких элементов состоит автономная солнечная электростанция и представьте схему функционирования?
4. В чем отличие сетевой солнечной электростанции от автономной солнечной электростанции?
5. Приведите основные преимущества и недостатки сетевой солнечной

электростанции.

6. Нарисуйте и полностью опишите схему функционирования автономной солнечной электростанции мощностью 600 Вт.

7. Что такое система накопления энергии и как лучше ее эксплуатировать?

8. Приведите особенности эксплуатации солнечных электростанций.

9. Представьте, что у Вас есть небольшое фермерское хозяйство на территории МР «Усть-Алданский улус (район)» в Курбусахском наслеге и Вам необходимо произвести выбор типа солнечной электростанции. Выполните выбор типа солнечной электростанции и полностью обоснуйте выбор в виде SWOT-анализа.

10. Представьте, что у Вас есть небольшой автомобильный цех на территории ГО «город Якутск» и Вам необходимо произвести выбор типа солнечной электростанции. Выполните выбор типа солнечной электростанции и полностью обоснуйте выбор в виде SWOT-анализа.

### **Краткие выводы по главе**

В ходе обзора существующих технологий в области гелиоэнергетики необходимо выделить следующие контрольные точки:

➤ В настоящий момент применяются различные типы солнечных электростанций для питания различных видов потребителей. Однако в условиях Севера и Арктики приоритетно применение автономных солнечных электростанций с функцией накопления электроэнергии.

➤ Образование поверхностного загрязнения на солнечной панели является одним из значительных проблем в гелиоэнергетике, но основным решением является применение автоматизированных систем очистки солнечных панелей.

➤ В рамках выбора установленной мощности солнечной электростанции необходимо применение специализированных программ *Homer Energy*, *RET Screen* и т.д.

## **ГЛАВА 2. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ**

### **2.1. Фотоэлектрические солнечные панели**

В данном подразделе представлены основные положения, термины и определения по фотоэлектрическим солнечным панелям с приведением внешних видов и графических интерпретаций.

### **2.2 Классификация фотоэлектрических солнечных панелей**

В целях преобразования энергии солнечного излучения в электричество необходимо применение фотоэлементов. Таким образом, наиболее распространенными технологиями производства солнечных панелей являются, а именно:

- Кристаллические фотоэлементы:
  - Монокристаллические кремниевые фотоэлементы.
  - Поликристаллические фотоэлементы.
- Тонкопленочные фотоэлементы:
  - Фотоэлементы с использованием диселенида индия и меди (*CIS* технология).
  - Фотоэлементы с использованием теллурида кадмия (*CdTe* технология).
  - Фотоэлементы с использованием аморфного кремния.

### **2.3 Монокристаллические солнечные панели**

Производство монокристаллических фотоэлементов происходит с применением метода Чхоральского. Для того чтобы получить кремниевый монокристалл, в расплав кремния с бором погружают затравочный кристалл и постепенно поднимают на несколько метров над поверхностью раствора, при этом за затравочным кристаллом вытягивается кристаллизующийся раствор. Из полученной монокристаллической заготовки срезают кромки для того чтобы получить квадратные элементы и разрезают его на элементы



толщиной примерно 0,3 мм. После этого элементы легируют фосфором для добавления *n*-проводимости и создания *p-n* перехода, полируют, наносят антиотражающее покрытие и токопроводящие дорожки и мы получаем готовый к использованию монокристаллический фотоэлемент.

Характеристики:

- КПД от 15 до 18%.
- Форма квадратная или квадратная со скругленными или срезанными углами.
- Толщина 0,2 – 0,3мм.
- Цвет от темно-синего до черного с антиотражающим покрытием или серый без покрытия.
- Внешний вид – однородный.

На рисунке 1.4 представлены внешние виды монокристаллических солнечных панелей.



Рисунок 1.4 – Внешние виды монокристаллических солнечных панелей

На вышеуказанном рисунке видно, что одним из главных отличительных свойств монокристаллических солнечных панелей является преобладание однородного/монотонного черного цвета на поверхности панели, которая обосновывается наличием высокой концентрации кремния.



Далее на рисунке 1.5 представлена схема слоев монокристаллических солнечных панелей с указанием конкретных комплектующих, а именно:

- Стекланный слой.
- Прозрачный клей.
- Контакт.
- $n$  – слой.
- Промежуточный слой.
- $p$  – слой.
- Контакт.
- Подложка.

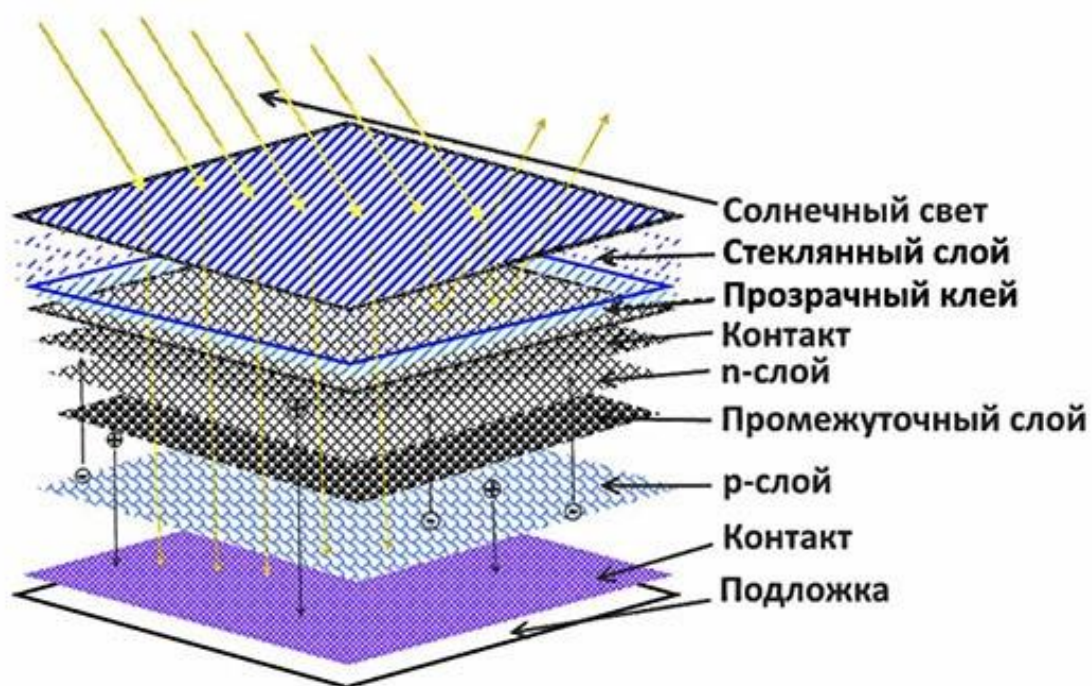


Рисунок 1.5 – Схема слоев монокристаллической солнечной панели

## 2.4 Поликристаллические солнечные панели

Поликристаллические фотоэлементы производятся с помощью равномерного направленного охлаждения емкости с расплавом кремния и бора. При этом в емкости формируются однонаправленные гомогенные кристаллы размером от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров.

Полученный блок поликристаллов обрабатывается так же, как и монокристаллическая заготовка.

Характеристики:

- КПД от 13 до 16%;
- Форма квадратная;
- Толщина 0,24 – 0,3мм;
- Цвет синий с антиотражающим покрытием, серебристо-серый без покрытия;
- Внешний вид – блок кристаллов разного направления, некоторые кристаллы четко видны на срезе.

На рисунке 1.6 представлены внешние виды поликристаллических солнечных панелей.

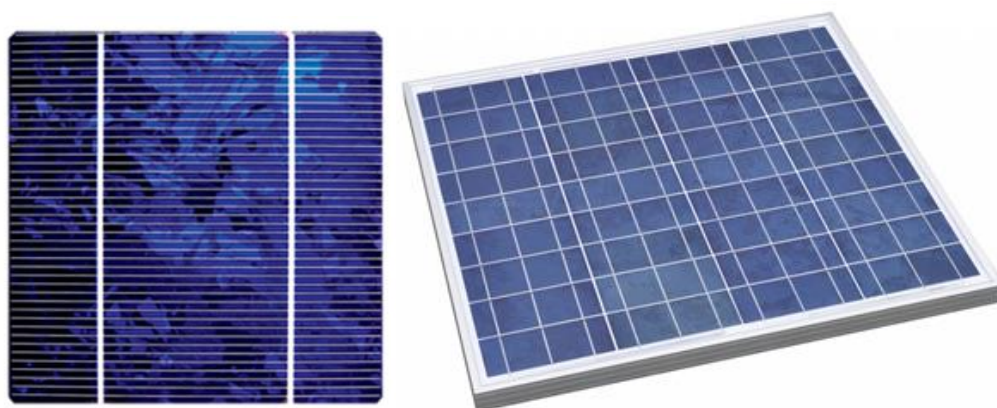


Рисунок 1.6 – Внешние виды поликристаллических солнечных панелей

На вышеуказанном рисунке видно, что одним из главных отличительных свойств поликристаллических солнечных панелей является преобладание однородного синего оттенка на поверхности панели, которая обосновывается наличием относительно низкой концентрации кремния.

Далее на рисунке 1.7 представлена схема принципа работы солнечной панели.

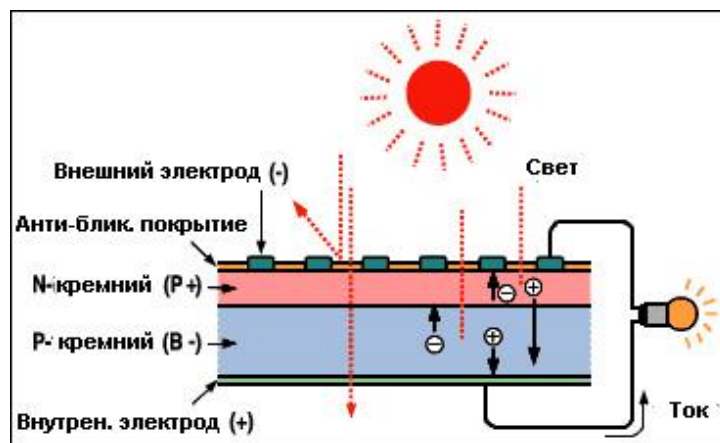


Рисунок 1.7 – Схема принципа работы солнечной панели.

Для преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию применяют фотоэлементы (солнечные батареи или фотогальванические элементы), а процесс преобразования называют фотоэлектрическим преобразованием солнечной энергии. Фотоэлектрические ячейки состоят из кремниевых пластин. Это полупроводник, внутри которого солнечное излучение преобразовывается в электрическую энергию.

Если описать упрощенно, то «сердцем» солнечного элемента является р-п переход. Он пропускает заряды только в одном направлении. Падающее на фотоэлемент солнечное излучение выбивает электроны (n) и дырки (p) из их места в структуре полупроводника, образуя пары носителей с противоположными зарядами (электрон с отрицательным зарядом и с положительным зарядом „дыра”). В сети появляется напряжение. Теперь достаточно подключить любое устройство, питающееся электрической энергией, и по цепи потечет ток.

## 2.5 CIS солнечные панели

Активным полупроводниковым материалом в *CIS* солнечных панелях является диселенид индия и меди. *CIS* компаунд часто легируется с галлием и (или) серой. При производстве элемента стекло покрывается слоем молибдена проводящим электрический ток, для фотоэлемента этот слой будет катодом. Слой *CIS* компаунда в фотоэлементе обладает *p*-проводимостью и наносится на слой молибдена. Оксид цинка с примесью алюминия *ZnO:Al* используется

в качестве прозрачного проводящего электричество анода. Этот слой имеет  $n$ -тип проводимости и в нем распылен вспомогательный слой оксида цинка  $i$ - $ZnO$ . Промежуточный слой сульфида кадмия  $CdS$  используется для уменьшения потерь, связанных с несоответствием кристаллических решеток  $CIS$  и  $ZnO$  слоев.

Характеристики:

- КПД от 9 до 11%;
- Форма элемента соответствует форме модуля;
- Толщина модуля в незакаленном стекле от 2 до 4мм;
- Цвет от темно-серого до черного;
- Внешний вид – однородный.

Далее на рисунке 1.8 представлен внешний вид  $CIS$  солнечной панели, а на рисунке 1.9 – схема слоев данной панели.



Рисунок 1.8 – Внешние виды  $CIS$  солнечной панели

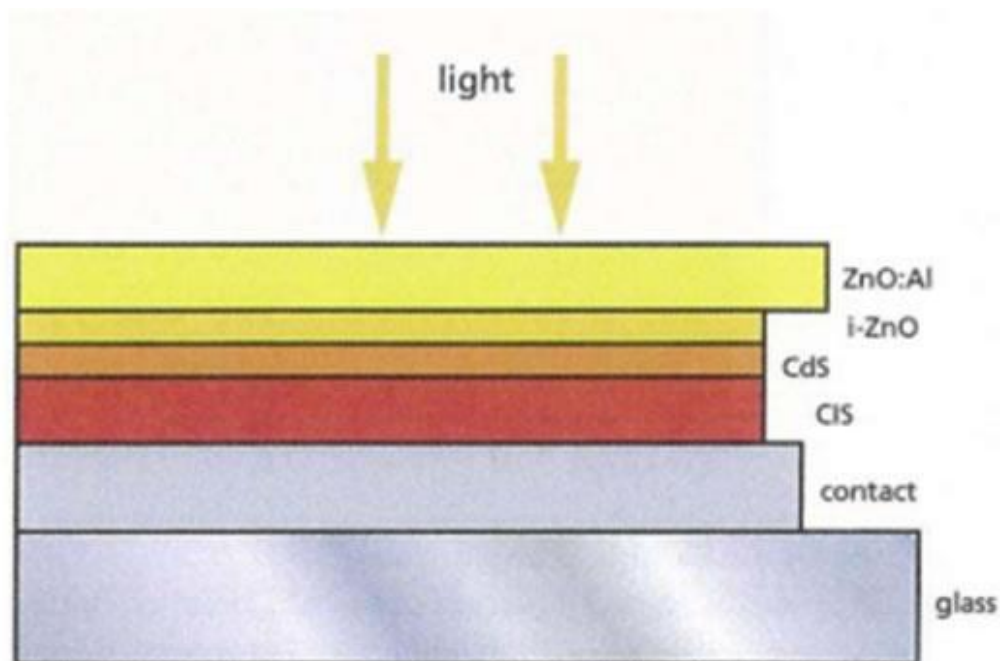


Рисунок 1.9 – Схема слоев *CIS* солнечной панели

## 2.6 *CdTe* солнечные панели

Фотоэлементы с использованием теллурида кадмия *CdTe* производятся на подложке с прозрачным *TCO* проводником, который изготавливается из оксида индия и олова *ITO* и используется как передний контакт. Эта подложка покрывается слоем селенида кадмия *CdS* с *n*-типом проводимости. После этого наносится поглощающий слой теллурида кадмия *CdTe* с *p*-типом проводимости. После этого модуль закрывается металлической токопроводящей пластиной.

Характеристики:

- КПД 8,5%;
- Форма элемента соответствует форме модуля;
- Толщина модуля в незакаленном стекле – 3мм;
- Цвет от зеркального темно-зеленого до черного;
- Внешний вид – однородный.

Далее на рисунке 1.10 представлены внешние виды *CdTe* солнечной панели, а на рисунке 1.11 – схема слоев данного типа панели.





Рисунок 1.10 – Внешние виды  $CdTe$  солнечной панели

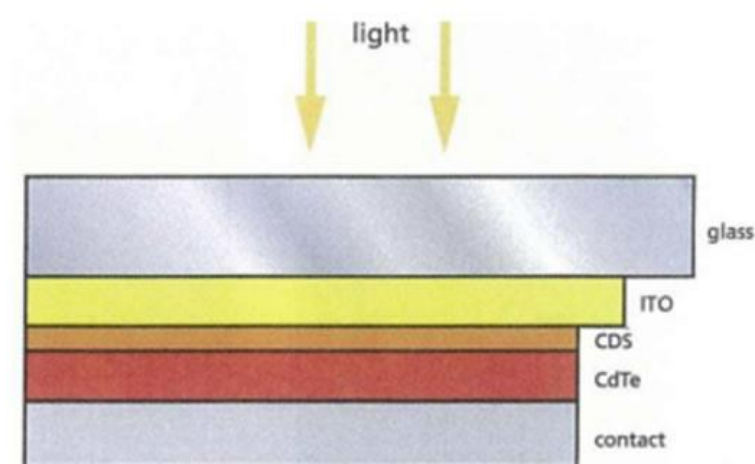


Рисунок 1.9 – Схема слоев  $CdTe$  солнечной панели

## 2.7 Аморфные солнечные панели

Аморфный кремний в фотоэлементах не образует однородную структуру, но образуют беспорядочную сеть. Как результат, через открытые границы кристаллов происходит поглощение водорода. Этот гидрогенизированный аморфный кремний  $a-Si:H$  создается в реакторе плазмы из газовой фазы гидрида кремния  $SiH_4$ . Легирование кремния производится смешиванием газов, содержащих легирующий элемент – гидрид бора  $B_2H_6$  для р-проводимости и гидрид фосфора  $PH_3$  для n-проводимости. В связи с

небольшим расстоянием проникновения легирующих добавок в аморфный кремний, срок жизни носителей заряда не очень длинный, поэтому на слой кремния наносятся дополнительные слои с *n*- и *p*-проводимостями. В качестве переднего контакта используется прозрачный ТСО проводник с оксидом олова  $SnO_2$ , оксидом индия и олова *ITO* или оксидом цинка  $ZnO$ . В качестве заднего контакта используется металлическая токопроводящая пластина.

Характеристики:

- КПД от 5 до 7%;
- Форма соответствует форме модуля, максимальный размер 2х3м;
- Толщина элемента в незакаленном стекле от 1 до 3мм;
- Цвет от коричневого до синего или фиолетового;
- Внешний вид – однородный.

Далее на рисунке 1.10 представлены внешние виды аморфных солнечных панелей, а на рисунке 1.11 – схема слоев данного вида панели.

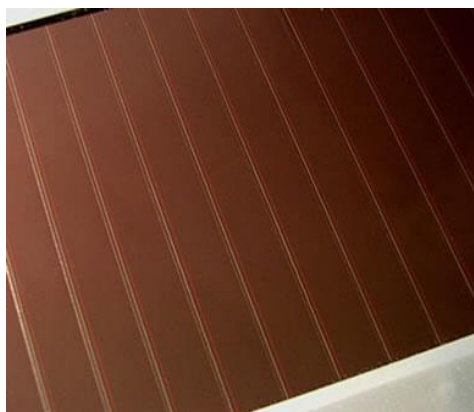


Рисунок 1.10 – Внешние виды аморфных солнечных панелей

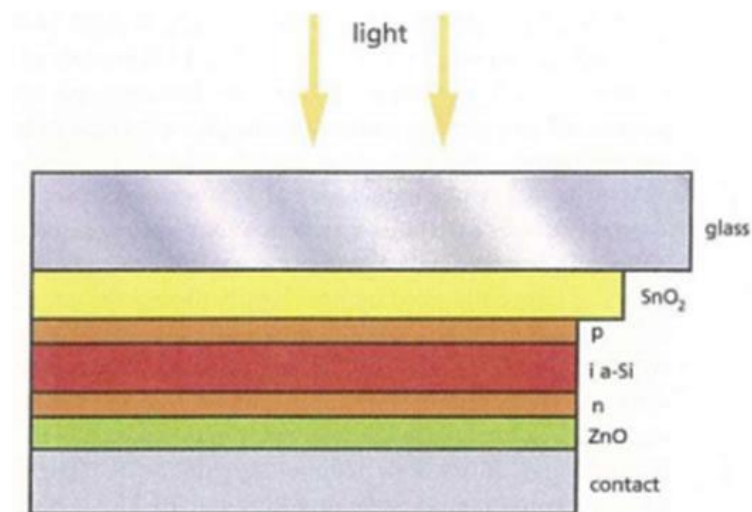


Рисунок 1.11 – Схема слоев аморфной солнечной панели

Скорее всего, вы заметили, что порядок знакомства с технологиями производства фотоэлементов был выбран не случайно – мы начали элементами с наибольшим КПД и закончил элементами с наименьшим КПД. КПД для фотоэлементов — это эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую, это значит, что чем меньше КПД, тем больше площади фотоэлементов нам необходимо для обеспечения той же мощности по сравнению с элементами у которых КПД имеет более высокое значение.

Теперь неплохо бы опровергнуть распространенное заблуждение о том, что поликристаллические солнечные панели более эффективно преобразовывают солнечное излучение по сравнению с монокристаллическими, а тонкопленочные по сравнению с кристаллическими. На самом деле преобразование энергии прямого солнечного излучения монокристаллических элементов происходит с наибольшей эффективностью, у поликристаллических модулей это преобразование происходит с меньшей эффективностью в связи с разной ориентацией кристаллов в элементе. Рассеянное излучение кристаллические солнечные панели преобразовывают с одинаковой эффективностью. Поэтому доля выработки от рассеянного излучения в поликристаллических панелях выше чем в монокристаллических, а, значит и влияние ориентации на выработку ниже. У тонкопленочных элементов в связи с большей степенью



беспорядочности ориентации светочувствительных элементов выработка с рассеянной части излучения составляет основную долю выработки. Поэтому и принято говорить, что на выработку тонкопленочных модулей не влияет ориентация. Но энергию солнечного излучения, не зависимо от его формы, эффективнее всего преобразовывают монокристаллические модули потому что у них КПД выше.

Солнечные панели из кристаллических фотоэлементов чаще всего используются в строительстве солнечных электростанций. Обычно, срок службы солнечных панелей из кристаллических элементов составляет 25 лет. Через 25 лет мощность фотоэлементов составит 80% от текущей мощности. Обычно кристаллические солнечные панели производятся с непрозрачной подложкой из *PVB*-пластика или тефлона, покрытием из стекла или прозрачного *EVA*-пластика, или стекла и алюминиевой рамой.

*CIS* – солнечные панели имеют наибольший КПД как для тонкопленочных модулей. Но эти модули подвержены коррозии от токов утечки в связи с применением электролиза в их производстве, поэтому, когда мы устанавливаем станцию на *CIS* солнечные панели нам необходимо обеспечить полную потенциальную развязку с АС сетью с помощью установки трансформаторного инвертора или специального разделительного трансформатора и установить по дифференциальному автомату на каждую из линий, подключенных к инвертору. *CdTe* – фотомодули не подвержены коррозии. Но кадмий является токсичным элементом, вызывающим острые и хронические отравления. Поэтому использованные или испорченные *CdTe* – солнечные панели подлежат обязательной утилизации, что удорожает эксплуатацию станции.

Солнечные панели из аморфного кремния не подвержены коррозии и не токсичны, но имеют очень низкий КПД и их активные элементы выгорают на солнце. Обычно в течении 6 – 12 месяцев после установки происходит снижение мощности, потом эти модули выходят на установившуюся мощность. Срок службы таких модулей составляет около 10 лет. Срок службы

*CIS* и *CdTe* модулей такой же, как и у кристаллических.

Тонкопленочные фотомодули чаще всего применяются в фасадных системах и дизайнерских решениях. Скорее всего, в будущем тонкопленочные модули заменят кристаллические потому что их производство дешевле и менее энергоемко. Ведь никто не заинтересован в фотопанелях на производство которых тратится больше энергии чем они способны выработать за срок службы.

## 2.8 Рекомендуемые видеоматериалы

- Как работает солнечная батарея? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=fPp37tg5sOc>.
- Солнечные батареи: как это работает на самом деле? | О главной проблеме солнечной энергетики! [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=Jls0K6paVpc>
- Солнечная электростанция своими руками. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=-6RG9SfBkP0>
- Как производят солнечные панели. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=gs4Ww1uLlc4>
- Солнечные батареи - все поколения панелей и их эффективность. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=l1Q009I8Y3s>
- Как выбрать солнечные панели? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=2-KEV6DSygw>
- Системы креплений для солнечных батарей / Виды, типы и советы экспертов. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=68MTXJFrN78>
- Двухсторонние солнечные панели / Практические рекомендации и сферы применения. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=lx3aSX6IRI>

## 2.9 Контрольные вопросы

1. Расскажите и перечислите классификацию солнечных панелей.
2. Из каких элементов состоит солнечная панель и представьте схему функционирования?
3. Из каких элементов состоит поликристаллическая солнечная панель и представьте схему функционирования?
4. В чем отличие монокристаллической и поликристаллической солнечных панелей?
5. Приведите основные преимущества и недостатки всех существующих видов солнечных панелей.
6. Нарисуйте и полностью опишите схему функционирования сетевой солнечной электростанции мощностью 2 кВт.
7. Что такое *CIS* и *CdTe* солнечные панели и укажите их особенности?
8. Приведите особенности характеристик солнечных панелей.
9. Представьте, что у Вас есть небольшое фермерское хозяйство на территории МР «Усть-Алданский улус (район)» в Бэрт-Усовском наслеге и Вам необходимо произвести выбор типа солнечной панели. Выполните выбор типа солнечной панели и полностью обоснуйте выбор в виде SWOT-анализа.
10. Представьте, что у Вас есть небольшой автомобильный цех на территории МР «Мирнинский район» и Вам необходимо произвести выбор типа солнечной панели. Выполните выбор типа солнечной панели и полностью обоснуйте выбор в виде SWOT-анализа.

## Краткие выводы по главе

В ходе обзора существующих технологий в области фотоэлектрических солнечных панелей необходимо выделить следующие контрольные точки:

- В целях получения бесперебойного и энергоэффективного питания потребителей от солнечной электростанции рекомендуется применение монокристаллических панелей с высоким КПД.
- В случае необходимости получения инновационных

архитектурных и дизайнерских решений в виде индивидуального жилого дома рекомендуется применение аморфных и *CdTe* солнечных панелей.

➤ В случае необходимости получения энергетических решений малой стоимости рекомендуется применение поликристаллических солнечных панелей с низкой стоимостью и относительно низким КПД.

## ГЛАВА 3. КОНТРОЛЛЕРЫ ЗАРЯДА

В данной главе представлена информация о контроллере заряда для солнечной электростанции с приведением различных общих схем, графических интерпретаций и внешних видов с учетом представления классификации.

### 3.1 Контроллеры заряда для солнечных электростанций

Контроллер заряда – это устройство которое автоматически регулирует уровень тока и напряжения от источника тока, например, от солнечных панелей для обеспечения заряда системы накопления энергии, а именно аккумуляторных батарей. Таким образом производится предохранение аккумуляторов от повреждений перетоков и перенапряжений.

### 3.2 Виды контроллеров заряда

В настоящий момент существуют три вида контроллеров заряда, предназначенные для солнечных электростанций, такие как:

- *ON/OFF* контроллер.
- *PWM* (ШИМ) контроллер.
- *MPPT* контроллер.

Выбирая контроллер для солнечной электростанции, прежде всего, необходимо понимание масштаба данной энергоустановки.

В случае выбора солнечной электростанции микромощности для обеспечения наиболее необходимых бытовых приборов электроэнергией (от 300 Вт до 2 кВт), то вполне можно произвести выбор – *PWM* (ШИМ) контроллера заряда.

В случае выбора автономной солнечной электростанции малой мощности и совместимой с сетевым электричеством, то необходим и целесообразен выбор – *MPPT* контроллера.

Далее на рисунке 3.1 представлено небольшое описание различных

видов контроллеров заряда.

Контроллеры заряда		
On/OFF	PWM	MPPT
		
<p>Особенность ON/OFF-контроллера состоит в том, что он просто коммутирует на АКБ всю энергию от панели «как есть» - АКБ в данном случае сам снижает напряжение до своего уровня путем увеличенного потребления тока. Когда же напряжение на АКБ доходит до пикового уровня (а в этот момент АКБ заряжен всего на 70% емкости) этот контроллер просто отключает панель от АКБ – иначе ваш аккумулятор попросту закипит.</p>	<p>PWM-Контроллер берёт напряжение и ток солнечной панели и преобразует их в упорядоченное напряжение, подходящее для данного этапа зарядки. Получается, есть несколько режимов заряда: применяя их в зависимости от степени разряженности АКБ, PWM-контроллер на конечных стадиях доводит заряд батареи до 100% ёмкости мягким и плавным (многоступенчатым) повышением напряжения и понижением тока соответственно.</p>	<p>(Maximum Power Point Tracking). Переводится примерно как слежение за точкой максимальной мощности заряда. Считаются более эффективными. За счет отслеживания точки максимальной мощности данные контроллеры на выходе имеют ток, превышающий ток солнечной батареи, тем самым эффективней используется мощность солнечной батареи, а следовательно повышается КПД установки.</p>

Рисунок 3.1 – Сравнение различных видов контроллеров заряда

### 3.3 Критерии выбор контроллеров заряда

В рамках определения критерии выбора контроллера заряда, необходимо формулировка функции, которые он выполняет и можно отнести следующие:

- Обеспечение заряда аккумуляторной батареи.
- Отключение аккумуляторной батареи при полном заряде в автоматическом режиме.
- Отключение нагрузок при минимальном заряде в автоматическом режиме.
- Подключение нагрузок при восстановлении заряда.
- Подключение фотоэлементов при заряде аккумуляторной батареи в автоматическом режиме.

### 3.4 ON/OFF контроллер заряда

ON/OFF контроллер – самый простой из существующих. Редко

применяется в современных системах, так как имеет большое количество недостатков. Суть установки заключается в том, что он просто отключает поступление электроэнергии из солнечной панели при достижении максимального заряда батареи.

Напряжение и сила тока при этом будет изменяться в зависимости от интенсивности работы самих панелей. Система накопления энергии в виде аккумуляторных батарей самостоятельно регулирует количество необходимого тока заряда.

В итоге, максимальный ток достигается при 70% уровня заряда, контроллер срабатывает. АКБ быстро приходит в негодность. Двумя ощутимыми достоинствами такого устройства является его стоимость и возможность собрать такой контроллер солнечных панелей своими руками.

На рисунке 3.2 представлен внешний вид данного вида контроллера заряда.



Рисунок 3.2 – Внешний вид *ON/OFF* контроллера

### 3.4 *PWM* (ШИМ) контроллер заряда

*PWV* (ШИМ) контроллер заряда – это контроллеры обеспечивают

ступенчатую зарядку АКБ путем переключения между различными режимами заряда. Данные режимы выбираются автоматически в зависимости от степени разряженности АКБ. Аккумуляторная батарея заряжается до 100% за счет повышения напряжения и понижения силы тока.

Недостатком такого контроллера являются потери при зарядке аккумулятора – до 40%.

Иногда, ШИМ-контроллерами называются генераторы ШИМ-импульсов, но в них нет возможности подключить цепи обратной связи, и они подходят скорее для регуляторов напряжения, чем для обеспечения стабильного питания приборов. Однако в литературе и интернет-порталах часто можно встретить названия типа «ШИМ-контроллер, на NE555» или «... на ардуино» - это не совсем верно по вышеуказанным причинам, они могут использоваться только для регулирования выходных параметров, но не для их стабилизации.

На рисунке 3.3 представлен график напряжения от солнечной электростанции с применением ШИМ контроллера заряда.

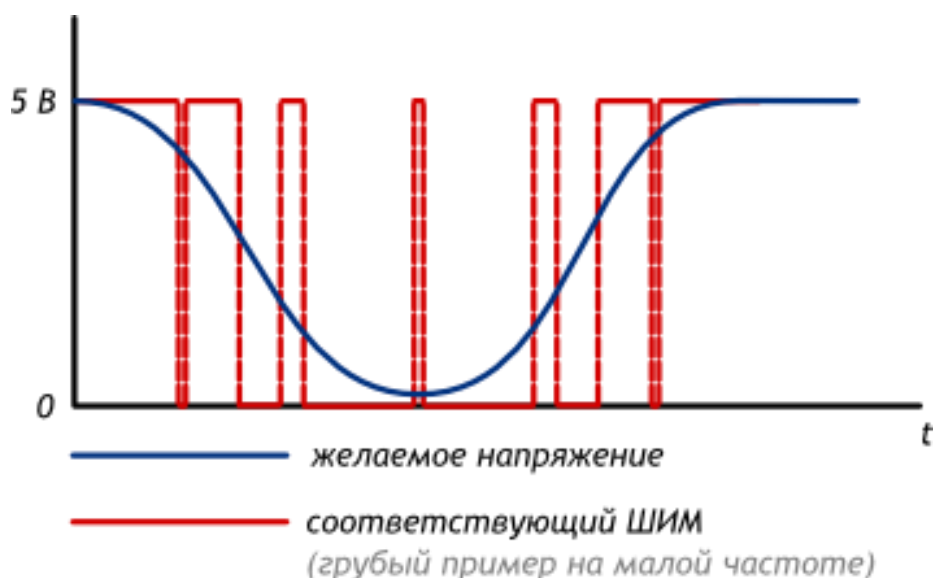


Рисунок 3.3 – График напряжения от солнечной электростанции с применением ШИМ контроллера заряда

Аббревиатура «ШИМ» расшифровывается, как широотно-импульсная



модуляция – это один из методов модуляции сигнала не за счёт величины выходного напряжения, а именно за счёт изменения ширины импульсов. В результате формируется моделируемый сигнал за счёт интегрирования импульсов с помощью  $C$ - или  $LC$ -цепей, другими словами – за счёт сглаживания.

Вывод: ШИМ-контроллер – устройство, которое управляет ШИМ-сигналом. Далее на рисунках 3.4 и 3.5 представлены внешний вид и принципиальная схема ШИМ-контроллера заряда.

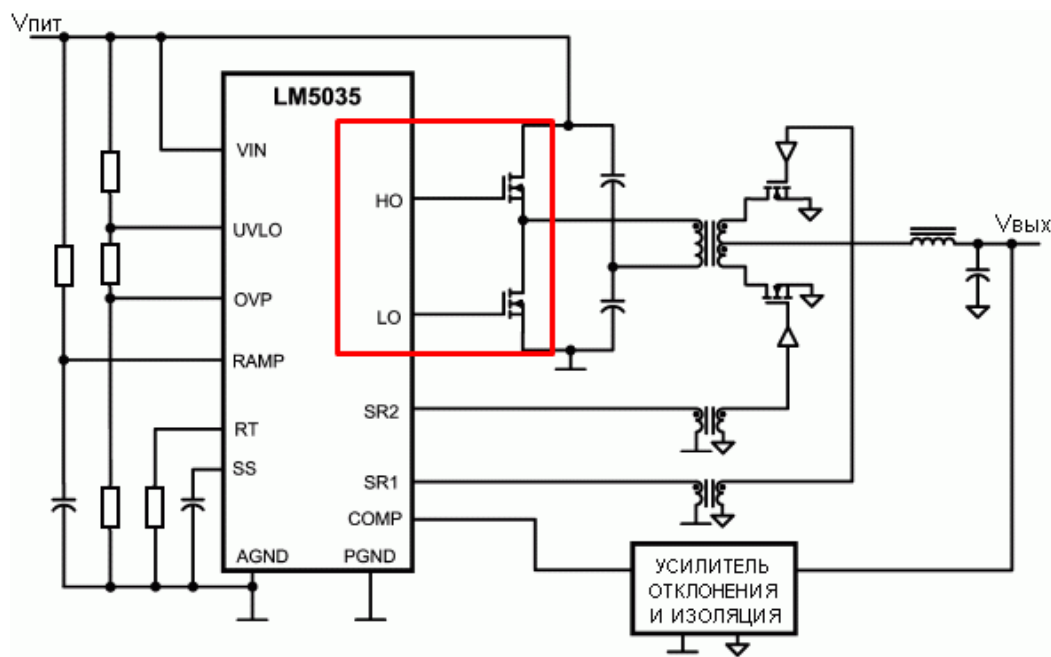


Рисунок 3.4 – Принципиальная схема ШИМ-контроллера заряда



Рисунок 3.5 – Внешний вид ШИМ-контроллера заряда

Контроллеры первого поколения работали по принципу включения и выключения тока заряда. Т.е., они снимали показания с клемм аккумулятора, и как только напряжение достигало 14-14,5 В, питание отключалось. Ни какие другие показания в расчёт не брались. А между тем, во время зарядки АКБ, происходит нагрев электролита, что опосредованно приводит к временному повышению напряжения. С остыванием электролита, уровень заряда падает ниже нормы. И контроллер опять включает заряд.

Функционирование в таком режиме, приводит к сульфатации пластин, падению номинальной ёмкости без возможности восстановления и как следствие срок службы АКБ резко снижается.

ШИМ контроллеры – это устройства второго поколения. Имея сложную электронную начинку, они запрограммированы на получение нескольких параметров АКБ во время заряда, и соответственно изменяют характеристика зарядного тока. В частности:

Этап «Наполнение». В течении 2-4 часов, АКБ способен аккумулировать всю поступающую энергию. Поэтому ШИМ контроллер, подаёт на него практически весь вырабатываемый солнечными батареями ток.

Этап «Насыщения». Достигнув определённого уровня заряда, изменяются физико-химические показатели электролита. ШИМ контроллер, оценив эти изменения, начинает подавать зарядный ток, подвергнув его Широтно-Импульсной модуляции. Такие изменения предотвращают закипание на Этапе «Выравнивания». Переход между вторым и третьим этапом не ступенчатый, а плавный. Сила подаваемого зарядного тока и напряжение постоянно изменяются. И такой подход приводит к:

- Перемешиванию электролита.
- Очищению пластин.
- Выравниванию напряжения в разных банках.

Этап «Поддержки». При достижении 100% уровня заряда аккумулятора, ШИМ контроллер не выключается полностью, а оставляет минимальный необходимый ток для предотвращения саморазряда АКБ.

Согласованная работа ШИМ контроллера с батареей аккумуляторов в таком избирательном режиме, позволяет доводить уровень заряда АКБ до 100% и существенно повышает срок их эксплуатации. При этом в течении всего времени работы, ёмкость АКБ практически не снижается.rolита и препятствуют газообразованию.

### **3.5 MPPT контроллер заряда**

Данный контроллер является наиболее современным решением для солнечных электростанций. Солнечные панели вырабатывают и дают мощность при строго определенном значении тока и напряжении (кривой ВАХ – вольт-амперной характеристики) – этот режим называется Точкой Максимальной Мощности (ТММ).

MPPT контроллер позволяет отслеживать эту точку и может наиболее эффективно использовать энергию солнечных панелей, что в свою очередь увеличивает скорость заряда аккумуляторов. Данные контроллеры могут на 30-40% эффективнее заряжать аккумуляторы. Поэтому для резервных и автономных солнечных электростанций наиболее выгодным становится использование именно таких контроллеров не смотря на их высокую стоимость относительно ШИМ контроллеров.

В переводе с английского, аббревиатура *MPPT* означает *Maximum Power Point Tracking*. Прибор – это относительно новый, их концепция была сформирована в середине 80-х гг. И тогда же они впервые появились на рынке. Но за истекшие тридцать лет, сфера электроники наполнилась новыми компонентами, которые:

- Увеличили функционал MPPT.
- Повысили их надёжность.
- Уменьшили их размеры.
- Позволили продлить гарантию.
- Обеспечили высочайшую точность работы.

Современные контроллеры *MPPT*, имеют возможность снимать

показания не только с фотоэлектрических модулей, но и с аккумуляторов. При этом регистрируются данные по нескольким определяющим параметрам. А в зависимости от исполнения, все показания могут выводиться на дисплей или отображаться с помощью светодиодных индикаторов.

➤ Второй важный аспект – недобор мощности всей системы фотоэлектрических преобразователей. Причина здесь тоже разноплановая. Процесс выработки электроэнергии у солнечных батарей изменяется в зависимости от:

- Степени освещённости.
- Температуры модуля.
- Выбранной нагрузки.

При этом, определение и выбор потребляемой нагрузки, довольно специфический процесс, которым невозможно управлять без использования *MPPT* контроллера.

Особняком стоят системы фотоэлектрических преобразователей, которые составлены из панелей разных типов. Включение в такую систему контроллера *MPPT*, насущная необходимость.

На рисунке 3.6 представлены внешние виды *MPPT* контроллеров заряда.

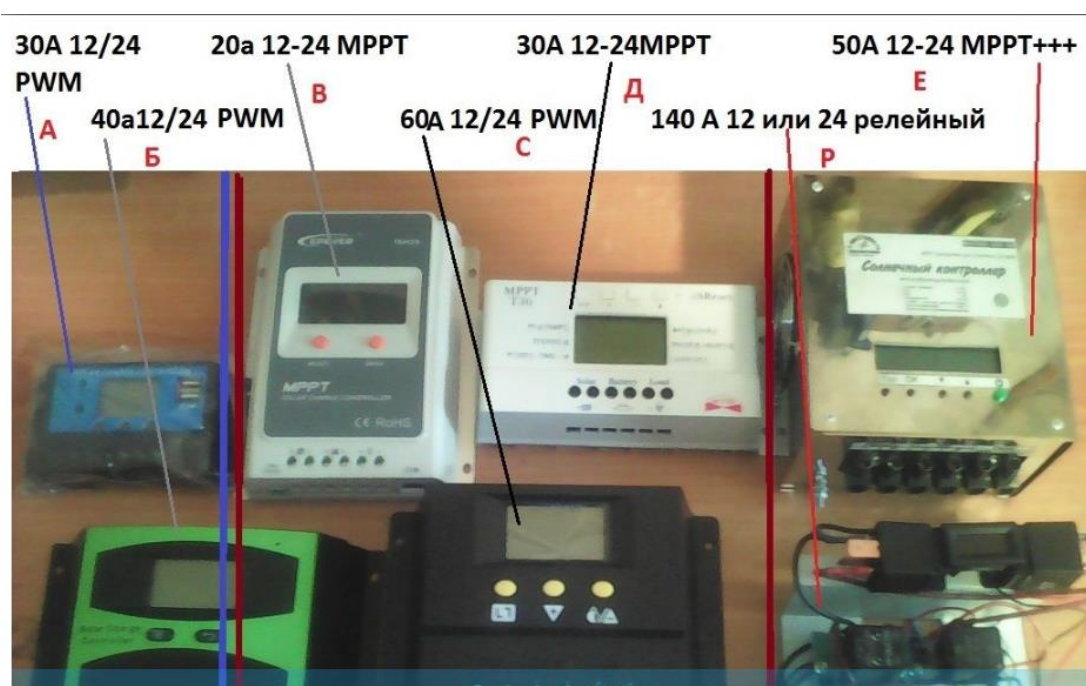


Рисунок 3.6 – Внешние виды *MPPT* контроллеров заряда



режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=NqaS0C4LwEI>

➤ MPPT солнечный контроллер EPeve Tracer 2210A. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=8rbGG2IaBzg>

### 3.7 Контрольные вопросы

1. Расскажите и перечислите виды контроллеров заряда.
2. Из каких элементов состоит контроллер заряда и представьте схему функционирования?
3. Приведите сравнение *On/Off* и *PWM* контроллеров заряда и какой лучше выбрать?
4. В чем отличие *PWM* и *MPPT* контроллеров заряда?
5. Приведите основные преимущества и недостатки всех существующих видов контроллеров заряда.
6. Нарисуйте и полностью опишите схему функционирования сетевой солнечной электростанции мощностью 1,5 кВт с учетом обоснования выбора вида контроллера заряда.
7. Что такое *PWM* и *MPPT* контроллеры заряда и укажите их особенности?
8. Приведите особенности характеристик контроллера заряда.
9. Представьте, что у Вас есть небольшое фермерское хозяйство на территории МР «Усть-Алданский улус (район)» в Мюрюнском наслеге и Вам необходимо произвести выбор типа контроллера заряда для солнечной электростанции. Выполните выбор типа контроллера заряда и полностью обоснуйте выбор данного агрегата в виде SWOT-анализа.
10. Представьте, что у Вас есть охотничья избушка на территории МР «Алданский район» и Вам необходимо произвести выбор типа контроллера заряда для солнечной электростанции. Выполните выбор типа контроллера заряда и полностью обоснуйте выбор в виде SWOT-анализа.

### Краткие выводы по главе

В ходе обзора существующих технологий в области контроллеров заряда необходимо выделить следующие контрольные точки:

- Существуют три основных типа контроллеров заряда, а именно: *ON/OFF*, *PWM* и *MPPT*.
- *ON/OFF* контроллеры являются одним из наиболее дешевых контроллеров и рекомендуется их применение в солнечных электростанциях мощностью до 0,5 кВт.
- *PWM* контроллеры являются вторым поколением данного вида оборудования, массово применяются в солнечных электростанциях малой мощности и имеют относительно высокую надежность.
- *MPPT* контроллеры являются последним поколением данного вида оборудования, отличается высокой надежностью и заблаговременно сглаживает скачки напряжения.

## ГЛАВА 4. АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ

### 4.1 Виды аккумуляторных батарей

В системах автономного солнечного электроснабжения могут использоваться различные виды аккумуляторных батарей. Основная задача АКБ – накапливать электроэнергию от солнечных панелей, ветрогенераторов и т.д. Их выбор зависит от стоимости инженерного решения, наличия и функционала контроллера заряда, условий эксплуатации, назначения и других факторов.

В настоящий момент аккумуляторные батареи, которые имеются в открытом продаже на рынке являются следующие виды:

- Свинцово-кислотные.
- Щелочные.
- Литий-ионные.

### 4.2 Свинцово-кислотные АКБ

По конструкции делятся на обслуживаемые (заливные) и необслуживаемые (герметизированные).

Вторые в международной классификации обозначаются аббревиатурой *SLA* и содержат сернокислый электролит связанным в стекловолокне (*AGM*) или в виде геля. В сравнении с заливными имеют более высокие эксплуатационные характеристики и лучше приспособлены для использования в солнечной электроэнергетике.

Вне зависимости от применяемых технологий все свинцово-кислотные аккумуляторы в целом плохо переносят глубокий разряд, но способны постоянно подзаряжаться малыми токами.

#### 4.2.1 Стартерные АКБ

Стартерные (автомобильные) обслуживаемые аккумуляторы — они рассчитаны на выдачу высокого тока в течение короткого промежутка



времени, имеют высокий процент саморазряда, требуют обслуживания и вентилируемого помещения, хуже всех АКБ переносят глубокий разряд, который резко сокращает срок службы. Используются в самых низкобюджетных системах (потому что любые АКБ придется менять каждый сезон) при условии постоянного контроля за уровнем и плотностью электролита. Также данный вид АКБ являются наиболее дешевыми.

На рисунке 4.1 представлен внешний вид стартерного АКБ с приведением комплектующих.

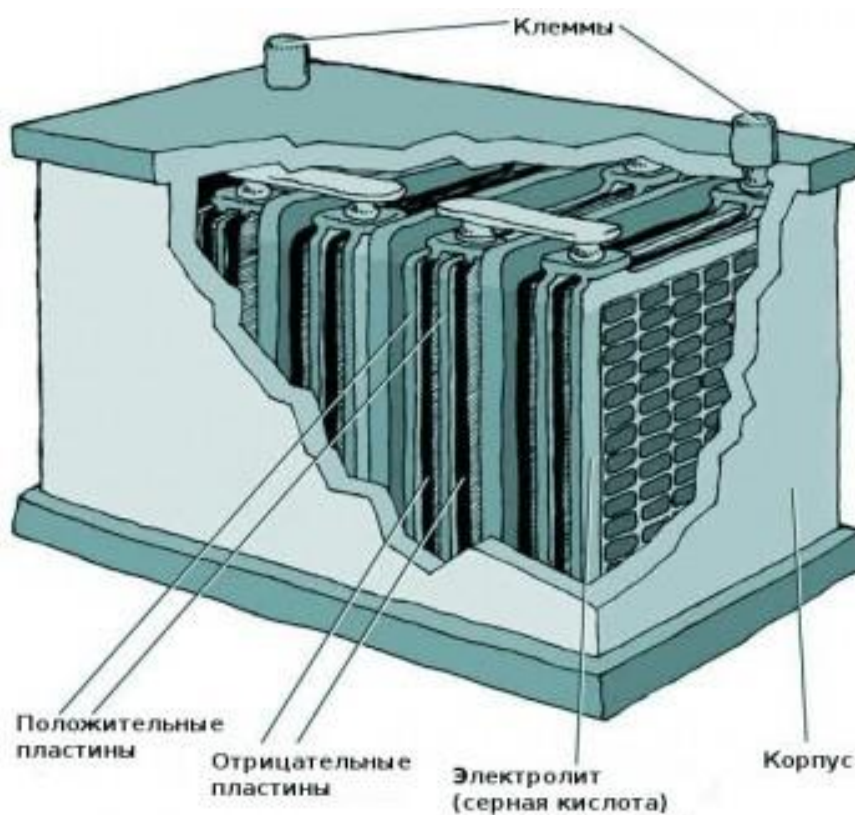


Рисунок 4.1 – Внешний вид стартерного АКБ

#### 4.2.2 AGM АКБ

*AGM* — герметизированные батареи, которые в общем случае предназначены для использования в источниках бесперебойного питания, прекрасно эксплуатируются в буферном режиме до 10–15 лет, но не предназначены для поддержания постоянной нагрузки.

В системах солнечного электроснабжения целесообразно применять только в модификации *VRLA* — батарей глубокого разряда с толстыми

пластинами и регулирующим клапаном для сброса давления газа. Также данный вид АКБ имеет относительно не высокую стоимость.

На рисунке 4.2 представлен внешний вид *AGM* АКБ с приведением комплектующих.



Рисунок 4.2 – Внешний вид *AGM* АКБ с приведением комплектующих

### 4.2.3 Гелиевые АКБ

Гелиевые батареи – это модификация стандартных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, в которых вместо жидкого электролита используется так называемый "загущенный": в электролит добавляется загуститель, в результате чего он переходит из жидкого состояния в гелеобразное.

"Гелиеобразность" электролита предотвращает возможность его выливания и исключает газовыделение в процессе эксплуатации батареи.

Основной же недостаток, присущий гелиевым батареям, - повышенное внутреннее сопротивление (следствие того, что электролит менее текучий).

Это препятствует получению высоких токов, и именно поэтому гелиевые батареи мало применяются в качестве стартерных автомобильных батарей и используются, в основном, в качестве резервных источников питания.

На рисунке 4.3 представлен внешний вид гелиевого АКБ с приведением комплектующих.

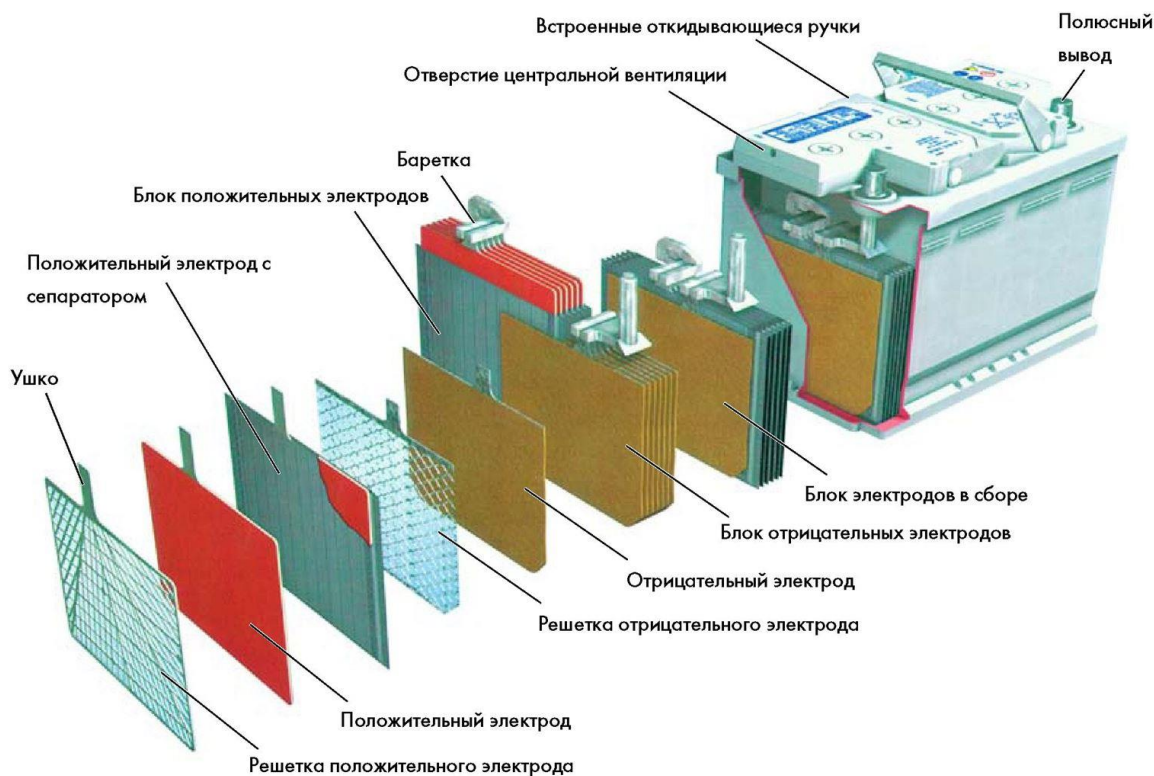


Рисунок 4.3 – Внешний вид гелиевого АКБ с приведением комплектующих

#### 4.2.4 Заливные АКБ

*Гелиевые с трубчатыми электродами (OPzV)* — герметизированные батареи, специально разработанные для длительного отбора большой емкости и способные функционировать в таком режиме до 20 часов.

В солнечной энергетике целесообразны только в системах с большой мощностью. Производятся в ЕС и США, стоят дорого, но есть хорошие китайские и украинские бренды вдвое дешевле.

Батареи *OPzV* полностью соответствуют стандартам *DIN*. Кроме того, благодаря применяющимся при производстве технологиям стандарты *DIN*

оказываются существенно превзойдѣнными.

Если устройство используется при температуре  $25^{\circ}\text{C}$ , то срок службы АКБ составит 25 лет.

Если эксплуатационные условия будут далеки от оптимальных, даже окажутся экстремальными, хотя такой длительности добиться и не удастся, всё же АКБ способна выдержать множество циклов зарядки.

АКБ *OPzV* состоят из следующих элементов:

- трубчатая пластина в устойчивом к коррозии сплаве *PbCaSn* (положительный электрод).
- покрытая *PbCaSn* решетчатая пластина (отрицательный электрод).
- микропористый *PVC* сепаратор.
- серная кислота в качестве электролита, увязанная в гель с помощью кремниевой, пирогенной кислоты.
- крышка и корпус выполнены из ударопрочного пластика *ABS* серого цвета.
- односторонний клапан, защищённый от обратного зажигания.
- вывод полюсного борна, который полностью непроницаем для электролита и газа.
- полюсный борн под болт *M8*.
- перемычка (соединитель) в виде гибкого изолированного кабеля из меди.

На рисунке 4.4 представлен внешний вид гелиевого АКБ с трубчатыми электродами.



Рисунок 4.4 – Внешний вид гелиевого АКБ с трубчатыми электродами

### 4.3 Щелочные АКБ

Щелочной аккумулятор – это наиболее распространенный вид аккумуляторов. Свое название получили от используемого электролита. Применяется едкий калий ( $KOH$ ) и едкий натрий ( $NaOH$ ). Специфика работы щелочного аккумулятора делают их практически незаменимыми в ряде отраслей народного хозяйства.

В отличие от кислотных, щелочные аккумуляторы отлично справляются с глубоким разрядом и способны длительное время отдавать токи примерно на 1/10 емкости батареи. Более того, щелочные батареи настоятельно рекомендуется разряжать полностью, чтобы не возникал так называемый «эффект памяти», который снижает емкость АКБ на величину «невывбранного» заряда.

В сравнении с кислотными, щелочные батареи имеют значительный срок службы — 20 лет и более, а также выдают стабильное напряжение в процессе разряда и бывают обслуживаемыми (заливными) и необслуживаемыми (герметизированными) и, кажется, просто созданы для солнечной энергетики.

Кроме того, щелочные АКБ не способны заряжаться слабыми токами, которые генерируют солнечные панели. Слабый ток свободно течет через

щелочной аккумулятор, не наполняя батарею.

В связи с этим применение щелочных АКБ для солнечных электростанций является нецелесообразным.

К преимуществам щелочных аккумуляторов относятся:

- длительный период эксплуатации, высокая энергоемкость, проще переносят глубокие разряды в сравнении со свинцовыми аккумуляторными батареями.

- можно длительно не подключать к зарядным устройствам, оставляя в состоянии полного разряда.

- устойчивы к механическим воздействиям, вибрациям.

К недостаткам можно соотнести:

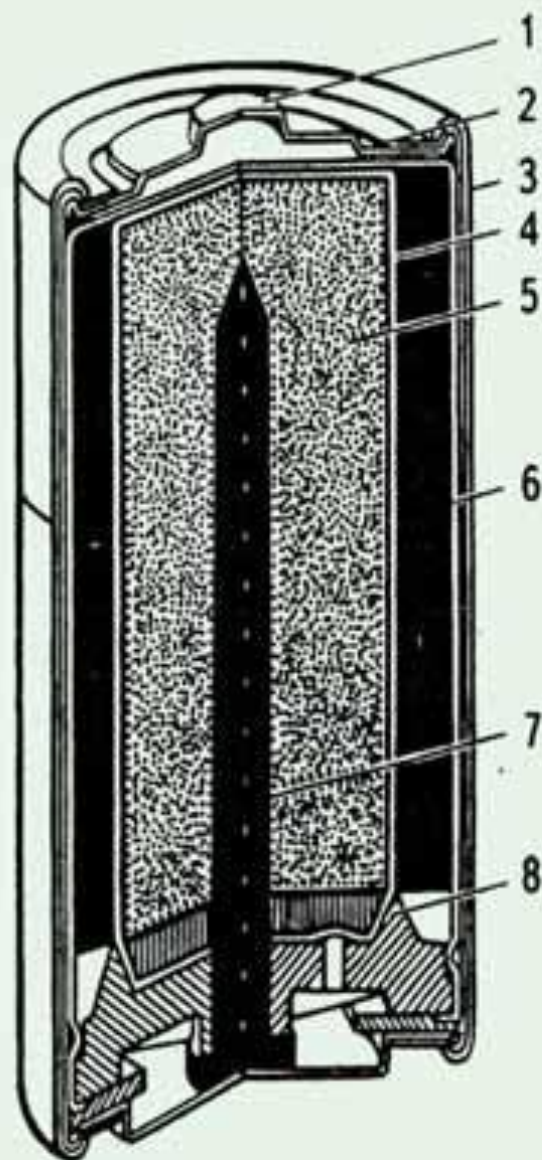
- химическая активность кадмия, который может засорять окружающую среду.

- щелочные аккумуляторы обладают «памятью».

- для обслуживания тяговых аккумуляторов необходим штат профильных специалистов.

Далее на рисунках 4.5 и 4.6 представлены общая схема и внешний вид щелочных АКБ соответственно.





- 1 – положительный вывод; 2 – изоляция;  
 3 – металлический корпус; 4 – сепаратор;  
 5 – отрицательный электрод (цинковый порошок,  
 пропитанный электролитом);  
 6 – положительный электрод (смесь двуокиси марганца и  
 графита); 7 – отрицательный вывод в виде латунного  
 стержня; 8 – пластиковая прокладка с  
 предохранительным клапаном

Рисунок 4.5 – Общая схема щелочного АКБ



Рисунок 4.6 – Внешний вид щелочных АКБ

#### 4.4 Литий-ионный АКБ

АКБ данного типа имеют принципиально определенную технологию, чем аккумуляторы для планшетов и ноутбуков, и используют литий-железно-фосфатную реакцию ( $LiFePO_4$ ).

Данные АКБ очень быстро заряжаются, могут отдавать до 80% заряда, не теряют емкости из-за неполной зарядки или долгого хранения в разряженном состоянии. Батареи выдерживают 3000 циклов, имеют срок службы до 20 лет, производятся в том числе в России. Самые дорогие из всех, но в сравнении с, например, кислотными, имеют вдвое большую емкость на единицу веса, то есть их понадобится вдвое меньше.

Соединение  $Fe-P-O$  сильнее, чем  $Co-O$ , поэтому при возникновении экстремальных ситуаций (короткое замыкание, перегрев, и т. д.) атомы кислорода гораздо труднее вывести.

Данная стабилизация окислительно-восстановительных реакций также помогает ускорить перенос ионов. Только при экстремальном нагреве, как правило, более 800 °C, происходит разрушение батарейки без выброса тепла. В свою очередь,  $LiCoO_2$  аккумуляторы как раз подвержены большому выбросу тепла.

$LiFePO_4$  – очень устойчивы к потере кислорода, что приводит к



экзотермической реакции у других литиевых элементов.

На рисунках 4.7 и 4.8 представлены общая схема и внешний вид литий-ионных АКБ с приведением рабочих параметров соответственно.

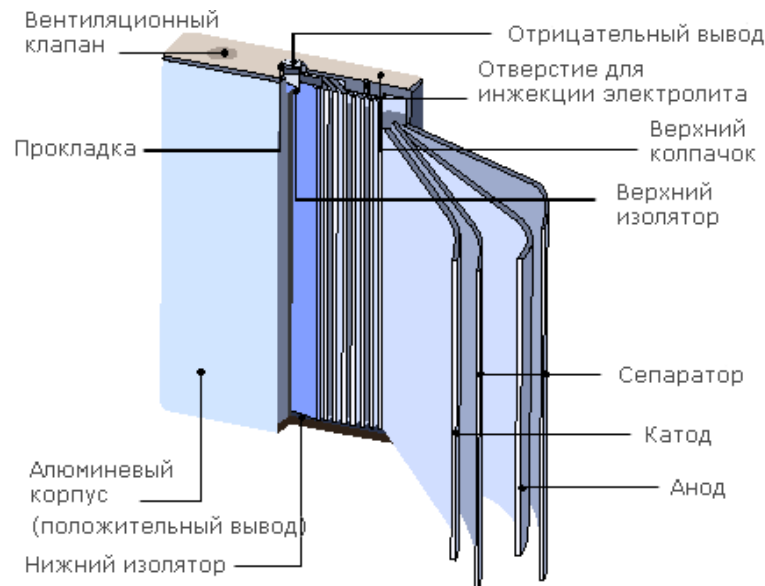


Рисунок 4.7 – Общая схема литий-ионного АКБ

### Литий-ионные аккумуляторы

Компания Лиотех производит линейку современных литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) номинальной ёмкости 200 А\*ч, 240 А\*ч, 300 А\*ч, 380 А\*ч, 700 А\*ч и 770 А\*ч.



МАССО-ГАБАРИТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЛИА

Тип ЛИА	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, Ач	Габариты, мм			Масса, кг, не более	Цена (с учетом НДС 18%), руб.
			Длина	Ширина	Высота		
LT-LYP200	3,2	200	163	117	337	9,95	14 000
LT-LYP240	3,2	240	163	117	337	9,95	16 800
LT-LYP300	3,2	300	167	163	337	14,80	21 000
LT-LYP380	3,2	380	167	163	337	14,80	26 600
LT-LYP700	3,2	700	289	163	337	26,50	49 000
LT-LYP770	3,2	770	289	163	337	26,50	53 900
LT-LFP300	3,2	300	162	114	349	9,50	21 000

Рисунок 4.8 – Внешний вид литий-ионного АКБ

## 4.5 Основные технические параметры АКБ

Характеристики и требования к аккумуляторам определяются исходя из особенностей работы самой солнечной электростанции.

Аккумуляторные батареи должны иметь:

- большое количество циклов заряда-разряда без существенной потери емкости.
- низкий саморазряд.
- сохранение работоспособность при низких и высоких температурах.

Ключевыми характеристиками принято считать:

- емкость батареи, А·ч.
- скорость полного заряда и допустимого разряда, ч.
- условия и срок эксплуатации, л.
- весогабаритные показатели, м<sup>2</sup> и кг.

## 4.6 Расчет выбора аккумуляторной батареи

Емкость аккумуляторных батарей рассчитываются, исходя из предполагаемого периода автономной работы без подзарядки и суммарной мощности потребления электроприборов.

Среднюю по временному интервалу мощность электроприбора (нагрузка потребителя) можно рассчитать по формуле 4.1:

$$P = \frac{P_1}{T_1 / T_2} \quad (4.1)$$

где  $P_1$  – паспортная мощность электроприбора, Вт;  $T_1$  – время работы прибора, ч;  $T_2$  – общее расчетное время, ч.

Также необходимо соблюдение следующего правила при эксплуатации АКБ, а именно необходимо поддерживание уровня заряда АКБ не менее 30% и не более 90%, а, следовательно, только 60% емкости АКБ возможно использовать для потребителя электроэнергии.

В случае планирование использования накопленной энергии в течение суток, например, в отоплении на солнечных батареях, то лучше принять за расчет чуть больший интервал, такой как 30 часов.

В случае длительного периода, когда нет возможности использовать солнечные панели, то необходимо применение другой системы получения электроэнергии, основанную, например, на дизель- или газогенераторе.

Заряженный на 90-100% аккумулятор может до своей полной разрядки выдать мощность, которую можно рассчитать по формуле 4.2:

$$P = U \cdot I \quad (4.2)$$

где  $U$  – напряжение АКБ, В;  $I$  – сила тока АКБ, А.

Так, один АКБ с параметрами напряжения 12 Вольт и силы тока 200 Ампер, может сгенерировать до 2,4 кВт.

В целях расчета суммарной мощности нескольких аккумуляторов, необходимо сложить значения, полученные для каждого из них.

Кроме того, полученный результат необходимо умножить на несколько понижающих коэффициентов:

- КПД инвертора. При правильном согласовании напряжения и мощности на входе в инвертор будет достигнуто максимальное значение от 0,92 до 0,96.

- КПД силовых кабелей. Минимизация длины проводов, соединяющих аккумуляторы и расстояния до инвертора необходима для снижения электрического сопротивления. На практике значение показателя составляет от 0,98 до 0,99.

- Минимально допустимое разряжение батарей. Для любого аккумулятора существует нижний предел зарядки, при преодолении которого срок службы устройства значительно снижается. Обычно, контроллеры выставляют на минимальное значение зарядки 15%, поэтому коэффициент равен около 0,85.

- Максимально допустимая потеря емкости до смены

аккумуляторов. Со временем происходит старение устройств, повышение их внутреннего сопротивления, что приводит к безвозвратному уменьшению их емкости. Использовать устройства, остаточная емкость которых менее 70% нерентабельно, поэтому значение показателя нужно взять за 0,7.

Вопреки распространенному мнению, КПД аккумулятора – отношение полученной и отданной электроэнергии включать в расчет не следует. Указанный в технической документации показатель емкости аккумулятора учитывает возможный объем на отдачу.

В итоге значение интегрального коэффициента при расчете необходимой емкости для новых аккумуляторов будет приблизительно равно 0,8, а для старых, перед их списанием – 0,55.

#### **4.7 Выбор модели АКБ**

Основные параметры аккумуляторных батарей для солнечной энергетики, на которые необходимо обратить внимание при приобретении следующие особенности:

- напряжение и емкость, определяющие мощность АКБ.
- глубина безопасного максимального разряда, при соблюдении которой возможно функционирование АКБ, заявленные производителем сроки.
- гарантированное количество циклов зарядки и разрядки при соблюдении всех технических условий.
- величина саморазряда, характеризующая интенсивность потери электроэнергии в заряженном АКБ при простое.
- максимальный ток заряда, определяющий количество электроэнергии за единицу времени, которое АКБ способен принять без ущерба для дальнейшего функционирования.
- штатный ток разряда, определяющий количество электроэнергии за единицу времени, которое АКБ длительно способен отдать без ущерба для дальнейшего функционирования.

- максимальный ток разряда, определяющий количество электроэнергии за единицу времени, которое АКБ кратковременно способен отдать без ущерба для дальнейшего функционирования.
- оптимальная температура для работы устройства;
- размер и масса аккумулятора, знание которых необходимо для выбора места их размещения и способа установки.

Все эти параметры описаны в технической документации, которую в электронном виде размещают на сайте всех крупных производителей.

**НЕОБХОДИМО РАЗМЕЩЕНИЕ АККУМУЛЯТОРОВ ВНУТРИ ОТАПЛИВАЕМОГО ПОМЕЩЕНИЯ С ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ НЕ НИЖЕ +15 °C.**

#### **4.8 Схемы соединения АКБ**

Объединенная группа АКБ называется батареей элементов или системой накопления энергии. В настоящий момент существуют два основных способа соединения элементов в батарее, а именно:

- Последовательное соединение.
- Параллельное соединение.
- Параллельно-последовательное соединение.

Далее рассмотрим особенности последовательного, параллельного и параллельно-последовательного соединения аккумуляторов. Существуют разные ситуации, когда может потребоваться увеличить общую емкость или поднять напряжение, прибегнув к параллельному или последовательному соединению нескольких аккумуляторов в батарею, и всегда нужно помнить о нюансах.

##### **4.8.1 Последовательное соединение АКБ**

При последовательном соединении аккумуляторных батарей, емкость общей батареи остается такой же, как и у каждого аккумулятора из цепи, а напряжение суммируется.

Таким образом, при последовательном соединении 4шт. АКБ 200 А·ч, 12 В – мы получим общую батарею емкостью 200 А·ч, и напряжением 48 В.

На рисунке 4.9 представлена общая схема последовательного соединения аккумуляторных батарей.

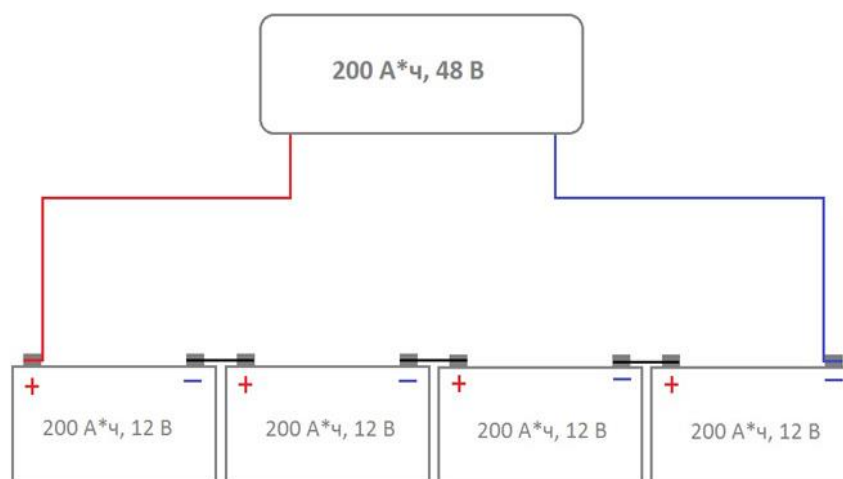


Рисунок 4.9 – Схема последовательного соединения аккумуляторной батареи

#### 4.8.2 Параллельное соединение АКБ

При параллельном соединении АКБ – напряжение общей батареи остается такой же, как и у каждой батареи из цепи, а емкость суммируется.

Таким образом, при параллельном соединении 4 шт. АКБ 200 А·ч, 12 В – мы получаем общую батарею емкостью 800 А·ч, напряжением 12 В.

На рисунке 4.10 представлена общая схема параллельного соединения аккумуляторных батарей.

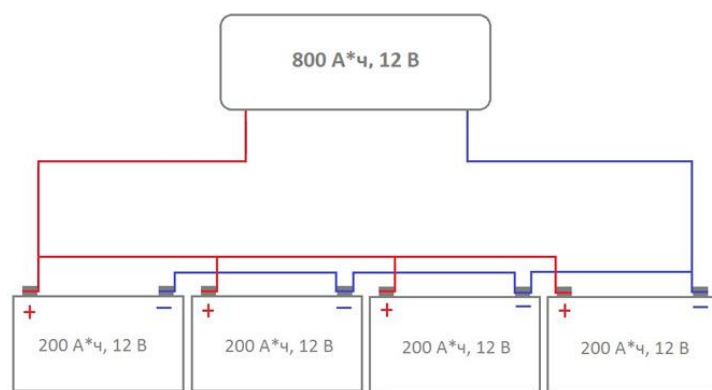


Рисунок 4.10 – Схема параллельного соединения аккумуляторной батареи

### 4.8.3 Параллельно-последовательное соединение АКБ

Комбинированный вариант используется при построении систем, где нужно достичь более высокой емкости и напряжения.

На рисунке 4.11 представлена общая схема параллельно-последовательного соединения аккумуляторных батарей.

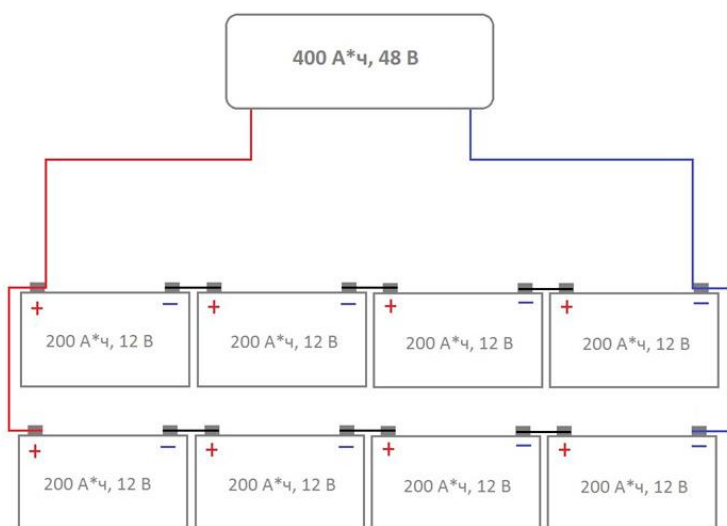


Рисунок 4.11 – Схема параллельно-последовательного соединения аккумуляторных батарей

### 4.9 Рекомендуемые видеоматериалы

- Как выбрать аккумуляторы для солнечных батарей, восстановить

и эксплуатировать? Выбираем контроллер заряда аккумулятора правильно!

[Электронный ресурс]: режим доступа:

<https://www.youtube.com/watch?v=C4fuesbGDpU>

➤ Хранилище для Солнечной электростанции. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=kLf8nD8KCII>

➤ Как выбрать аккумуляторы для солнечных батарей? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=HWpwTSfXZr4>

➤ Аккумуляторы для солнечной станции. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=sNw1KsgcO0c>

➤ Сколько нужно солнечных панелей и аккумуляторов для дома. Расчет с примерами. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=OPNBWaBZvjc>

➤ АГМ аккумуляторы 3 года в СЭС. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=Gz4C4HnIjq8>

➤ Типы аккумуляторов (АКБ). В чём разница и как правильно заряжать по ГОСТ. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=z3PwZGibEcM>

➤ 5 ошибок ПРИ ПОКУПКЕ аккумулятора. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=nCGKIhXhfu0>

➤ О существующих, разрабатываемых и невозможных аккумуляторах. [Электронный ресурс]: режим доступа: [https://www.youtube.com/watch?v=ep8o8DVPz\\_0](https://www.youtube.com/watch?v=ep8o8DVPz_0)

#### **4.10 Контрольные вопросы**

1. Расскажите и перечислите виды АКБ.
2. Из каких элементов состоит щелочные АКБ и представьте схему функционирования?
3. Приведите сравнение свинцового и литий-ионной АКБ и какой лучше выбрать?
4. В чем отличие гелиевой и АГМ АКБ?
5. Приведите основные преимущества и недостатки всех существующих



видов АКБ.

6. Нарисуйте и полностью опишите схему функционирования сетевой солнечной электростанции мощностью 1 кВт с учетом обоснования выбора вида АКБ и разработки системы накопления энергии со схемой соединения.

7. Что такое заливные и стартерные АКБ и укажите их особенности?

8. Приведите особенности характеристик АКБ и как выбрать АКБ.

9. Представьте, что у Вас есть небольшое фермерское хозяйство на территории МР «Усть-Алданский улус (район)» в Мюрюнском наслеге и Вам необходимо произвести выбор типа АКБ для солнечной электростанции. Выполните выбор типа АКБ и полностью обоснуйте выбор данного агрегата в виде SWOT-анализа.

10. Представьте, что у Вас есть охотничья избушка на территории МР «Нерюнгринский район» и Вам необходимо произвести выбор типа АКБ для солнечной электростанции. Выполните выбор типа АКБ и полностью обоснуйте выбор в виде SWOT-анализа.

### **Краткие выводы по главе**

В ходе обзора существующих технологий в области контроллеров заряда необходимо выделить следующие контрольные точки:

➤ При разработке системы накопления энергии рекомендуется применение гелиевых, литий-ионных силовых аккумуляторов в зависимости от объемов потребления электроэнергии.

➤ Рекомендуется применение параллельного соединения силовых аккумуляторов в целях поддержания 12 Вольт, так как в основном силовые инверторы и контроллеры заряда функционируют при данном напряжении.

➤ Возможно применение смешанного соединения силовых аккумуляторов, но повышением общего напряжения не более 24 Вольт в целях соответствия классу напряжения.

## **ГЛАВА 5. СИЛОВЫЕ ИНВЕРТОРЫ**

## 5.1 Определение силового инвертора

Инвертор — это генератор периодически изменяющегося напряжения, при этом форма напряжения может быть синусоидальной, приближенной к синусоидальной или импульсной. Инверторы применяют как в качестве самостоятельных устройств, так и в составе систем бесперебойного электроснабжения (*UPS*).

В составе источников бесперебойного питания (ИБП), инверторы позволяют, например, получить непрерывное электроснабжение компьютерных систем, и если в сети напряжение внезапно пропадет, то инвертор мгновенно начнет питать компьютер энергией, получаемой от резервного аккумулятора. По крайней мере, пользователь успеет корректно завершить работу и выключить компьютер.

В более крупных устройствах бесперебойного электроснабжения применяются более мощные инверторы с аккумуляторами значительной емкости, способные автономно питать потребители часами, независимо от сети, а когда сеть снова вернется в нормальное состояние, ИБП автоматически переключит потребители напрямую к сети, а аккумуляторы начнут заряжаться.

На рисунке 5.1 представлены внешние виды источника бесперебойного питания и силового инвертора.



Рисунок 5.1 – Внешние виды источника бесперебойного питания и силового инвертора

## 5.2 Техническая сторона силового инвертора

В современных технологиях преобразования электроэнергии инвертор может выступать лишь промежуточным звеном, где его функция — преобразовать напряжение путем трансформации на высокой частоте (десятки и сотни килогерц).

Благо, на сегодняшний день решить такую задачу можно легко, ведь для разработки и конструирования инверторов доступны как полупроводниковые ключи, способные выдерживать токи в сотни ампер, так и магнитопроводы необходимых параметров, и специально разработанные для инверторов электронные микроконтроллеры (включая резонансные).

Требования к инверторам, как и к другим силовым устройствам, включают: высокий КПД, надежность, как можно меньшие габаритные размеры и вес.

Также необходимо чтобы инвертор выдерживал допустимый уровень высших гармоник во входном напряжении, и не создавал неприемлемо сильных импульсных помех для потребителей.

В системах с «зелеными» источниками электроэнергии (солнечные батареи, ветряки) для подачи электроэнергии напрямую в общую сеть, применяют *Grid-tie* – инверторы, способные работать синхронно с промышленной сетью.

На рисунке 5.2 представлена общая схема сетевой солнечной электростанции с приведением комплектующих.

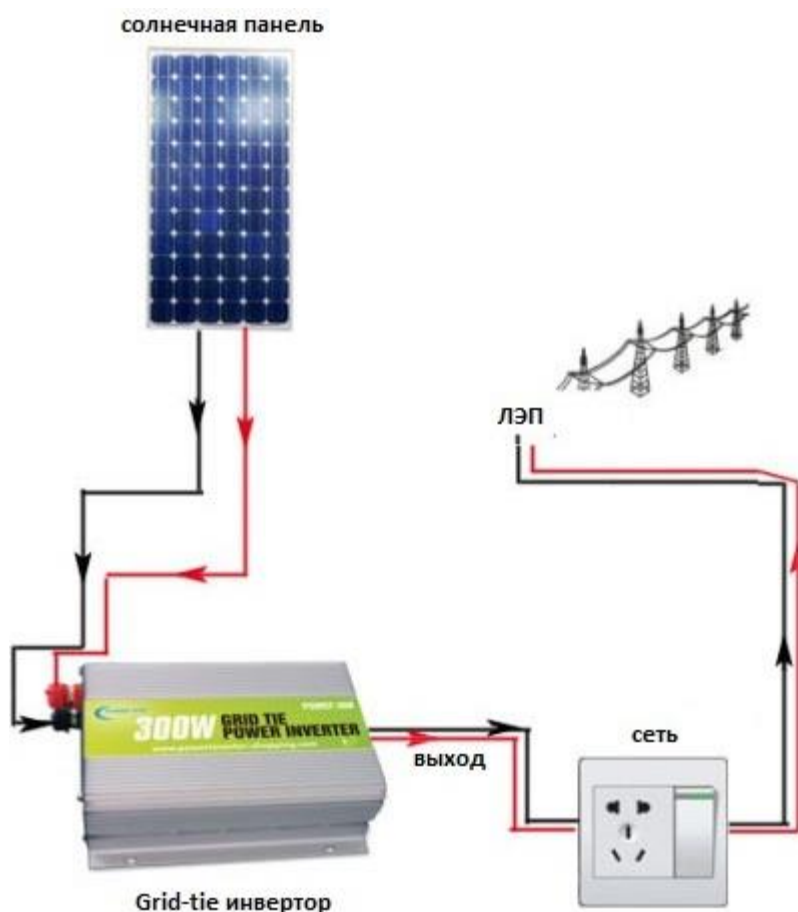


Рисунок 5.2 – Общая схема сетевой солнечной электростанции с приведением комплектующих

В процессе работы инвертора напряжения, источник постоянного напряжения периодически подключается к цепи нагрузки с чередованием полярности, при этом частота подключений и их продолжительность формируется управляющим сигналом, который поступает от контроллера.

Контроллер в инверторе обычно выполняет несколько функций: регулировка выходного напряжения, синхронизация работы полупроводниковых ключей, защита схемы от перегрузки. Принципиально инверторы делятся на: автономные инверторы (инверторы тока и инверторы напряжения) и зависимые инверторы (ведомые сетью, *Grid-tie* и т.д.).

### 5.3 Схемотехника силового инвертора

Полупроводниковые ключи инвертора управляются контроллером,

имеют обратные шунтирующие диоды. Напряжение на выходе инвертора, в зависимости от текущей мощности нагрузки, регулируется автоматическим изменением ширины импульса в блоке высокочастотного преобразователя, в простейшем случае это ШИМ (широтно-импульсная модуляция).

Полуволны выходного низкочастотного напряжения должны быть симметричными, чтобы цепи нагрузки ни в коем случае не получили значительной постоянной составляющей (для трансформаторов это особенно опасно), для этого ширина импульса НЧ-блока (в простейшем случае) делается постоянной.

В управлении выходными ключами инвертора, применяется алгоритм, обеспечивающий последовательную смену структур силовой цепи: прямая, короткозамкнутая, инверсная.

Так или иначе, величина мгновенной мощности нагрузки на выходе инвертора имеет характер пульсаций с удвоенной частотой, поэтому первичный источник должен допускать такой режим работы, когда через него текут пульсирующие токи, и выдерживать соответствующий уровень помех (на входе инвертора).

Если первые инверторы были исключительно механическими, то сегодня есть множество вариантов схем инверторов на полупроводниковой базе, а типовых схем всего три: мостовая без трансформатора, двухтактная с нулевым выводом трансформатора, мостовая с трансформатором.

Мостовая схема без трансформатора встречается в устройствах бесперебойного питания мощностью от 500 ВА и в автомобильных инверторах. Двухтактная схема с нулевым выводом трансформатора используется в маломощных ИБП (для компьютеров) мощностью до 500 ВА, где напряжение на резервном аккумуляторе составляет 12 или 24 вольта. Мостовая схема с трансформатором применяется в мощных источниках бесперебойного питания (на единицы и десятки кВА).

В инверторах напряжения с прямоугольной формой на выходе, группа ключей с обратными диодами коммутируется так, чтобы получить на нагрузке

переменное напряжение и обеспечить контролируемый режим циркуляции в цепи реактивной энергии.

За пропорциональность выходного напряжения отвечают: относительная длительность управляющих импульсов либо сдвиг фаз между сигналами управления группами ключей. В неконтролируемом режиме циркуляции реактивной энергии, потребитель влияет на форму и величину напряжения на выходе инвертора.

На рисунке 5.3 представлен график величины напряжения на выходе силового инвертора.

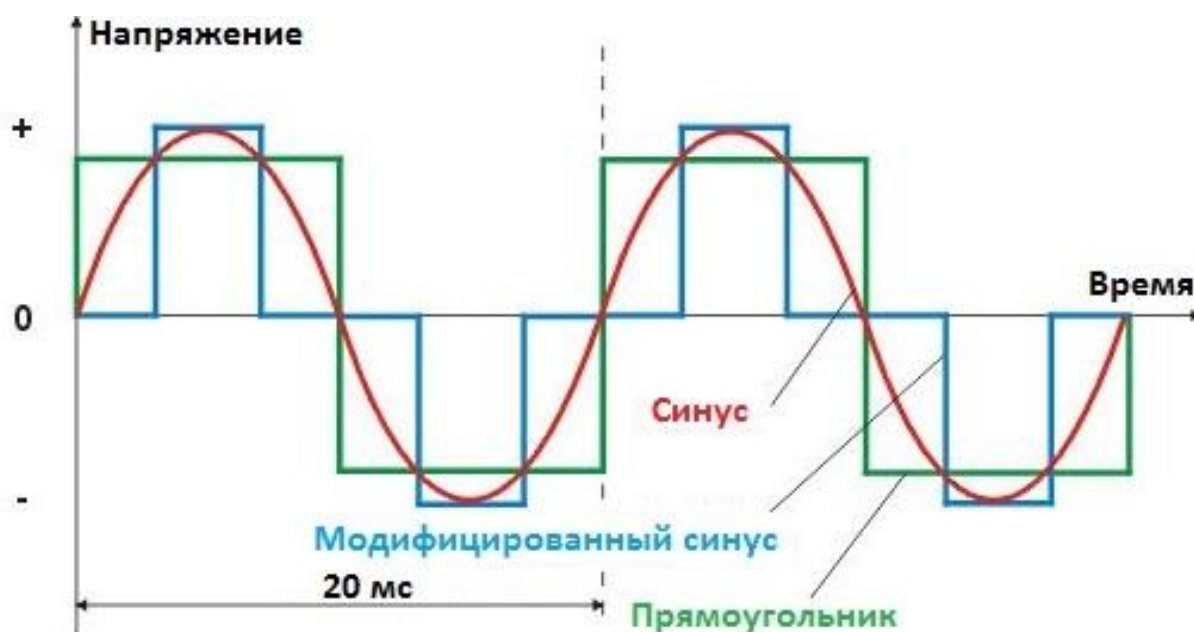


Рисунок 5.3 – График величины напряжения на выходе силового инвертора

В инверторах напряжения со ступенчатой формой на выходе, предварительный высокочастотный преобразователь формирует однополярную ступенчатую кривую напряжения, грубо приближенную по своей форме к синусоиде, период которой равен половине периода выходного напряжения. Затем мостовая НЧ-схема превращает однополярную ступенчатую кривую в две половинки разнополярной кривой, грубо напоминающей по форме синусоиду.

В инверторах напряжения с синусоидальной (или почти

синусоидальной) формой на выходе, предварительный высокочастотный преобразователь генерирует постоянное напряжение близкое по величине к амплитуде будущей синусоиды на выходе.

После этого мостовая схема формирует из постоянного напряжения переменное низкой частоты, путем многократной ШИМ, когда каждая пара транзисторов на каждом полупериоде формирования выходной синусоиды открывается несколько раз на время, изменяющееся по гармоническому закону. Затем НЧ-фильтр выделяет из полученной формы синус.

Далее на рисунке 5.4 представлена схема ВЧ-преобразователя в силовых инверторах.

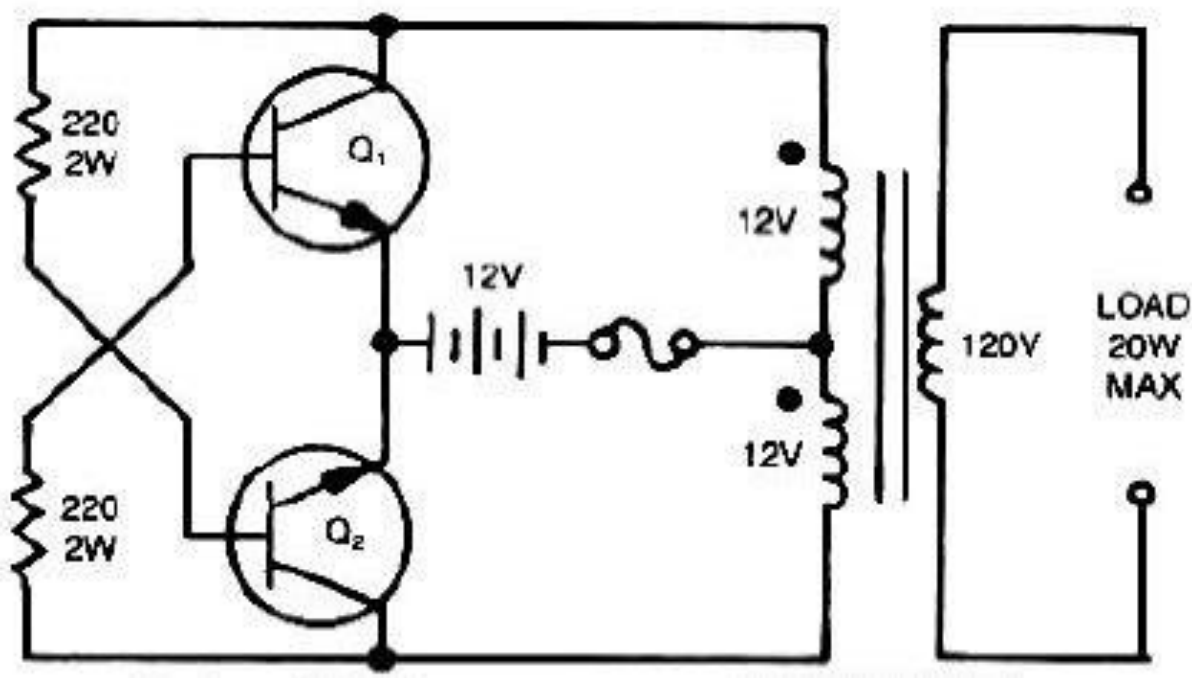


Рисунок 5.4 – Схема ВЧ-преобразователя в силовых инверторах

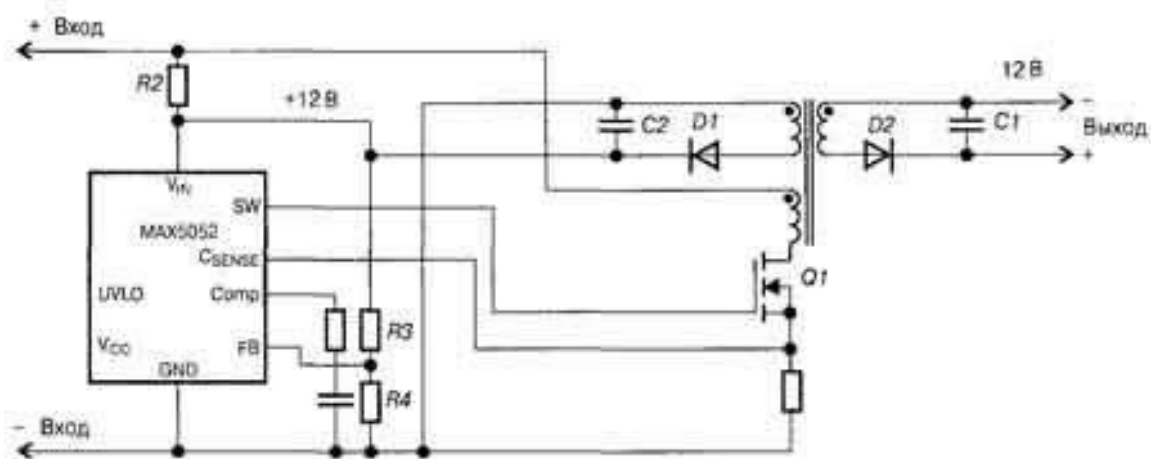
Простейшие схемы предварительного высокочастотного преобразования в инверторах являются автогенераторными. Они довольно просты в плане технической реализации и достаточно эффективны на малых мощностях (до 10-20 Вт) для питания нагрузок не критичных к процессу подачи энергии. Частота автогенераторов не более 10 кГц.

Положительная обратная связь в таких устройствах получается от насыщения магнитопровода трансформатора. Но для мощных инверторов

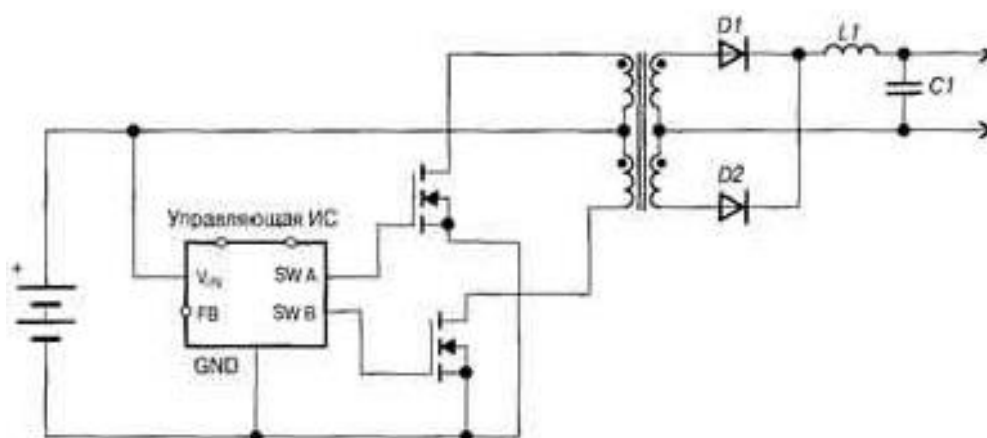
такие схемы не приемлемы, поскольку потери в ключах возрастают, и КПД получается в итоге низким. Тем более, любое КЗ на выходе срывает автоколебания.

На рисунке 5.5 представлены различных видов схем предварительных высокочастотных преобразователей.





**Обратноходовый**



**Двухтактный**



**Полумостовой**

Рисунок 5.5 – Схемы предварительных высокочастотных преобразователей

Более качественные схемы предварительных высокочастотных преобразователей — это обратноходовые (до 150 Вт), двухтактные (до 500 Вт), полумостовые и мостовые (более 500 Вт) на ШИМ контроллерах, где частота

преобразования достигает сотен килогерц.

#### 5.4 Типы силовых инверторов

Однофазные инверторы напряжения подразделяются на две группы: с чистым синусом на выходе и с модифицированной синусоидой. Большинство современных приборов допускают упрощенную форму сетевого сигнала (модифицированную синусоиду).

Чистая же синусоида важна для приборов, у которых на входе есть электродвигатель или трансформатор, либо если это специальное устройство, работающее только с чистой синусоидой на входе.

Трёхфазные инверторы обычно используются для создания трёхфазного тока для электродвигателей, например, для питания трёхфазного асинхронного двигателя. При этом обмотки двигателя непосредственно подключаются к выходу инвертора. По мощности инвертор выбирают исходя из пикового значения токов для потребителя.

Вообще, существует три рабочих режима инвертора: пусковой, длительный и режим перегрузки.

В пусковом режиме (заряд емкости, пуск холодильника) мощность может на долю секунды двукратно превысить номинал инвертора, это допустимо для большинства моделей. Длительный режим — соответствующий номиналу инвертора. Режим перегрузки — когда мощность потребителя в 1,3 раза превышает номинал — в таком режиме средний инвертор может работать примерно полчаса.

Также практический выбор силовых инверторов производится с помощью:

- Пиковая мощность потребления электроэнергии со стороны нагрузки потребителя, Вт.
- Входное и выходное напряжение, В.
- Учет необходимости определенной степени ИР.

РЕКОМЕНДУЕТСЯ

дополнительное

подключение

АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ со стороны выходного напряжения силового инвертора.

### 5.5 Рекомендуемые видеоматериалы

➤ Солнечный инвертор. Какие бывают? Как выбрать инвертор? Параметры выбора инвертора. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=qU22hn4gx18>

➤ Как выбрать инвертор для солнечных батарей? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=7jYiiHFrbAc>

➤ Инвертор для солнечной электростанции. Что внутри? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=8UxgGnsfd4o>

➤ Самодельный инвертор. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=4J5afTDBwpw>

### 5.6 Контрольные вопросы

1. Расскажите и перечислите виды силовых инверторов.
2. Из каких элементов состоит силовой инвертор и представьте схему функционирования?
3. В чем 1-фазного и 3-фазного инверторов?
4. Приведите основные преимущества и недостатки всех существующих видов инверторов.
5. Нарисуйте и полностью опишите схему функционирования сетевой солнечной электростанции мощностью 1 кВт с учетом обоснования выбора вида силового инвертора и разработки системы накопления энергии со схемой соединения.
6. Приведите особенности характеристик инверторов и как выбрать инвертор.
7. Представьте, что у Вас есть небольшое фермерское хозяйство на территории МР «Усть-Алданский улус (район)» в Легойском наслеге и Вам

необходимо произвести выбор инвертора для солнечной электростанции. Выполните выбор инвертора и полностью обоснуйте выбор данного агрегата в виде SWOT-анализа.

8. Представьте, что у Вас есть охотничья избушка на территории МР «Момский улус (район)» и Вам необходимо произвести выбор инвертора для солнечной электростанции. Выполните выбор типа АКБ и полностью обоснуйте выбор в виде SWOT-анализа.

### **Краткие выводы по главе**

В ходе обзора существующих технологий в области контроллеров заряда необходимо выделить следующие контрольные точки:

- В настоящий момент существуют два вида силовых инверторов, а именно трехфазные и однофазные.
- Рекомендуется применение однофазных инверторов в случае питания малых потребителей.
- Рекомендуется применение трехфазных инверторов в случае питания средних и крупных потребителей.

## ГЛАВА 6 ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПРОРАБОТКИ

В данной главе автором учебного пособия заданы различные виды заданий, а именно:

- Тематические рефераты.
- Расчетно-графические работы.

### 6.1 Требования к оформлению самостоятельных и расчетно-графических работ

#### 6.1.1 Требования к выполнению заданий по теме реферата

В рамках выполнения реферат на определенную тему в соответствии с подразделом 2.2 по дисциплине «Общая энергетика» студенту **НЕОБХОДИМА** разработка и выполнение следующих контрольных пунктов:

1. «ВВЕДЕНИЕ» – полное описание направления исследований в соответствии с выбранной тематикой, а именно: приведение внешних параметров и выдвижение предварительного описания предлагаемого технического решения. **НЕОБХОДИМО** указать цель (*только одна цель*) и задачи (не менее трех пунктов) реферат. В основном *целью реферата является разработка технического решения в виде конкретного энергетического объекта на территории Севера с применением объектов возобновляемых источников энергии в целях энергоэффективности и ресурсосбережения.* Рекомендуемый объем – 1-2 листа формата А4.

2. «Исходные данные реферат» – приведение всех технико-экономических исходных данных в зависимости от места расположения объекта исследования с указанием единиц измерения, возможно представление общей схемы электроснабжения. Рекомендуемый объем – 1 лист формата А4.

3. «Анализ внешних параметров населенного пункта» - выбор конкретного населенного пункта и приведение его географических и

климатических параметров, такие как: географические координаты; площадь населенного пункта, м<sup>2</sup>; температура воздуха, °С; относительная влажность, %; осадки, мм; дневная сумма солнечной радиации-горизонтальная, кВт\*ч/м<sup>2</sup> в день; скорость ветра, м/с; температура земли, °С; градусо-дни отопительного сезона (18°С), °С-д; градусо-дни с отрицательной температурой (10°С), °С-д – для каждого месяца в течение года в том числе карты районирования. Кроме того, **НЕОБХОДИМО** указать количество населения в тыс. человек, перечень производственных (заводы, цехи и фабрики) и социальных (больницы, школы, детские сады и т.д.) объектов и т.д. **РЕКОМЕНДУЕТСЯ** применение таблиц и схем, разработанные на базе лицензированной программы MS Office Excel. Рекомендуемый объем – 3-4 листа формата А4.

4. «Анализ энергопотребления населенных пунктов» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** представить основные параметры топливо- (потребление дизельного топлива и масла) и электропотребления (выработка электроэнергии и отпуск шин) в населенном пункте в зависимости от номера варианта<sup>1</sup> и разработать обобщенный анализ на основании полученных данных по потреблению в том числе расчет экономии топлива за счет внедрения ВИЭ. Рекомендуемый объем – 3-4 листа формата А4.

5. «Выбор технологии производства электроэнергии» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** проведение детального анализа по 3 источникам возобновляемых источников энергии (ветер, солнце и гидро-) с приведением графических интерпретаций, табличных данных, преимуществ и недостатков. В конце данного анализа студентом выбирается конкретный вид СЭС с обоснованием данного выбора. Рекомендуемый объем – от 2 листов формата А4.

6. «Расчет мощности генерации электростанции» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** проведение технических расчетов возможного объема производства электроэнергии с приведением графиков ежемесячной и годовой генерации электроэнергии от СЭС. В конце данного

---

<sup>1</sup> Показания по выработке электроэнергии и потреблению ГСМ представлены в Приложении №2

раздела студенту **НЕОБХОДИМО** представить установленную мощность электростанции от ГЭС. Рекомендуемый объем – от 4 листов формата А4.

7. «Выбор силового оборудования» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** произвести выбор генерирующего оборудования (модель солнечной панели, ветрового генератора, гидрогенератора, силового инвертора, контроллера заряда и т.д.) в зависимости от типа электростанции с указанием основных тактико-технических параметров. Рекомендуемый объем – от 4 листов формата А4.

8. «Технико-экономический расчет» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** произвести расчет переменных и постоянных потерь электроэнергии в ЛЭП внутри системы электроснабжения населенного пункта с выведением годовых эксплуатационных издержек и минимальные приведенные затраты. Рекомендуемый объем – до 2 листов формата А4.

9. «Заключение» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** произвести детальное описание произведенных работ в рамках курсового проекта. Рекомендуемый объем – до 1 листа формата А4.

10. «Список использованной литературы» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** произвести детальное описание<sup>2</sup> перечня использованной литературы в рамках выполнения курсового проекта в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018 СИБИД Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. Рекомендуемый объем – до 1 листа формата А4.

---

<sup>2</sup> Перечень использованных источников необходимо выполнить в соответствии с Приложением 3

### 6.1.2 Требования к выполнению заданий по расчетно-графической работе

В рамках выполнения расчетно-графической работы (далее – РГР) по дисциплине «Общая энергетика» студенту **НЕОБХОДИМО** выполнение следующих контрольных пунктов:

1. «ВВЕДЕНИЕ» – полное описание задания РГР, приведение внешних параметров и выдвижение предварительного описания предлагаемого технического решения. **НЕОБХОДИМО** указать цель (*только одна цель*) и задачи (не менее трех пунктов) курсового проекта. В основном *целью курсового проекта является разработка системы электроснабжения на базе ГЭС на территории Севера в целях обеспечения экономии ГСМ и повышения надежности энергообеспечения*. Рекомендуемый объем – 1-2 листа формата А4.

2. «Исходные данные РГР» – приведение всех технико-экономических исходных данных в зависимости от номера варианта с **ОБЯЗАТЕЛЬНЫМ** указанием единиц измерения, возможное представление общей схемы электроснабжения. Рекомендуемый объем – 1 лист формата А4.

3. «Анализ внешних параметров населенного пункта» - приведение всех географических и климатических параметров, такие как: географические координаты; площадь населенного пункта, м<sup>2</sup>; температура воздуха, °С; относительная влажность, %; осадки, мм; дневная сумма солнечной радиации-горизонтальная, кВт\*ч/м<sup>2</sup> в день; скорость ветра, м/с; температура земли, °С; градусо-дни отопительного сезона (18°С), °С-д; градусо-дни с отрицательной температурой (10°С), °С-д – для каждого месяца в течение года в том числе карты районирования. Кроме того, **НЕОБХОДИМО** указать количество населения в тыс. человек, перечень производственных (заводы, цехи и фабрики) и социальных (больницы, школы, детские сады и т.д.) объектов и т.д. **РЕКОМЕНДУЕТСЯ** применение таблиц и схем, разработанные на базе лицензированной программы MS Office Excel. Рекомендуемый объем – 3-4 листа формата А4.



4. «Анализ энергопотребления населенных пунктов» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** представить основные параметры топливо- (потребление дизельного топлива и масла) и электропотребления (выработка электроэнергии и отпуск шин) в населенном пункте в зависимости от номера варианта<sup>3</sup> и разработать обобщенный анализ на основании полученных данных по потреблению в том числе расчет экономии топлива за счет внедрения ВИЭ. Рекомендуемый объем – 3-4 листа формата А4.

5. «Выбор створа ГЭС или место размещения объекта» – в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** проведение поиска наиболее подходящей области для размещения ГЭС с помощью Интернет-ресурса «*Google Map*» в целях строительства ГЭС, где **НЕОБХОДИМО** соответствие требованиям и условиям СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов" и Статьи 51 Градостроительного кодекса Российской Федерации" от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 30.04.2021). Кроме того, **НЕОБХОДИМО** приведение детального анализа по выбранному месту размещения СЭС. Вместе с тем выбранный земельный участок должен иметь значительную площадь в зависимости от мощности генерации СЭС. Рекомендуемый объем – не менее 4 листов формата А4.

6. «Выбор источника энергии» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** проведение детального анализа по 3 источникам возобновляемых источников энергии (ветер, солнце и гидро) с приведением графических интерпретаций, табличных данных, преимуществ и недостатков. В конце данного анализа студентом выбирается СЭС с обоснованием данного выбора. Рекомендуемый объем – от 2 листов формата А4.

7. «Расчет мощности генерации электростанции» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** проведение технических расчетов возможного объема производства электроэнергии с приведением графиков ежемесячной и годовой генерации электроэнергии от ВИЭ. В конце данного

---

<sup>3</sup> Показания по выработке электроэнергии и потреблению ГСМ представлены в Приложении №2

раздела студенту **НЕОБХОДИМО** представить установленную мощность СЭС. Рекомендуемый объем – от 4 листов формата А4.

8. «Выбор силового оборудования» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** произвести выбор генерирующего оборудования (модель солнечной панели, ветрового генератора, гидрогенератора, силового инвертора, контроллера заряда и т.д.) в зависимости от типа электростанции с указанием основных тактико-технических параметров. Рекомендуемый объем – от 4 листов формата А4.

9. «Разработка принципиальной схемы системы электроснабжения» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** разработать принципиальную схему электроснабжения населенного пункта с подключением СЭС к фидерам потребителей с учетом использования силовых трансформаторов, распределительных устройств, силовых шин, коммутационного оборудования и т.д. Также необходимо выполнение обзорного анализа схемы. Рекомендуемый объем – от 2 листов формата А4

10. «Выбор преобразовательного оборудования» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** произвести выбор повышающего и понижающего силового трансформатора в целях обеспечения увеличения класса напряжения для последующей передачи по ЛЭП к потребителю с учетом определенных требований и условий в соответствии с ПУЭ 7 «Правила устройства электроустановок. Издание 7» и приведением всех технических параметров выбранного оборудования. Рекомендуемый объем – от 2 листов формата А4.

11. «Выбор оборудования ЛЭП» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** произвести выбор типа и материала опоры ЛЭП, определить сечение и марку проводов на основании расчета экономической плотности тока и т.д. Рекомендуемый объем – от 4 листов формата А4.

12. «Технико-экономический расчет» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** произвести расчет переменных и постоянных потерь электроэнергии в ЛЭП внутри системы электроснабжения населенного пункта

с выводением годовых эксплуатационных издержек и минимальные приведенные затраты. Рекомендуемый объем – до 2 листов формата А4.

13. «Заключение» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** произвести детальное описание произведенных работ в рамках РГР. Рекомендуемый объем – до 1 листа формата А4.

14. «Список использованной литературы» - в данном разделе студенту **НЕОБХОДИМО** произвести детальное описание перечня использованной литературы в рамках выполнения курсового проекта в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018 СИБИД Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. Рекомендуемый объем – до 1 листа формата А4.

## Образец формы титульного листа для расчетно-графической работы

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К.

Аммосова»

Физико-технический институт

Кафедра «Электроснабжение»

### РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

по дисциплине: «Общая энергетика»

Задание №4 \_\_\_\_

Выполнил:

ФИО (полностью в именительном падеже),

студент группы ЭС- \_\_\_\_

Проверил (а):

Фамилия И.О.,

ученая степень и должность преподавателя

ФТИ СВФУ им. М.К. Аммосова

---

(подпись)

Якутск, 202\_\_ г.

---

<sup>4</sup> Номер варианта определяется по последнему номеру зачетной книжки в соответствии с Приложением №1

## Образец формы титульного листа для реферата

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К.

Аммосова»

Физико-технический институт

Кафедра «Электроснабжение»

### РЕФЕРАТ

по дисциплине: «Общая энергетика»

на тему:

«Название темы»

Выполнил:

ФИО (полностью в именительном падеже),

студент группы ЭС- \_\_\_\_

Проверил (а):

Фамилия И.О.,

ученая степень и должность преподавателя

ФТИ СВФУ им. М.К. Аммосова

---

(подпись)

Якутск, 202\_\_ г.

## **6.2 Задания для самостоятельной работы (Рефераты)**

Выполнить реферат на последующие темы с объемом не менее 20 листов формата А4, оформленный по требованиям ГОСТ:

1. Актуальность эксплуатации солнечной электростанции малой мощности на территории северной части Республики Саха (Якутия).
2. Актуальность эксплуатации солнечной электростанции малой мощности на территории южной части Республики Саха (Якутия).
3. Актуальность эксплуатации солнечной электростанции малой мощности на территории западной части Республики Саха (Якутия).
4. Актуальность эксплуатации солнечной электростанции малой мощности на территории восточной части Республики Саха (Якутия).
5. Актуальность эксплуатации солнечной электростанции микромощности на территории северной части Республики Саха (Якутия).
6. Актуальность эксплуатации солнечной электростанции микромощности на территории южной части Республики Саха (Якутия).
7. Актуальность эксплуатации солнечной электростанции микромощности на территории западной части Республики Саха (Якутия).
8. Актуальность эксплуатации солнечной электростанции микромощности на территории восточной части Республики Саха (Якутия).
9. Актуальность эксплуатации солнечной электростанции средней мощности на территории южной части Республики Саха (Якутия).
10. Актуальность эксплуатации солнечной электростанции средней мощности на территории центральной части Республики Саха (Якутия).
11. Исследование возможности внедрения солнечной электростанции средней мощности на территории южной части Республики Саха (Якутия).
12. Исследование возможности внедрения солнечной электростанции средней мощности на территории северной части Республики Саха (Якутия).
13. Исследование возможности внедрения солнечной электростанции средней мощности на территории западной части Республики Саха (Якутия).

14. Обоснование возможности размещения системы накопления энергии внутри грунта на территории восточной части Республики Саха (Якутия).

15. Обоснование возможности размещения системы накопления энергии внутри грунта на территории центральной части Республики Саха (Якутия).

16. Обоснование возможности размещения системы накопления энергии внутри грунта на территории центральной части Республики Саха (Якутия).

17. Обоснование возможности размещения системы накопления энергии внутри грунта на территории южной части Республики Саха (Якутия).

18. Обоснование возможности размещения системы накопления энергии внутри грунта на территории северной части Республики Саха (Якутия).

19. Обоснование выбора аккумуляторной батареи для солнечной электростанции микро мощности на территории восточной части Республики Саха (Якутия).

20. Обоснование выбора аккумуляторной батареи для солнечной электростанции микро мощности в условиях Севера.

### **6.3 Задания для РГР**

1. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции малой мощности с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 50%-го электроснабжения населенного пункта Верхняя Амга на летний период.

2. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции микро мощности с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения

установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 100%-го электроснабжения населенного пункта Верхняя Амга на летний период.

3. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции малой мощности с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 50%-го электроснабжения населенного пункта Саскылах на летний и осенний периоды.

4. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции микромощности с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 100%-го электроснабжения населенного пункта Саскылах на летний и осенний периоды.

5. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции малой мощности с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 60%-го электроснабжения населенного пункта Белая Гора на летний и осенний периоды.

6. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 100%-го электроснабжения населенного пункта Белая Гора на летний и осенний периоды.

7. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной



мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 50%-го электроснабжения населенного пункта Чагда на летний и осенний периоды.

8. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 100%-го электроснабжения населенного пункта Чагда на летний и осенний периоды.

9. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 70%-го электроснабжения населенного пункта Чагда на летний и осенний периоды.

10. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 70%-го электроснабжения населенного пункта Саскылах на летний и осенний периоды.

11. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 10%-го электроснабжения населенного пункта Саскылах на летний и осенний периоды.

12. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной

мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 30%-го электроснабжения населенного пункта Саскылах на летний и осенний периоды.

13. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 100%-го электроснабжения населенного пункта Белая Гора на летний и осенний периоды.

14. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 10%-го электроснабжения населенного пункта Белая Гора на летний и осенний периоды.

15. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 80%-го электроснабжения населенного пункта Белая Гора на летний и осенний периоды.

16. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 10%-го электроснабжения населенного пункта Верхняя Амга на летний период.

17. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной

мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 20%-го электроснабжения населенного пункта Верхняя Амга на летний период.

18. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 30%-го электроснабжения населенного пункта Верхняя Амга на летний период.

19. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 40%-го электроснабжения населенного пункта Верхняя Амга на летний период.

20. Выполнить технико-экономический расчет строительства солнечной электростанции с обязательным учетом выбора необходимого силового и вспомогательного оборудования, и определения установленной мощности объекта. Подразумевается, что данный объект предназначен в целях 100%-го электроснабжения населенного пункта Абый на летний период.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

№	Населенный пункт
1.	Верхняя Амга
2.	Кутана
3.	Угоян
4.	Улуу
5.	Чагда
6.	Саскылах
7.	Юрюнг-Хая
8.	Абый
9.	Белая Гора
10.	Кенг-Кюель
11.	Кубергене
12.	Кюсюр
13.	Найба
14.	Намы
15.	Сиктях
16.	Таймылыр
17.	Алысардах
18.	Арылах
19.	Барылас
20.	Батагай

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

№	Населенный пункт	Выработка э/э, тыс. кВт*ч	ОШ, тыс. кВт*ч	Потребление ДТ, т.н.т	Удельный расход ДМ, гр/кВт*ч
1.	Верхняя Амга	16,255	15,936	9,791	12,37
2.	Кутана	687,413	681,708	202,641	3,35
3.	Угоян	350,393	344,867	104,278	2,83
4.	Улуу	485,663	480,216	154,051	3,57
5.	Чагда	455,146	453,166	128,456	3,34
6.	Саскылах	7391,541	7004,498	1837,225	2,99
7.	Юрюнг-Хая	3451,602	3347,223	857,230	1,59
8.	Абый	1073,381	1056,486	287,076	1,43
9.	Белая Гора	8298,609	8082,201	2069,717	3,86
10.	Кенг-Кюель	420,310	392,684	130,820	3,10
11.	Кубергене	847,600	840,640	237,149	3,80
12.	Кюсюр	3599,000	3218,060	874,469	5,90
13.	Найба	1040,754	975,306	301,871	2,07
14.	Намы	837,891	808,653	247,950	2,58
15.	Сиктях	300,290	273,243	90,024	3,88
16.	Таймылыр	1742,769	1621,539	494,004	7,53
17.	Алысардах	87,744	85,763	32,520	47,157
18.	Арылах	879,714	875,791	315,280	457,157
19.	Барылас	93,366	91,099	32,181	46,662
20.	Батагай	21645,139	20673,659	5350,053	7757,580

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Вид источника	Форма описания
Журнальные статьи	Автор. Статья / Авторы // Журнал. – Год. – Номер. – Страницы размещения статьи. Если над статьей работало более 4 человек, то в заглавии один из них не упоминается.
Монографии	Автор. Название. / Авторы – Номер. – Город и издательство, год выпуска. – Страницы, на которых размещена работа. Разрешается не использовать знаки тире при оформлении данного описания, а обходиться лишь точками для разделения отдельных частей. Если при написании использовались труды других авторов, то их можно упомянуть в общем перечислении, либо дописать в квадратных скобках в качестве отдельной части.
Авторефераты	Автор. Название работы: (регалии автора). – Город, год издания. – Количество страниц.
Диссертации	Автор. Название: (после двоеточия можно указать статус работы и регалии автора). – Город, год издательства. – Страницы, на которых размещена работа или общее количество страницы.
Обзоры (аналитика)	Название / Автор. – Город: Издательство, год выпуска. – Количество страниц.
Патенты	Патент РФ Номер, дата выпуска
	Авторы. Название // Патент России Номер, год. Номер бюллетеня.
Материалы конференций	Название. Тема конференции, Город, год выпуска. Количество страниц.
	Автор. Название // Тема конференции (Место и дата проведения) – Город, год выпуска. – Страницы, на которых напечатана работа, либо их количество.
Интернет-документы	URL, дата обращения к ресурсу.
	Название работы / Автор. URL (дата обращения по ссылке).
Учебники	Автор. Название / Авторы. – Город: Издательство, год выпуска. – Количество страниц. При авторстве 4-х и более человек оформление производится аналогично журнальным статьям.
Учебные пособия	Название / (Авторы работ) // Редактор. – Город: Издательство, год выпуска. – Количество страниц.
Словари	Автор. Название / Авторы. – Город: Издательство, год выпуска. – Количество страниц.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кундас, С.П., Позняк, С.С., Шенец, Л.В. Возобновляемые источники энергии / Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2009. – С. 390.
2. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие / - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – С. 187.
3. Тихонов А.В. (2013), «Повышение эффективности комбинированных систем автономного электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии», Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук ВАК РФ 05.14.08. г. Москва, 2013г.
4. Кузык Б. Партнерство государства и бизнеса: перспективы в сфере возобновляемых источников энергии // Проблемы теории и практики управления. – 2008. – № 7. – С. 19.
5. Техничко-экономические показатели РЭС северных районов РС(Я) на 01.01.2018 Министерство ЖКХ и энергетики РС(Я).
6. Топливо-энергетические показатели АО «Сахаэнерго» за 2017 год.
7. Техничко-экономические расчеты в электроэнергетике. Методические рекомендации по экономическим расчетам в курсовых и дипломных проектах для студентов энергетического факультета. Министерство образования РФ СВФУ им. М.К. Аммосова 2018 год.
8. Энергетика. Настоящее. Будущее. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-8> (дата обращения: 14.04.2020).
9. AVENSTON. Геотермальные электростанции. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://avenston.com/ru/articles/geothermal-pp-pros-cons/> (дата обращения: 15.04.2020).
10. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное

пособие/ - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 128.

11. Шерьязов. С.К., Шелубаев М.В. Использование ветроустановки в системе электроснабжения// Вестник КрасГАУ. 2010. — №4. С 210-213.

12. Соломин Е.В. Методологические основы разработки и создания вертикально-осевых ветроэнергетических установок для агропромышленного комплекса России: автореф. дис. на соиск. учен. степ. доктора техн. наук(12.11.12)/ Соломин Евгений Викторович; Барнаул, 2012. – С.3-4.

13. Ветровые электростанции [Электронный ресурс] режим доступа <http://viter.com.ua/energiya-vetra-i-solnca-v-ukraine-prakticheskij-primer-190.htm>. (Дата обращения: 20.10.2017).

14. Воронков Э.Н. (2017), «Солнечная энергетика может стать одним из ключевых факторов формирования нового технологического цикла», в сборнике: Промышленная энергетика. 2017. – С. 53.

15. Солнечная энергия в сельском хозяйстве.[Электронный ресурс] режим доступа <http://solarfox-energy.com/primenenie-solnechnoj-energii-v-selskom-hozyajstve/> (Дата обращения: 20.10.2019.).

16. Бессель В.В., Кучеров В.Г., Мингалеева Р.Д. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов: Учебно-методическое пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. – 90 с.

17. Андрей Повный. Как устроены и работают солнечные батареи [Электронный ресурс] режим доступа <https://recyclemag.ru/article/kak-ustroeny-i-rabotajut-solnechnye-batarei> (Дата обращения: 25.04.2020).

18. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

19. Местников Н.П., Нуруллин Э.Г. Исследование и моделирование процесса генерации ветровой и солнечной электростанции мощностью 650 Вт. В материалах X Международной научно-технической конференции



«Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2019» (МНТК «ИМТОМ–2019»). Ч. 2. – Казань, 2019. – С. 436-439.

20. Местников Н.П. Разработка децентрализованной системы электроснабжения для фермерских хозяйств федерального проекта «Дальневосточный гектар» и Республики Татарстан на основе использования нетрадиционных источников энергии. В сборнике VIII Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты»: сборник материалов Международной научно-практической конференции (19 сентября 2018 г.), – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2018 – С. 237.

21. Энергетика. Промышленность России. [Электронный ресурс] режим доступа: <https://www.eprussia.ru/epr/7/102.htm> (Дата обращения: 27.04.2020).

22. Местников Н.П. Разработка децентрализованной системы электроснабжения для фермерских хозяйств федерального проекта «Дальневосточный гектар» на основе использования дизельной и солнечной энергетики с суперконденсаторами. В материалах международной научно-практической конференции «НЗ4 Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» – Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 495.

23. Местников Н.П. Разработка децентрализованной системы электроснабжения малочисленных населенных пунктов Республики Саха (Якутия) с использованием гибридных станций с солнечными панелями и суперконденсаторами. В Материалы IX Международной молодежной научно-технической конференции. В 3-х томах. Ответственный редактор Э.В. Шамсутдинов. 2018. – С. 390. Издательство: Казанский государственный энергетический университет (Казань) – С. 390.

24. Местников Н.П., Нуруллин Э.Г., Разработка децентрализованной системы электроснабжения для фермерских хозяйств федерального проекта "Дальневосточный гектар" с использованием гибридной станции на основе возобновляемых источников энергии. В материалах III Международной научно-

практической конференции молодых ученых. 2018 Издательство: Альметьевский государственный нефтяной институт (Альметьевск) – С. 224.

25. Местников Н.П., Нуруллин Э.Г. (2019). Разработка децентрализованной системы электроснабжения малых населенных пунктов Республики Саха (Якутия) с использованием гибридных станций. В сборнике IV (XIX) Всероссийской научно-технической конференции студентов и магистрантов, г. Братск. 2019. – С. 149-156.

26. Нуруллин Э.Г., Основы научных исследований: Учебное пособие / Э.Г. Нуруллин, - Казань: Казанский ГАУ, 2017 – С. 108.

27. Калимуллин Л.В., Левченко Д.К., Смирнова Ю.Б., Тузикова Е.С. (2019), «Приоритетные направления, ключевые технологии и сценарии развития систем накопления энергии», В сборнике: Вестник ИГЭУ. – 2019. – С. 42-54.

28. Патент №2637489 Российская Федерация, МПК H02K 7/02 (2006.01.), H02J 15/00 (2006.01). Комбинированный накопитель энергии: №2016150749, 22.12.2016: заявл. 22.12.2016: опубл. 05.12.2017 / Надараиа Ц.Г., Шестаков И.Я., Фадеев А.А., Виноградов К.Н., Надараиа К.В., Селиванов А.И. – 6 с.: ил. Текст : непосредственный.

29. Местников Н.П., Нуруллин Э.Г. Разработка гибридной электростанции на основе параллельной работы ветровой, солнечной и дизельной энергетики для электроснабжения объектов федерального проекта «Дальневосточный Гектар. В сборнике тезисов Открытого конкурса научных работ среди обучающихся на соискание премии имени Н.И. Лобачевского / Лига студентов Респ. Татарстан, М-во по делам молодежи Респ. Татарстан ; сост. Г.Н. Исламова, вице-президент по науке и образованию РМОО «Лига студентов Респ. Татарстан» ; под ред. В.Е. Туманина, канд. истор. наук, доц., пред. Совета молодых ученых и специалистов Респ. Татарстан — Казань : Бук, 2019. — С. 278.

30. Макеева Ф. С. М15 Государственная инвестиционная политика : учебное пособие / Ф. С. Макеева. – Ульяновск : УлГУ, 2015. – 68 с.

Учебное издание  
**Местников** Николай Петрович

**ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**  
**В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА**  
Учебное пособие. Часть 2.

Дата подписания к использованию 06.09.2021.

Тираж 10 экз. Заказ №

Издательство  
Отпечатано с готовых оригинал-макетов  
в типографии ООО РИЦ «ОФСЕТ»  
677008, г. Якутск, ул. Билибина, 10А, тел. 36-92-91