

## ЗАДАНИЕ НА РГР

### Исходные данные:

Номинальная мощность = 5 кВт

Состав установки: Солн. эл., диз-ген., АБ

Количество солнечных дней: 325

Период автономной работы АБ = 6 сут

### Примечание:

1. Солн. эл. – солнечные элементы;  
Диз-ген – дизель-генераторная установка;  
АБ – аккумуляторная батарея;
2. Солнечные и ветреные дни распределяются в течение года равномерно;
3. Изменение скорости ветра в течение суток происходит по синусоидальному закону.

### Перечень вопросов, подлежащих проработке:

1. Структурная схема установки.
2. Определение параметров элементов установки.
3. Комплектация установки серийно производимыми изделиями.

## Оглавление

Введение.....	4
1. ОПИСАНИЕ И РАБОТА УСТАНОВКИ.....	5
2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА И МОЩНОСТЕЙ РАБОТЫ УСТАНОВОК.....	7
3. ИССЛЕДОВАНИЕ, РАСЧЁТ И ВЫБОР СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ...8	
3.1. СОЛНЕЧНЫЕ МОДУЛИ.....	10
3.2. ВИДЫ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ.....	12
3.3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ В СОЛНЕЧНОМ СПЕКТРЕ.....	15
3.4. МОЩНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	17
3.5. РАСЧЁТ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	18
4. АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ.....	21
4.1. РАСЧЁТ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ.....	24
4.2. ВЫБОР АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ.....	25
5. ВЫБОР ИНВЕРТОРА.....	28
6. ВЫБОР ДИЗЕЛЬ ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.....	30
Заключение.....	37

## **Введение**

Проблема обеспечения электрической энергией многих отраслей мирового хозяйства, постоянно растущих потребностей более чем шестимиллиардного населения Земли становится сейчас все более насущной. Основу современной мировой энергетики составляют тепло- и гидроэлектростанции. Однако их развитие сдерживается рядом факторов. Стоимость угля, нефти и газа, на которых работают тепловые станции, растет, а природные ресурсы этих видов топлива сокращаются. К тому же многие страны не располагают собственными топливными ресурсами или испытывают в них недостаток.

Автономные источники энергии, такие как генераторы являются так же используют в качестве горючего бензин, газ или дизельное топливо, цены на которые растут с каждым годом.

Автономные источники энергии, такие как дизельные электростанции пользуются огромным спросом, но цены на нефтепродукты растут с каждым годом, что осложняет выбор и использование данного источника энергии. Применяют дизель генераторы как основной или резервный источник питания, используют их простые люди, живущие в частных домах, и владельцы всяческих предприятий.

Таким образом люди всё больше и больше дополняют дизель-генераторные установки «помощниками», в виде ветрогенераторов или солнечных батарей.

Целью данной работы является разработка системы автономного электроснабжения помещения, будь то загородный дом, либо офис.

Задачи:

- Знакомство с основными компонентами солнечной электростанции;
- Создание структурной схемы системы автономного электроснабжения;
- Расчёт параметров системы и подбор компонентов;

## 1. Описание и работа установки

Согласно заданию система электроснабжения должна включать в себя солнечные элементы, дизель-генераторную установку и аккумуляторную батарею. Режим работы установки обеспечивает поочерёдное включение её элементов, а также автономную работу. В результате изучения подобных систем, была разработана структурная схема установки.

**Солнечная батарея** — несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) — полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток, в отличие от солнечных коллекторов, производящих нагрев материала-теплоносителя. Действуя по принципу р-п перехода преобразует энергию солнечного света в постоянный электрический ток.

**Аккумуляторные батареи** используются во всех ветряных и солнечных системах автономного электроснабжения. Если бы аккумуляторы не использовались, то энергия от солнечных панелей была бы доступна только днём. На практике энергия хранится в аккумуляторах, которые отдают её в тот момент, когда это нужно потребителю. Это обеспечивает большую надёжность таких систем энергообеспечения.

**Контроллер** позволяет электроэнергии, вырабатываемой солнечной батареей передаваться накопительным аккумуляторным батареям.

**Инвертор** преобразует постоянный электрический ток, вырабатываемый солнечными элементами в требуемый потребителю переменный с напряжением 220В.

**Дизель-генераторная установка** работает на протяжении всего года и является главным источником электроснабжения. Также она оснащена системой автоматического включения/отключения и будет «помогать» солнечным батареям в случае необходимости.

Электроэнергия, вырабатываемая солнечной батареей, может передаваться накопительным аккумуляторным батареям:



Рисунок 1 – Структурная схема автономной системы электроснабжения

В итоге система автономного обеспечения имеет 2 первичных (Солнечную батарею и дизель-генератор) и один вторичный источник энергии (аккумуляторную батарею), которая исполняет роль как буферного элемента, так и дополнительного источника энергии в часы пиковой нагрузки.

## 2. Распределение периодичности работы установки и мощностей её элементов

Проектирование энергоустановки предполагает распределение мощностей в течение года между её элементами. Из условий задания, период работы солнечных элементов составляет 325 дней, дизель-генератора 359 дней и аккумуляторной батареи 6 дней.

Количество солнечных дней составляет 325, потребитель находится в средних широтах, что говорит об актуальности использования системы автономного электроснабжения.

Для бесперебойного снабжения электроэнергией потребителя в течение 6-ти дней важно, чтобы солнечные элементы сделали запас данной энергии в аккумуляторные батареи.

В систему также включена дизель-генераторная установка для поддержания работы солнечных элементов и аккумуляторов.

Так, мощность системы распределится следующим образом:

$P_{СБ} = 1.5\text{кВт}$  – мощность солнечных батарей;

$P_{ДГУ} = 3\text{кВт}$  – мощность дизель-генераторной установки

### **3. Исследование, расчёт и выбор солнечных элементов электростанции**

**Солнечная электростанция** — инженерное сооружение, преобразующее солнечную радиацию в электрическую энергию. Способы преобразования солнечной радиации различны и зависят от конструкции электростанции.

В данной работе используется солнечная электростанция на фотоэлектрических модулях.

СЭС этого типа в настоящее время очень распространены, так как в общем случае СЭС состоит из большого числа отдельных модулей (фотобатарей) различной мощности и выходных параметров. Данные СЭС широко применяются для энергообеспечения как малых, так и крупных объектов (частные коттеджи, пансионаты, санатории, промышленные здания и т. д.). Устанавливаться фотобатареи могут практически везде, начиная от кровли и фасада здания и заканчивая специально выделенными территориями. Установленные мощности тоже колеблются в широком диапазоне, начиная от снабжения отдельных насосов, заканчивая электроснабжением городов.

Наиболее эффективными, с энергетической точки зрения, устройствами для превращения солнечной энергии в электрическую являются полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), поскольку это прямой, одноступенчатый переход энергии. КПД

производимых в промышленных масштабах фотоэлементов в среднем составляет 16 %, у лучших образцов до 25 %.

#### Физический принцип работы фотоэлемента

Преобразование энергии в ФЭП основано на фотоэлектрическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения.

Неоднородность структуры ФЭП может быть получена легированием одного и того же полупроводника различными примесями (создание p-n переходов) или путём соединения различных полупроводников с неодинаковой шириной запрещённой зоны — энергии отрыва электрона из атома (создание гетеропереходов), или же за счёт изменения химического состава полупроводника, приводящего к появлению градиента ширины запрещённой зоны (создание варизонных структур). Возможны также различные комбинации перечисленных способов.

Эффективность преобразования зависит от электрофизических характеристик неоднородной полупроводниковой структуры, а также оптических свойств ФЭП, среди которых наиболее важную роль играет фотопроводимость. Она обусловлена явлениями внутреннего фотоэффекта в полупроводниках при облучении их солнечным светом.

Основные необратимые потери энергии в ФЭП связаны с:

- отражением солнечного излучения от поверхности преобразователя,
- прохождением части излучения через ФЭП без поглощения в нём,
- рассеянием на тепловых колебаниях решётки избыточной энергии фотонов,
- рекомбинацией образовавшихся фото-пар, на поверхностях и в объёме ФЭП,
- внутренним сопротивлением преобразователя,
- и некоторыми другими физическими процессами.

Для уменьшения всех видов потерь энергии в ФЭП разрабатываются и успешно применяются различные мероприятия. К их числу относятся:

- использование полупроводников с оптимальной для солнечного излучения шириной запрещённой зоны;
- направленное улучшение свойств полупроводниковой структуры путём её оптимального легирования и создания встроенных электрических полей;
- переход от гомогенных к гетерогенным и варизонным полупроводниковым структурам;
- оптимизация конструктивных параметров ФЭП (глубины залегания p-n перехода, толщины базового слоя, частоты контактной сетки и др.);
- применение многофункциональных оптических покрытий, обеспечивающих просветление, терморегулирование и защиту ФЭП от космической радиации;
- разработка ФЭП, прозрачных в длинноволновой области солнечного спектра за краем основной полосы поглощения;
- создание каскадных ФЭП из специально подобранных по ширине запрещённой зоны полупроводников, позволяющих преобразовывать в каждом каскаде излучение, прошедшее через предыдущий каскад, и пр.;

### **3.1 Солнечные модули**

Модули солнечной батареи наземного применения как правило конструируются для зарядки свинцово-кислотных аккумуляторных батарей с номинальным напряжением 12В. При этом последовательно соединяются 36 солнечных элементов, и далее собираются в модуль. Полученный пакет как правило обрамляют в алюминиевую раму, облегчающую крепление к несущей (опорной) конструкции. Мощность модулей солнечной батареи может достигать 10-300Вт.

Электрические параметры таких модулей отражаются в вольтамперной характеристике, определенной при стандартных условиях (т.е. когда мощность солнечной радиации равняется 1000 Вт/м<sup>2</sup>, температура элементов

- 25°C и солнечный спектр - на широте 45°) (рисунок 2). Точка пересечения кривой с осью напряжения называется напряжением холостого хода  $V_{х.х.}$ , а с осью тока - током короткого замыкания  $I_{к.з.}$ . На этом же графике приведена кривая мощности, получаемой от солнечных элементов в зависимости от нагрузки. Номинальная мощность модуля определяется как наибольшая мощность при стандартных условиях. Значение напряжения, соответствующее максимальной мощности именуется рабочим напряжением  $U_p$ , а соответствующий ток - рабочим током  $I_p$ . Значение рабочего напряжения для модуля, состоящего из 36 элементов примерно равно 16-17В (0,45-0,47В/элемент) при 25°C. Такой запас по напряжению нужен для того, чтобы компенсировать уменьшение рабочего напряжения при разогреве модуля солнечным излучением. Температурный коэффициент напряжения холостого хода для кремния составляет - минус 0,4%/градус. Температурный коэффициент тока - плюс 0,07 %/градус. Напряжение холостого хода солнечного модуля мало меняется при изменении освещенности, в то время как ток короткого замыкания прямо пропорционален. КПД солнечного модуля определяется как отношение максимальной мощности модуля к общей мощности излучения, падающей на его поверхность при стандартных условиях, и составляет 15-40%.



Рисунок 2 – Вольт-амперная характеристика солнечной батареи

С целью получения требуемой мощности и рабочего напряжения модули соединяют последовательно или параллельно. Так получают солнечную батарею. Мощность солнечной батареи всегда ниже, чем сумма мощностей модулей - из-за потерь, обусловленных различием в характеристиках однотипных модулей (потерь на рассогласование). Чем

тщательнее подобраны модули в батарее (то есть, чем меньше различие в характеристиках модулей), тем ниже потери на рассогласование. К примеру, при последовательном соединении десяти модулей с разбросом характеристик 10% потери составляют примерно 6%, а при разбросе 5% - снижаются до 2%.

### **3.2 Виды солнечных батарей**

#### ***Монокристаллический кремний***

Наиболее эффективными и распространенными для широкого потребления являются монокристаллические кремниевые элементы. Для изготовления таких элементов кремний очищается, плавится и кристаллизуется в слитках, от которых отрезают тонкие слои. Внешне монокристаллические элементы выглядят как однотонная поверхность темно-синего или почти черного цвета. Сквозь кремний проходит сетка из металлических электродов. Эффективность такого элемента составляет от 16 до 19% в стандартных условиях тестирования (прямой солнечный свет, +25 °С).

Производительность таких солнечных панелей за каждые 20-25 лет службы постепенно снижается, по некоторым данным на пол-процента в год, а общий заявляемый срок службы таких панелей у хороших производителей составляет обычно 40-50 лет.

Действительно ли монокристаллические солнечные панели служат так долго? На самом деле большинство солнечных панелей, используемых сегодня не работали 50 лет. В распоряжении нашей компании есть солнечная панель, которая работает свыше 10 лет и еще не показала видимого снижения мощности. Исследования компании Brightstar Solar (2009) показали, что произведенные 40 лет назад монокристаллические солнечные панели до сих пор работают и их мощность составляет около 80% от изначальной.

Так что на сегодня монокристаллические солнечные панели - это самый надежный источник получения электроэнергии от солнца.

### ***Поликристаллический кремний***

Технология принципиально не отличается от монокристаллических элементов, но разница состоит в том, что для изготовления используется менее чистый и более дешевый кремний. Внешне это уже не однотонная поверхность, а узор из границ множества кристаллов. Эффективность такого элемента составляет от 14 до 15%. Тем не менее эти панели пользуются примерно такой же популярностью на рынке, что и монокристаллические, поскольку пропорционально эффективности снижается цена производства.

В России перспективнее все же использовать монокристаллические панели, поскольку при неразвитости собственного производства и больших расстояниях целесообразнее ввозить и транспортировать более эффективные панели.

### ***Ленточный кремний***

Принципиально такой же как и предыдущие типы, отличается лишь тем, что кремний не нарезается от кристалла, а наращивается тонким слоем в виде ленты. Антибликовое покрытие дает радужную окраску таким панелям. Эта технология не смогла завоевать рынок, занимая на нем лишь около 2% и постепенно снижается. В России почти не встречается.

### ***Аморфный кремний***

В этом типе используются не кристаллы, а тончайшие слои кремния, напыленные в вакууме на пластик, стекло или металл. Этот тип является наиболее дешевым в производстве, но обладает серьезным недостатком. Слои кремния выгорают на свету значительно быстрее, чем у предыдущих типов. Снижение производительности на 20% может произойти уже через два месяца у худших производителей. Очень часто в России привлеченные низкой ценой люди приобретают такие панели и потом разочаровываются, поскольку уже через год-два такой элемент перестает давать энергию. Распознать такую панель на вид можно по более блеклому сероватому или темному цвету непонятных оттенков.

Бывают ли качественные солнечные панели из аморфного кремния? Бывают. При этом стоят дороже и продавцы описывают их в восторженных тонах. Тем не менее по эффективности и срокам службы самые качественные панели из аморфного кремния не могут сравниться с моно или поликристаллическими. Эффективность панелей из аморфного кремния - 6-9%, то есть для получения такого же количества энергии по сравнению с монокристаллическими панелями требуется в два-три раза больше площадь. Срок службы может составлять 10-15 и более лет, но за это время мощность значительно падает. Как правило производители заявляют для панелей из аморфного кремния заниженную мощность, которая ниже чем фактическая. Но за счет деградации и падения мощности в первые несколько месяцев эти значения постепенно выравниваются.

Панели из аморфного кремния лучше всего использовать в пустынях, где много солнца и много места. Для частных проектов на ограниченной территории монокристаллические панели оказываются выгоднее, поскольку служат гораздо дольше и занимают гораздо меньше места.

### ***Тонкопленочные технологии***

Тонкопленочные солнечные фотоэлектрические элементы могут производиться из разных веществ. Чаще всего из аморфного кремния. Но также могут быть из медно-галлиевые, теллур-кадмиевые и другие. Тонкопленочные технологии солнечных элементов обладают следующими преимуществами:

их можно использовать для создания гибких модулей, которые можно складывать или сворачивать, что удобно для поездок, хотя и повышает риск порчи элементов и сокращает срок их службы

тонкие слои производящего электричество вещества можно наносить на стекло, которое будет прозрачным и в то же время производить энергию, правда количество этой энергии довольно мало и поэтому такое применение мало практично.

изначально тонкопленочные технологии разрабатывались для удешевления производства солнечных элементов в то время как моно и поли кристаллические элементы были дорогими, но с ростом рынка стоимость производства тонкопленочных модулей оказалась незначительно ниже.

Стоит ли использовать тонкопленочные солнечные модули? Смотря для каких целей. Например, сворачиваемую панель для зарядки ноутбука в поездке вполне. Можно поставить и стекла, генерирующие электричество, будет круто, только не надо ожидать чудес, электричества может быть будет достаточно для лампочки.

Для стабильного обеспечения электричеством дома использовать тонкопленочные (тонкослойные) модули (из аморфного кремния) не стоит. У тонкопленочных срок службы штатной мощности – 10...15 лет от самых лучших производителей. В то время как моно и поликристаллические служат 25...40 лет. Обратите внимание, ни в одной рекламе аморфного кремния или тонкопленочных технологий не пишут о сроке службы, потому что это их основной недостаток - постепенное падение мощности уже после первых лет работы.

### ***Теллурид кадмия***

Этот тип тонкослойных солнечных элементов обладает потенциально большей эффективностью и в качестве проводящего компонента использует оксид олова. Эффективность составляет 8...11%. По себестоимости эти элементы не намного дешевле моно- и поли- кристаллических кремниевых и обладают проблемой использования токсичного кадмия. Сейчас этот тип элементов занимает менее 5% общего рынка. Допуск таких панелей в Россию нежелателен в первую очередь из-за отечественного неумения обращаться с потенциально токсичной продукцией.

### ***Другие солнечные элементы***

Помимо вышеперечисленных есть еще много различных солнечных элементов, не получивших большого распространения. Потенциально

перспективными являются медно-галлиевые, концентрирующие, композитные и некоторые другие элементы.

### **3.3 Распределение энергии в солнечном спектре**

Солнечный спектр является практически непрерывным в крайне широком диапазоне частот — от низкочастотного радиоволнового до сверхвысокочастотного рентгеновского и гамма-излучения. Безусловно, трудно одинаково эффективно улавливать столь разные виды излучения (пожалуй, это можно осуществить лишь теоретически с помощью «идеального абсолютно чёрного тела»). Но это и не надо — во-первых, само Солнце в разных частотных диапазонах излучает с различной силой, а во-вторых, не всё, что излучило Солнце, достигает поверхности Земли — отдельные участки спектра в значительной степени поглощаются разными компонентами атмосферы — преимущественно парами воды, углекислым газом и в так называемом «озоновом слое».

Поэтому нам достаточно определить те диапазоны частот, в которых наблюдается наибольший поток солнечной энергии у поверхности Земли, и использовать именно их. Традиционно солнечное и космическое излучение разделяется не по частоте, а по длине волны (это связано со слишком большими показателями степени для частот этого излучения, что весьма неудобно — видимому свету в герцах соответствует 14-й порядок). Посмотрим же зависимость распределения энергии от длины волны для солнечного излучения.

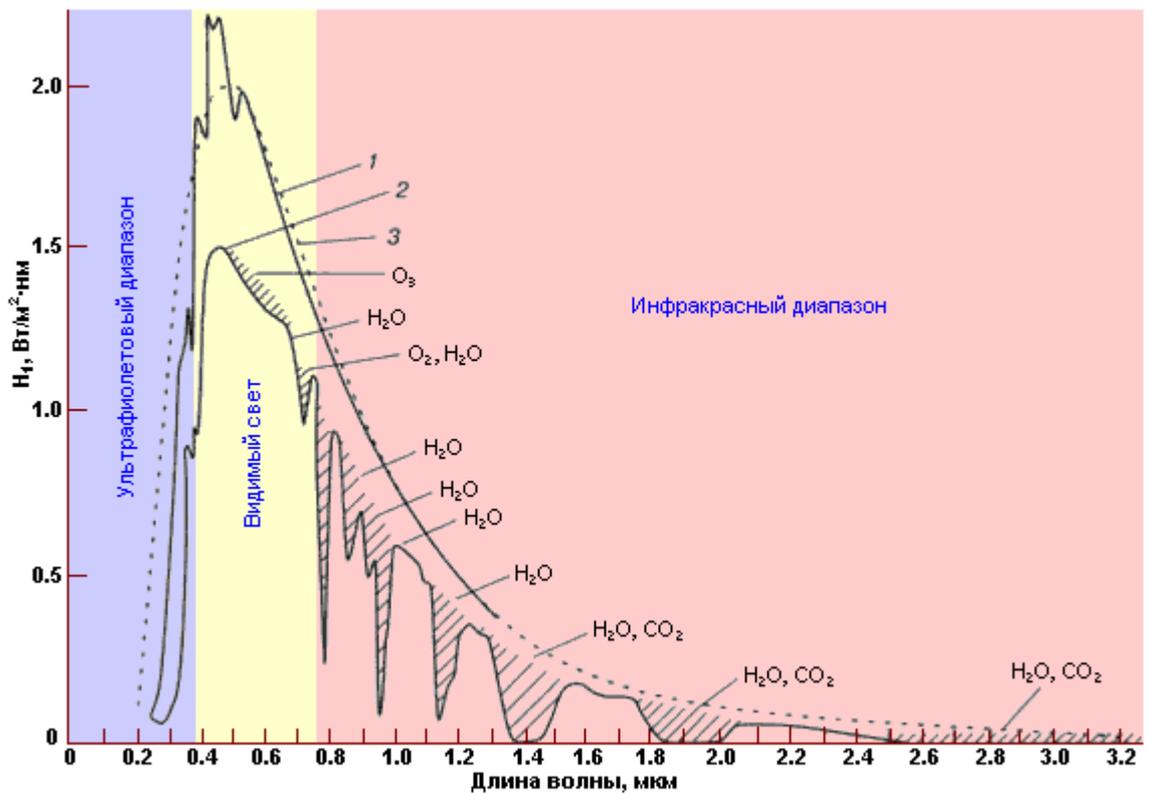


Рисунок 3 - Интенсивность падающего на Землю солнечного излучения ( $H_1$ ) в зависимости от длины волны.

Заштрихованные области соответствуют участкам спектра, ненаблюдаемым на уровне моря из-за их поглощения указанными компонентами атмосферы. 1 – солнечное излучение за границей атмосферы, 2 – солнечное излучение на уровне моря, 3 – излучение абсолютно черного тела при 5900 К.

### 3.4 Мощность солнечного излучения

Мощность излучения Солнца, находящегося в зените, у поверхности Земли оценивается примерно в  $1350 \text{ Вт/м}^2$ . Простой расчёт показывает, что для получения мощности 10 кВт необходимо собрать солнечное излучение с площади всего лишь  $7,5 \text{ м}^2$ . Но это – в ясный полдень в тропической зоне высоко в горах, где атмосфера разрежена и кристально прозрачна. Как только Солнце начинает склоняться к горизонту, путь его лучей сквозь атмосферу увеличивается, соответственно, возрастают и потери на этом пути. Присутствие в атмосфере пыли или паров воды, даже в неощутимых без

специальных приборов количествах, ещё более снижает поток энергии. Однако и в средней полосе в летний полдень на каждый квадратный метр, ориентированный перпендикулярно солнечным лучам, приходится поток солнечной энергии мощностью примерно 1 кВт.

Конечно, лёгкая облачность в разы уменьшает количество энергии, достигшей поверхности, особенно в инфракрасном (тепловом) диапазоне. Тем не менее, часть энергии всё равно проникает сквозь тучи. В средней полосе в облачный летний полдень мощность солнечного излучения, дошедшего до поверхности Земли, оценивается примерно в 100 Вт/м<sup>2</sup>. Очевидно, что в таких условиях для получения 10 кВт необходимо полностью, без потерь и отражения, собирать солнечное излучение уже с целой сотки (100 м<sup>2</sup>). Но и эта оценка достаточно усреднена, поскольку при особо плотной облачности или когда солнце стоит низко над горизонтом, поток солнечной энергии может опускаться намного ниже этой величины. Если же брать наихудший случай, то во избежание неприятных сюрпризов «гарантированный минимум» засветки на значительной части территории России в пасмурный зимний полдень следует оценивать не более 20 Вт/м<sup>2</sup>, и это для панелей, установленных под оптимальным углом (хотя обычно дела обстоят намного лучше).

### **3.5 Расчёт солнечных элементов**

Инсоляцией (от латинского *in solo* – выставляю на солнце) называется облучение параллельным пучком лучей, поступающих с направления солнечного диска. Инсоляция значительно изменяется при переходе от одной точки земной поверхности к другой. Просторы Кубани получают значительно больше света, чем например Москва, Казань или Якутск.



Рисунок 4 – Распределение солнечной радиации

По статистическим данным можно увидеть, что для Новосибирска коэффициент инсоляции  $K_{инс}=3,5...4$ . В расчёт будем брать минимальный коэффициент, равный 3,5.

Сами солнечные батареи вырабатывают солнечную энергию только в светлое время суток. И выдают свою паспортную мощность только при наличии чистого неба и падении солнечных лучей под прямым углом. При падении солнца под углами мощность и выработка электроэнергии заметно падает, и чем острее угол падения солнечных лучей тем падение мощности больше. В пасмурную погоду мощность солнечных батарей падает в 15...20 раз, даже при лёгких облачках и дымке мощность солнечных батарей падает в 2...3 раза, и это всё надо учитывать.

При расчёте лучше брать рабочее время, при котором солнечные батареи работают почти на всю мощность, равным 7 часов, это с 9 утра до 4 часов вечера. Панели конечно летом будут работать от рассвета до заката, но утром и вечером выработка будет совсем небольшая, по объёму всего 20-30% от общей дневной выработки, а 70% энергии будет вырабатываться в интервале с 9 до 16 часов.

Также необходимо учесть потери полученной от солнечных батарей энергии в аккумуляторах, и на преобразовании постоянного напряжения в переменное 220в, общие потери составят порядка 40%.

Таким образом принимаем в расчёт количество солнечных часов  $t_{\text{расч}} = 7$ , потери около 40%.

### **Расчёт:**

Номинальная требуемая мощность:

$$P_{\text{ном}} = 5 \text{ кВт.}$$

Вырабатываемая энергия за солнечный день:

$$A_{\text{с. бат}} = P_{\text{ном}} \cdot N_{\text{солн. час}} = 5 \cdot 10^3 \cdot 7 = 35 \text{ кДж.}$$

С учётом потерь требуемая энергия в летний период в солнечные дни:

$$A_{\text{с. бат. } \Sigma} = \kappa_{\text{пот}} \cdot A_{\text{с. бат}} = 1,4 \cdot 35 \cdot 10^3 = 49 \text{ кДж.}$$

Чтобы добиться требуемой энергии в зимний период необходимо увеличить расчётную требуемую мощность вдвое.

### **Расчёт и выбор панелей.**

Расчётное количество солнечных панелей при выбранной мощности одной

$P_{\text{пан}} = 250 \text{ Вт:}$

$$N_{\text{расч}} = 2 P_{\text{ном}} / P_{\text{пан}} = 2 \cdot 5 \cdot 10^3 / 250 = 40 \text{ шт.}$$

Произведём уточняющий расчёт солнечного элемента с учётом коэффициента инсоляции для своего региона ( $K_{\text{инс}} = 3,5$ ), тогда мощность:

$$P_{\text{СЭ}} = K_{\text{инс}} P_{\text{ном}} = 250 \cdot 3,5 = 875 \text{ Вт.}$$

Требуемое количество солнечных панелей:

$$N_{\text{расч}} / K_{\text{инс}} = 40 / 3,5 = 11,4 \text{ шт.}$$

Принимаем  $N_{\text{тр}} = 12 \text{ шт.}$

Таким образом наиболее приемлемым вариантом станет поликристаллическая солнечная батарея 250 Вт, производства *Chinaland Solar Energy* Модель: *CHN250-60P*.

### **Параметры солнечной батареи CHN250-60P:**

Тип элементов:	кремниевые поликристаллические
----------------	--------------------------------

	<u>солнечные</u> элементы Grade A++ 156x156 мм.
Число элементов и соединений:	60 (6x10)
Эффективность элементов (КПД):	17.64%
Максимальная мощность при стандартных условиях (STC), Вт:	250
Напряжение разомкнутой цепи ( $U_{oc}$ ), В:	36.3
Ток короткого замыкания ( $I_{sc}$ ), А:	8.71
Напряжение в точке максимальной мощности ( $U_{mp}$ ), В:	30.6
Ток в точке максимальной мощности ( $I_{mp}$ ), А:	8.17
Размер солнечного модуля, мм.:	1640 x 990 x 35
Вес, кг:	21.0
Температура эксплуатации:	от -40°C до +85°C
Максимальное напряжение системы:	1000 В постоянного тока
Температура нормальных условий (NOCT):	45°C±2°C
Температурный коэффициент напряжения, %/К:	-0.34
Температурный коэффициент тока, %	+0,06
Температурный коэффициент мощности, %/К:	-0.44
Тип выходных контактов:	герметичная соединительная коробка
Тип кабеля:	2 кабеля PVI-F(4.0mm <sup>2</sup> ) по 90 см
Тип разъемов кабеля:	2 разъема type IV (MC4 – папа и мама)

Стоимость: 16190р. · 12 шт. = 194280р.

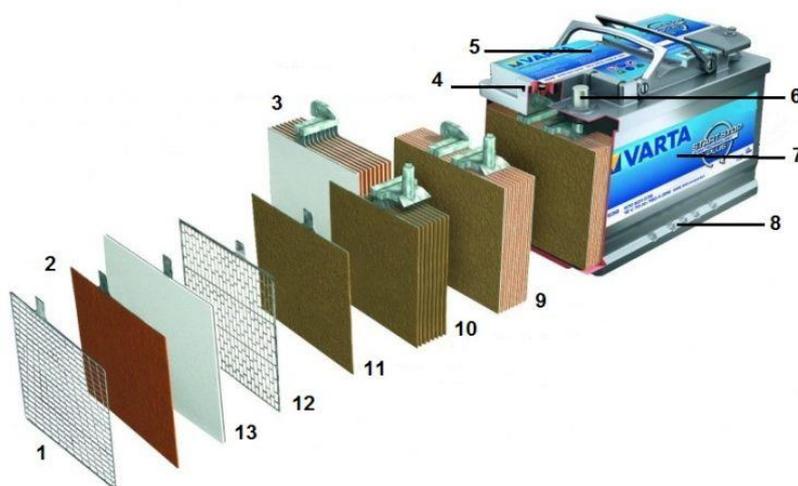
#### 4. Аккумуляторная батарея

Электрический аккумулятор — химический источник тока (на самом деле источник напряжения) — источник ЭДС многоразового действия, основная специфика которого заключается в обратимости внутренних химических процессов, что обеспечивает его многократное циклическое использование (через заряд-разряд) для накопления энергии и автономного электропитания различных электротехнических устройств и оборудования, а

также для обеспечения резервных источников энергии в медицине, производстве и в других сферах.

Аккумуляторная батарея – группа однотипных электрических аккумуляторов, соединённых электрически и конструктивно для получения необходимых значений тока и напряжения.

### Устройство АКБ:



Каждая батарея состоит из шести последовательно соединенных аккумуляторов, объединенных в одном корпусе. Корпус изготавливается из пропилена, стойкого к кислоте и не проводящего ток. Отдельный аккумулятор объединяет чередующиеся положительные и отрицательные электроды, покрытые слоем активной массы. Изоляцию пластин противоположной полярности обеспечивает пластмассовый сепаратор.

Электроды изготавливаются из свинцового сплава. В современных аккумуляторах положительные и отрицательные электроды изготавливаются из свинцово-кальциевого сплава. Такие батареи имеют низкий уровень саморазряда (потеря 50% емкости за 18 месяцев) и минимальный расход воды (1 г/А·ч). Это дает возможность полностью исключить добавление воды за период эксплуатации – необслуживаемая аккумуляторная батарея.

Реже можно встретить более дешевую конструкцию, т.н. гибридную аккумуляторную батарею. В ней положительные электроды свинцово-

сурмяные, а отрицательные – свинцово-кальциевые. В таких батареях расход воды в полтора-два раза больше кальциевой батареи, но они также не требуют обслуживания.

Для повышения стойкости электродов к коррозии в свинцово-кальциевый сплав может добавляться серебро, олово.

Электроды имеют решетчатую структуру. Технологии изготовления положительных и отрицательных электродов отличаются. Решетка отрицательных электродов по технологии *Expanded metal* получается путем просечки свинцового листа с последующей растяжкой.

При производстве положительных электродов используется несколько технологий. Самая совершенная технология *Power Frame*. Каждый электрод *Power Frame* имеет опорную раму и внутренние жилки определенной направленности, чем достигается высокая жесткость и минимальное линейное расширение. Более простые электроды, изготовленные по технологии *Power Pass* (вертикальные жилки стягиваются к ушку электрода), *Chess Plate* (жилки электродов расположены в шахматном порядке).

Каждый электрод покрывает слой активной массы. У положительных электродов активная масса состоит из диоксида свинца. В отрицательных пластинах активная масса представлена губчатым свинцом.

Электроды помещены в электролит, в качестве которого используется раствор серной кислоты. Электролит имеет определенную плотность, которая изменяется в зависимости от степени заряженности аккумуляторной батареи (чем выше заряженность, тем выше плотность).

В зависимости от физического состояния электролита различают два вида аккумуляторных батарей: с жидким электролитом и с пропитавшим специальный материал (нежидким) электролитом. Сегодня наиболее распространены аккумуляторные батареи с жидким электролитом.

Зарядка аккумуляторной батареи сопровождается газообразованием. Отвод газов от аккумуляторной батареи осуществляется с помощью системы

вентиляции. Центральная система вентиляции соединяет каждый отдельный аккумулятор в составе батареи с атмосферой. За счет предохранительных клапанов система герметична. Клапан устанавливается в пробке аккумулятора и срабатывает при определенном избыточном давлении.

Система вентиляции лабиринтной конструкции более совершенна. Она обеспечивает конденсацию выходящих паров и возвращение жидкости обратно в аккумулятор. Отдельные аккумуляторные батареи оборудуются пламегасителем, который в случае возгорания выходящих паров отсекает пламя от батареи и не пускает его внутрь. Пламегаситель устанавливается на выходе вентиляционной системы и представляет собой мембрану из особого материала.

Подключение аккумуляторной батареи к электрической сети производится с помощью двух свинцовых выводов. Положительный вывод всегда толще отрицательного, что исключает ошибку при подключении батареи. Полярность (расположение) выводов может быть прямой или обратной. При прямой полярности положительный вывод батареи расположен слева, при обратной полярности справа. Необходимо помнить, что длина проводов, которыми подключается аккумулятор, рассчитана на определенную полярность.

### **Принцип действия:**

Принцип действия аккумуляторной батареи основан на преобразовании электрической энергии в химическую энергию при заряде и наоборот химической энергии в электрическую при разряде. Работа аккумуляторной батареи носит циклический характер: разряд-заряд.

Разряд происходит при подключении потребителей. При разряде активная масса положительных (диоксид свинца) и отрицательных (губчатый свинец) электродов взаимодействует с электролитом. При этом образуется сульфат свинца и вода, плотность электролита уменьшается.

Работа аккумуляторной батареи зависит от температуры окружающего воздуха. При повышении температуры увеличивается отдаваемая мощность,

но вместе с ней увеличивается саморазряд и коррозия электродов. Понижение температуры сопровождается снижением разрядной емкости, замедлением химических процессов и уменьшением плотности электролита.

При отсутствии нагрузки процессы в аккумуляторной батарее продолжают - происходит ее саморазряд. Величина саморазряда зависит от температуры окружающего воздуха и конструкции батареи (электродов).

Срок службы аккумуляторной батареи составляет в среднем 4-5 лет и во многом зависит от режима эксплуатации.

#### 4.1 Расчёт аккумуляторной батареи

*По условию задания необходимо произвести расчёт с учётом автономной работы системы только на аккумуляторной батарее в течение 6 суток.*

Суточное потребление системы энергии:

$$E_{\text{сут}} = 3600 P_{\text{ном}} \cdot t_{\text{сут}} = 3600 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 24 = 432 \text{ МДж},$$

а в течение 6 суток автономной работы  $E_{\text{авт}} = 2,592 \text{ ГДж}$ .

Для обеспечения однофазного напряжения сети  $U = 220 \text{ В}$ , амплитудное значение которого составляет  $U_{\text{ампл}} = 1,41 \cdot U = 308 \text{ В}$  аккумуляторы необходимо соединить последовательно. Принято решение использовать аккумулятор номинальным напряжением  $U = 12 \text{ В}$ . Тогда последовательно необходимо соединить

$$n_{\text{послед}} = U_{\text{ампл}} / U = 308 / 12 = 25,6 \text{ шт.}$$

Принимаем  $n_{\text{послед}} = 26 \text{ шт.}$

Для обеспечения потребления энергии автономно в течение 6 суток только от аккумуляторов требуется заряд

$$Q_{\text{авт}} = E_{\text{авт}} / U_{\text{ампл}} = 2,592 \cdot 10^9 / 308 = 8,416 \cdot 10^6 \text{ кулон} = 2338 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Решено использовать аккумулятор ёмкостью  $Q_{\text{ак}} = 250 \text{ А} \cdot \text{ч}$ . Тогда необходимо параллельно соединить

$$n_{\text{пар}} = Q_{\text{авт}} / Q_{\text{ак}} = 2338 / 250 = 9,235 \approx 10 \text{ шт.}$$

Поскольку эксплуатацию аккумуляторной батареи предполагается производить в отдельном закрытом помещении со стабильной температурой, то увеличения количества аккумуляторов с учётом понижения их энергоотдачи в холодный период не предполагается.

## 4.2. Выбор аккумуляторной батареи

В соответствии с расчётами, аккумулятор должна иметь ёмкость 250 А·ч и номинальное напряжение 12В. По проведённому анализу рынка был выбран аккумулятор Delta GX 12-250.



### Описание:

Аккумулятор Delta GX 12-250 аккумуляторная батарея гелевая, изготовлена по технологии GEL - серная кислота электролита загущена и представляет собой гелевую композицию, которой обмазаны пластины аккумулятора. Аккумуляторные батареи Delta GX12 250 хорошо восстанавливают ёмкость после глубоких разрядов (аккумулятор глубокого разряда 250А/ч). Предназначены для работы как в буферном, так и в циклическом режимах. Идеален как необслуживаемый аккумулятор для солнечной батареи, аккумулятор для систем бесперебойного питания ИБП 12V 250Ah, аккумулятор 250 А/ч для инверторных систем, аккумуляторы для дачи, аккумулятор для резервного питания дома. Лучше чем аккумуляторы AGM работают при отрицательных температурах. Рабочий диапазон температур от - 20 до + 65°C. Аналог аккумуляторной батареи GX 12-250 -

аккумулятор изготовленный по технологии AGM на производственных линиях Panasonic - Прогресс PB12250 . Развиваемая мощность полностью заряженного аккумулятора ёмкостью 250Ah при 80% разряде около 1.8 кВт.

Таблица – Технические характеристики аккумулятора Delta GX

Бренд	Delta
Ёмкость АКБ	250Ач
Номинальное напряжение	12В
Тип аккумулятора	Гелевый
Номинальное напряжение, В	12
Ёмкость АКБ, Ач	250
Габаритные размеры блока, мм	522x238x223
Масса блока, кг	74
Средний срок службы, лет, не менее	10
Рабочая температура, °С	-20 — +60

Стоимость:  $S_{\text{так}} = 20000\text{р.} \cdot 260 \text{ (шт.)} = 5,20 \text{ млн. р.}$

## 5. Выбор инвертора

Солнечный генератор (каким бы сложным и большим он не был) может вырабатывать лишь постоянный ток. К счастью, имеется много потребителей, использующих именно постоянный ток (зарядка аккумуляторов, освещение, радиоаппаратура и т.д.), но потребителей переменного напряжения 220В не меньше. Для преобразования постоянного тока аккумуляторной батареи в переменный синусоидальной формы, нужен инвертор.

**Инверторы** - полупроводниковые приборы. Они могут быть поделены на два типа в соответствии с типом фотоэлектрических систем:

- инверторы для автономных систем солнечных батарей;
- инверторы для сетевого использования.

Выходной каскад у обоих типов во многом похож, а основное отличие в схеме управления. Первый тип имеет генератор частоты, а второй должен работать синхронно с промышленной сетью (и в качестве генератора частоты использует саму сеть).

Для всех типов ключевой параметр - КПД (который должен быть более 90%). Выходное напряжение автономных инверторов как правило составляет 220В (50/60 Гц), а в инверторах мощностью 10-100кВт можно получать трехфазное напряжение 380В. Все автономные инверторы трансформируют постоянный ток аккумуляторных батарей. Вследствие этого входное напряжение выбирается из ряда 12, 24, 48 и 120В. Чем больше входное напряжение, тем проще инвертор и тем выше его КПД. При больших напряжениях существенно меньше потери на передачу энергии от солнечного генератора к аккумуляторной батарее, регулятору зарядки и инвертору, однако при этом усложняется конструкция солнечной электростанции и ее эксплуатация при опасных напряжениях (выше 40 В). К форме выходного сигнала автономных инверторов предъявляются менее жесткие требования. В ряде случаев (если позволяет нагрузка) возможно использование инверторов с трапециевидным выходным сигналом. Такие инверторы стоят в 2-3 раза дешевле инверторов с синусоидальным выходным сигналом. Важный параметр автономных инверторов - зависимость КПД от мощности подключенной нагрузки. КПД не должен значительно снижаться при подключении нагрузки в десять раз меньшей (по потребляемой мощности), чем номинальная мощность инвертора. Вместе с тем инвертор должен выдерживать перегрузки в выходных цепях (при подключении электродвигателей и прочих динамичных нагрузок). Таким образом, к автономному инвертору предъявляются следующие требования:

- способность переносить без последствий перегрузки (как кратковременные, так и длительные);
- маленькие потери при малых нагрузках и на холостом ходу;
- стабилизация выходного напряжения;
- низкий коэффициент гармоник;
- высокий КПД;
- отсутствие помех на радиочастотах.

**Наиболее подходящим вариантом станет гибридный инвертор с зарядным устройством 48-220 Вольт, 4 кВт, 48 Вольт, 40 Ампер, производства МикроАРТ.**



Параметры инвертора МАР-НУВRID-48-6

Номинальная выходная мощность, кВт:	4
Максимальная выходная мощность в течение 10-20 минут, кВт:	6
Пиковая выходная мощность, кВт:	9
Максимальный рабочий ток реле переключения, А:	40
Ограничение потребляемой мощности от сети 220В, кВт:	9 (настраивается с передней панели)
Выходное напряжение переменного тока (50 Гц), В:	220 (настраивается с передней панели)
Форма выходного напряжения:	чистый синус (искажение не более 5% на номинальной нагрузке, не более 20% на максимальной нагрузке)
Номинальное входное напряжение, В:	48
Рабочий диапазон входных напряжений, В:	42.0 — 60.0
Максимальная эффективность:	96%
Собственное потребление без нагрузки, не более, Вт:	24
Потребление без нагрузки в режиме ожидания, не более, Вт:	7
Порог включения из режима	20 — 99 (настраивается с передней

ождения, Вт:	панели)
Диапазон входных напряжений зарядного устройства, В:	120 — 265
Максимальный зарядный ток, А:	40 (настраивается с передней панели)
Напряжение поглощения, В:	57.6 (настраивается с передней панели)
Напряжение в буферном режиме, В:	54.4 (настраивается с передней панели)
Зарядная характеристика:	2-4 стадии с температурной компенсацией (настраивается с передней панели)
Время переключения на аккумулятор при пропадании сетевого напряжения, мс:	~20
Вентилятор охлаждения:	есть (с регулируемой скоростью)
Защита от короткого замыкания по выходу:	есть, автомат
Защита от перегрузки по выходу:	есть, электронная
Защита от перегрева:	есть, электронная
Защита от низкого и высокого напряжения на аккумуляторе:	есть, электронная
Защита от всплесков высокого напряжения на входе переменного тока:	есть, электронная
Защита от подачи 220 Вольт на выход работающего инвертора:	нет
Тип соединения по постоянному току:	кабели сечением 25 мм <sup>2</sup> с клеммами М8 длиной 1,0 метр
Тип соединения по переменному току:	клеммная коробка для подключения входа и выхода 220 Вольт и 2 розетки на передней панели
Размеры, мм.:	180 x 510 x 370
Вес, кг:	28,5
Температура эксплуатации:	от -25°С до +35°С
Влажность (без конденсата):	до 95%

Стоимость:  $С_{\text{инв}} = 89900\text{р.}$

В связи с тем, что входное напряжение стандартно выпускаемого инвертора  $U=48\text{В}$ , а не  $308\text{В}$ , как предполагалось ранее, придётся изменить схему соединения аккумуляторов, приняв  $n_{\text{посл}}=4$ . Тогда  $n_{\text{пар}}=65$ .

## **6. Выбор дизель-генераторной установки**

Дизель-генераторная установка – это электромеханическое устройство, состоящее из дизельного двигателя, электрогенератора и схемы управления.

ДГУ обеспечивают автономное питание (гарантированное электроснабжение) критичной нагрузки. Они предназначены для работы в качестве постоянных или резервных источников электроэнергии, способных функционировать в течение длительного периода времени (от нескольких часов до нескольких суток в зависимости от емкости топливного бака).

Дизель-генераторы можно разделить на маломощные однофазные, а также средние, мощные и сверхмощные трехфазные устройства. Они могут быть как в открытом исполнении для установки внутри помещений, так и в различных защитных кожухах.

Управление работой современных ДГУ осуществляется с помощью встроенных контроллеров (микропроцессорных или аппаратных). Они способны автоматически запускать двигатель при авариях сетевого напряжения и останавливать его при восстановлении электроснабжения, выдерживая при этом заданные временные интервалы.

### **Принцип работы:**

Энергия расширения газов, образующихся при сгорании воспламененного от сжатия топлива, в дизельном двигателе внутреннего сгорания преобразуется посредством кривошипно-шатунного механизма в механическую энергию вращения коленвала. Приводимый от двигателя ротор электрогенератора, вращаясь, возбуждает электро-магнитное поле, создающее индукционный переменный ток в обмотке генератора, который подается на выход – потребителю.

### **Основные компоненты ДГУ:**

- дизельный двигатель с подсистемами его жизнеобеспечения (подача топлива, воздуха, охлаждение);

- синхронный или асинхронный генератор переменного тока - альтернатор;
- система автоматического управления, мониторинга и контроля дизель генератора;
- рама (тент-каркас, кожух, контейнер) на которой крепится все оборудование, и которая может выполнять дополнительные функции (защита от воздействия внешней среды, шумопоглощение и т.д.)

### **Основные критерии выбора ДГУ:**

- Количество фаз;
- Уровень шума;
- Мощность ном., кВт;
- Вид топлива;
- Охлаждение;
- Напряжение, В;

Дизельные генераторы надежнее и мощнее бензиновых. Они больше подходят для таких ситуаций, когда необходим автономный, единственный источник энергии. Например, если на вашей даче отсутствует электричество, а хочется, чтобы оно было постоянно – целесообразнее приобретать генератор дизельный. Да и топливо к нему немного дешевле обойдется.

Различают два вида дизельных генераторов по числу оборотов двигателя: с числом оборотов 1500 в минуту и 3000 в минуту. Если генератор необходим для продолжительной и непрерывной работы (каждый день, месяц за месяцем), лучше выбирать генераторы с низким числом оборотов, так как они не так быстро перегреваются.

Для проектируемой установки наиболее подходящим вариантом будет ДГУ СКАТ УГД-3000Е.



### Характеристика ДГУ:

Бренд	SKAT
Номинальная мощность, кВт	3
Тип тока	однофазный
Частота, Гц	50
Уровень шума, дБ (А)	72
Генератор	щеточный, синхронный
Модель двигателя	YANMAR
Тип двигателя	дизельный, 4-тактный, одноцилиндр.
Топливо	дизельное
Запуск	Электро/ручной
Система смазки	принудительная
Охлаждение	воздушное, принудительное
Емкость топливного бака, л	14
Емкость масляной системы	1,2
Расход топлива, л/ч	1,0
Габаритные размеры, мм	705x535x590
Вес нетто, кг	85

Цена:  $Ст_{диз} = 50150р.$

Генератор SKAT УГД-3000Е является станцией профессионального уровня. Надежный, долговечный генератор хорошо зарекомендовал себя на строительных площадках, на лесосеках и карьерах, где требуется его продолжительная непрерывная работа.

Он оснащен четырёхтактным одноцилиндровым дизельным двигателем, изготовленным по технологии Yanmar®. Его отличает относительно низкий расход топлива (1,0 литр в час), большой срок службы, невысокий уровень вибрации и шума при работе.

Модель комплектуется электростартером для легкого запуска генератора.

Синхронный щеточный генератор производит стабильное напряжение высокого качества и способен выдерживать кратковременные перегрузки.

Медная обмотка генератора в сравнении с алюминиевой обладает значительно большим рабочим ресурсом.

Брызгозащищенные розетки позволяют использовать генераторную установку при различных погодных условиях.

Выход постоянного тока 12 В / 8,3 А предназначен для подзарядки автомобильных аккумуляторов.

Система впрыска Bosch® (топливный насос (ТНВД) и форсунка). Применение системы позволяет снизить расход топлива до 15% за счет более качественного распыления и перемешивания топлива с воздухом, что способствует эффективному сгоранию смеси, а также улучшению экологических показателей установки: снижению дымности и уменьшению СО в выхлопных газах.

Оригинальные подшипники NSK® (Япония) обладают длительным эксплуатационным ресурсом, а также повышенной устойчивостью к воздействию высоких температур и разрушению внутреннего кольца подшипника.

Предпусковой подогрев (свеча накаливания) предназначен для упрощения запуска двигателя при отрицательных температурах.

Ручной декомпрессор облегчает ручной и электрический запуск генератора.

Антивибрационная система (резиновые подушки) — конструктивное решение, которое снижает уровень вибрации и шума в процессе работы генератора. Аналоговый вольтметр — прибор для визуального контроля выходного напряжения.

Счетчик моточасов позволяет точно определить время проведения очередного технического обслуживания.

Указатель уровня топлива позволяет визуально контролировать фактический остаток топлива в баке.

Увеличенный глушитель позволяет использовать генератор вблизи жилых помещений.

Автоматический регулятор напряжения генератора (блок AVR) выполняет функцию стабилизатора напряжения. **Генератор с AVR** обеспечивает на выходе стабильный и качественный электрический ток, благодаря чему к нему можно подключать даже самое точное оборудование.

Датчик давления масла останавливает генератор при падении давления масла в двигателе ниже критического.

Автоматический выключатель обеспечивает защиту генератора от перегрузки и короткого замыкания.

Электронная защита от перегрузки отключает питание от потребителей при превышении нагрузки больше максимальной.

Индикатор аварийного падения давления масла и индикатор перегрузки генератора указывают причину внезапной остановки генератора.

Класс защиты IP 23 означает, что внутрь электродвигателя не могут попасть посторонние тела диаметром 12,5 мм и более, и что вода, падающая

под углом, равным или меньшим  $60^\circ$  к вертикали, не оказывает вредного воздействия.

С ноября 2013 года генератор комплектуется гелевой аккумуляторной батареей по технологии Gelled Electrolyte (GEL), которая не требует заправки электролитом и отличается устойчивостью к глубокому разряду, благодаря чему увеличивается срок ее службы.

Генераторная установка поставляется с комплектom шасси для облегчения ее транспортировки.

Набор инструментов в комплекте: отвертка, вилка (по количеству розеток и номиналу), ключ рожковый 10x12, ключ рожковый 14x17, ключ зажигания (2 шт.).

## Заключение

1. Была рассчитана система автономного электроснабжения, в состав которой входят солнечные панели, дизель-генераторная установка и аккумуляторные батареи.
2. В ходе расчётов мощность установки распределилась следующим образом:
  - Солнечные панели – 1,5кВт
  - Инвертор – 4кВт
  - Дизель-генераторная установка – 3кВт
  - Аккумуляторные батареи ёмкостью 250 А\*ч и напряжением 12В в количестве 260 штук, для автономного обеспечения электричеством в течении 6 суток
3. Стоимость установки:
  - Солнечные панели – 97140р
  - Дизель-генератор – 50150р.
  - Аккумуляторные батареи – 5,2 млн. р.
  - Инвертор – 89900р.

**Итого: 5437190р**
4. Характеристика солнечной установки:
  - Постоянное рабочее напряжение: 48 В.
  - Переменное напряжение на выходе: 220 В, 50 Гц, чистый синус.
  - Тип выходных контактов 220 В: двойная розетка и клеммы для кабеля
  - Максимальная выходная мощность: 6 кВт.
  - Продолжительность работы при отсутствии солнца на нагрузку 5 кВт\*ч/сутки (при 100% разряде): 2 суток
  - Температура эксплуатации оборудования: от -25°С до +45°С
  - Температура эксплуатации солнечных панелей: от -40°С до +85°С
  - Общий вес всех компонентов солнечной электростанции, кг: 440