

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор-директор ЭНИН  
\_\_\_\_\_ Боровиков Ю.С.  
«\_\_\_» июня 2010 г.

**Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, А.И. Муравлев,  
С.Г. Обухов, Е.А. Шутов, К.В. Юдина**

**Исследование автономной системы  
электроснабжения на базе ветрогенератора  
и солнечного модуля**

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсам  
«Солнечная энергетика и фотоэлектростанции», «Ветроэлектростанции»  
для студентов V курса, обучающихся по направлению  
140200 «Электроэнергетика», специальности  
140200.12 «Возобновляемые источники энергии»

Издательство  
Томского политехнического университета  
2010

УДК 621.311.24+621.472(076.5)

ББК 31.15я73

Л88

**Лукутин Б.В.**

Л88

Исследование автономной системы электроснабжения на базе ветрогенератора и солнечного модуля: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсам «Солнечная энергетика и фотоэлектростанции», «Ветроэлектростанции» для студентов V курса, обучающихся по направлению 140200 «Электроэнергетика», специальности 140200.12 «Возобновляемые источники энергии» / Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, А.И. Муравлев, С.Г. Обухов, Е.А. Шутов, К.В. Юдина; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 62 с.

УДК 621.311.24+621.472(076.5)

ББК 31.15я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ЭЛТИ

«\_27\_»\_мая\_2010 г.

Зав. кафедрой ЭСПП профессор, д.т.н. \_\_\_\_\_ *Б.В. Лукутин*

Председатель учебно-методической

комиссии

\_\_\_\_\_ *В.И. Готман*

*Рецензент*

Кандидат технических наук, доцент

*Г.Н. Климова*

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2010

© Лукутин Б.В., Муравлев И.О.,

Муравлев А.И., Обухов С.Г.,

Шутов Е.А., Юдина К.В., 2010

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2010

**Цель лабораторных работ:** внести вклад в подготовку студента к решению ряда профессиональных задач в области производственно - технологической, проектно - конструкторской и научно-исследовательской деятельности, таких как:

- разработка мероприятий по эффективному использованию энергии и сырья;
- анализ состояния и динамики показателей качества объектов деятельности с использованием необходимых методов и средств исследований;
- разработка планов, программ и методик проведения исследований.

Выполнение программы лабораторных занятий обеспечивает развитие общекультурных и профессиональных компетенций, таких как:

- способность анализировать, синтезировать и критически резюмировать информацию;
- способность и готовность применять современные методы исследования проводить технические испытания и (или) научные эксперименты, оценивать результаты выполненной работы;
- способность оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы;
- готовность использовать современные и перспективные компьютерные и информационные технологии;
- способность разработки планов, программ и методик проведения испытаний электротехнических и электроэнергетических устройств и систем;
- способность планировать и ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты научных исследований;
- готовность представлять результаты исследования в виде отчетов, рефератов, научных публикаций и на публичных обсуждениях.

## ГЛОССАРИЙ

**Актинометрическая станция** – станция, на которой производятся регулярные актинометрические наблюдения. Актинометрия – один из разделов метеорологии: учение о солнечном, земном и атмосферном излучении (радиации) в условиях атмосферы.

**Автономное электроснабжение** – это независимое электропитание объекта, т.е. электричество не подается централизованно, а получается только от внутренних источников. Система автономного электроснабжения – совокупность средств обеспечения электроснабжения.

**Ветрогенераторы.** Принцип работы состоит в следующем: ветер вращает лопасти, лопасти крутят вал, который соединен с набором зубчатых колес, приводящих в действие электрогенератор. Крупные ветрогенераторы позволяют производить электроэнергию мощностью от 750 кВт до 5 МВт электроэнергии. Для снабжения электроэнергией жилых домов, телекоммуникационных станций и в водяных насосов целесообразно использовать небольшие ветрогенераторы мощностью до 100 кВт.

**Ветроэнергетические установки** мощностью от нескольких киловатт до мегаватт производятся в Европе, США и других частях мира. Большая часть этих установок используется для производства электроэнергии - как в единой энергосистеме, так и в автономных режимах. Ветроэнергетические установки классифицируются по двум основным признакам – геометрии ветроколеса и его положению относительно направления ветра.

**Дизельная электростанция** (дизель-генераторная установка, электроагрегат, «дизель-генератор») – стационарная или подвижная энергетическая установка, оборудованная одним или несколькими электрическими генераторами с приводом от дизельного двигателя, существуют также с приводом от бензинового двигателя – бензиновый электрический агрегат или бензиновая электростанция и газопоршневые электростанции.

**Мощность потока солнечной радиации.** Всего мощность солнечного излучения составляет около  $3.8 \cdot 10^{26}$  Вт. Поток представлен всем спектром электромагнитных волн. Это приблизительно в 50 раз превосходит энергию, которую можно было бы извлечь из мировых разведанных запасов горючих ископаемых, и примерно в 300 тыс. раз больше ежегодного потребления энергии. Основная масса солнечного излучения приходит на ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную части спектра.

**Отраженная солнечная радиация** – часть суммарной солнечной радиации, которая не поглощается земной поверхностью, а отражается от нее. Зависит от характера поверхности отражения.

**Прямая солнечная радиация** – радиация, приходящая к земной поверхности непосредственно от Солнца. На земную поверхность солнечная радиация приходит пучком практически параллельных лучей и характеризуется интенсивностью радиации.

**Рассеянная солнечная радиация** – часть солнечного излучения (около 25%), претерпевшая рассеяние в атмосфере. Причиной рассеяния солнечных лучей является неоднородность воздуха. Радиация распространяется от рассеивающих частиц воздуха так, как если бы эти частицы сами были источником излучения. Рассеянной солнечной радиацией объясняется голубой цвет неба.

**Солнечная электростанция** – инженерное сооружение, служащее преобразованию солнечной радиации в электрическую энергию. Способы преобразования солнечной радиации различны и зависят от конструкции электростанции.

**Солнечная энергия** – это экологически чистый источник энергии, позволяющий использовать его во все возрастающих масштабах без негативного влияния на окружающую среду. Основными направлениями использования солнечной энергии считаются: прямое превращение солнечной энергии в электрическую энергию; получение тепла путем абсорбции солнечного излучения.

**Среднегодовые скорости ветра.** Данные о среднегодовых скоростях ветра служат исходной характеристикой общего уровня интенсивности ветра. По величине среднегодовой скорости ветра в первом приближении можно судить о перспективности применения ветроэнергетических установок в том или ином районе. Однако необходимо иметь в виду, что скорость ветра зависит от рельефа местности, шероховатости поверхности, наличия затеняющих элементов, высоты над поверхностью земли.

**Суммарная солнечная радиация** – вся прямая и рассеянная солнечная радиация, поступающая на земную поверхность. Суммарная солнечная радиация характеризуется интенсивностью. При безоблачном небе суммарная сол-

нечная радиация имеет максимальное значение около полудня, а в течение года - летом.

**Технический ветровой потенциал** – часть потенциальных ветроэнергоресурсов, которая может быть реализована существующим в настоящее время ветроэнергетическим оборудованием на достигнутом уровне технического и промышленного обеспечения.

**Удельная мощность ветрового потока**, Вт/м<sup>2</sup> – мощность ветрового потока, протекающего через поперечное к потоку сечение 1 м<sup>2</sup>.

### **СОКРАЩЕНИЯ**

- АБ** – аккумуляторная батарея
- АФС** – автономные фотоэлектрические системы
- ВГ** – ветрогенератор
- ВИЭ** – возобновляемые источники электроэнергии
- ВТ** – вентилятор
- ВЭС** – ветроэлектростанция
- ВЭУ** – ветроэнергетическая установка
- ПЧ** – преобразователь частоты
- СБ** – солнечная батарея
- СМ** – солнечные модули
- СТУ** – стандартные тестовые условия
- СЭ** – солнечные элементы
- ФП** – фотопреобразователь
- Ч** – частотомер

## ВВЕДЕНИЕ

### Возобновляемые источники энергии

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – это энергоресурсы постоянно существующих природных процессов на планете, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биоценозов растительного и животного происхождения. Характерной особенностью ВИЭ является их неистощаемость, либо способность восстанавливать свой потенциал за короткое время – в пределах срока жизни одного поколения людей [1]. ВИЭ включают следующие формы: солнечная, геотермальная, ветровая, энергия морских волн и течений, приливов и океана, энергия биомассы, гидроэнергия, низкопотенциальная тепловая энергия.

В последние годы наблюдается тенденция роста применения ВИЭ во всем мире. Импульсом для интенсивного развития возобновляемой энергетики явилось общественное осознание проблем, вызванных использованием традиционных источников энергии (угля, нефти, газа). Среди основных причин, обусловивших развитие ВИЭ в России, можно выделить следующие:

- обеспечение энергетической безопасности (рис. 1);
- сохранение окружающей среды и обеспечение экологической безопасности;
- сохранение запасов собственных энергоресурсов для будущих поколений;
- обеспечение зон децентрализованного энергоснабжения.

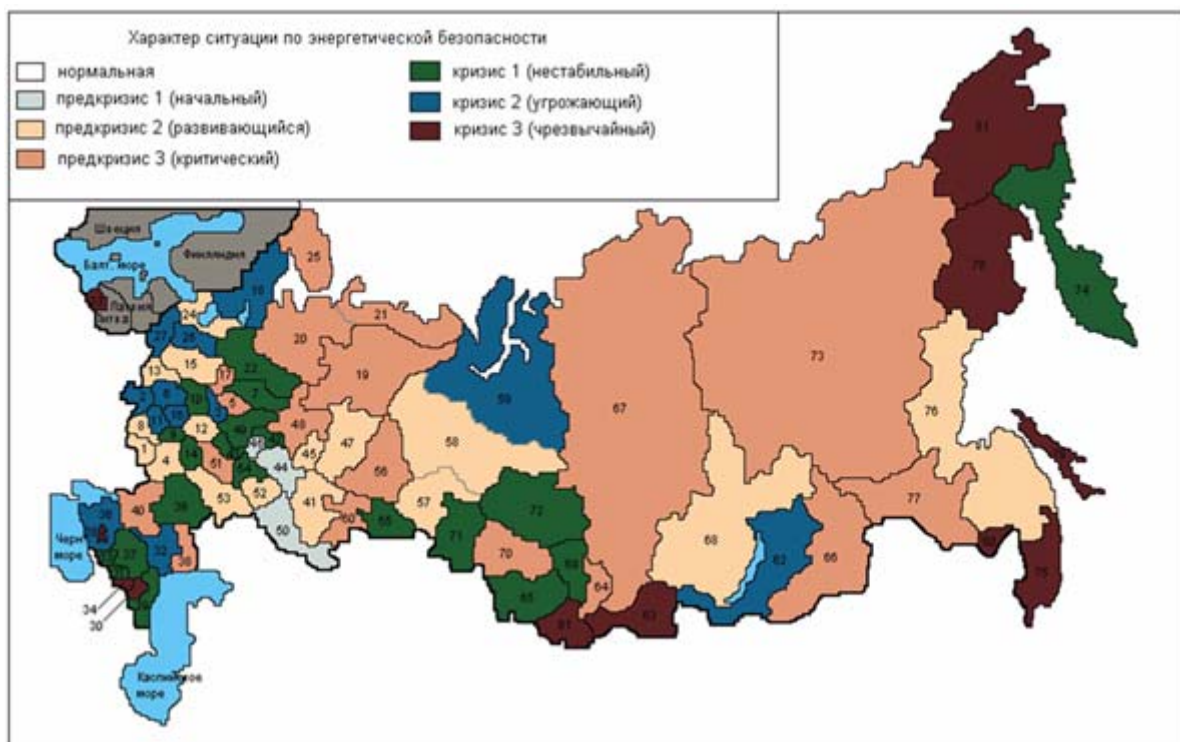
На территории России сосредоточено 45% мировых запасов природного газа, 13% - нефти, 23% - угля, 14% - урана. Такие запасы топливно-энергетических ресурсов могут обеспечить потребности страны в тепловой и электрической энергии в течение сотен лет. Однако их использование обусловлено существенными трудностями и опасностями и связано с безвозвратными потерями топливно-энергетических ресурсов (до 50%), что может явиться экологической катастрофой в местах добычи и производства топливно-энергетических ресурсов. Кроме того, около 22-25 млн. человек проживают в районах децентрализованного энергоснабжения или ненадежного централизованного энергоснабжения, занимающих более 70% территории России (Крайний Север, Дальний Восток, Сибирь).

Широкое использование возобновляемых источников энергии соответствует высшим приоритетам и задачам энергетической стратегии России. Степень обеспеченности регионов собственными топливно-энергетическими ресурсами является одним из основных показателей восприимчивости регионов к угрозам энергетической безопасности. Освоение и использование местных энергетических ресурсов (энергия малых рек, торф, небольшие месторождения углеводородных топлив и др.), а также использование других, в первую очередь, возоб-

новляемых энергетических ресурсов позволят обеспечить энергетическую независимость данных районов.

В некоторых областях использования ВИЭ Россия имеет крупные научные результаты, соответствующие мировому уровню. Выявлены большие потенциальные возможности использования этих источников энергии в решении энергетических и экологических проблем уже в ближайшем будущем.

Источник: [http://www.pomreke.ru/energy-future/energy\\_source.php](http://www.pomreke.ru/energy-future/energy_source.php)



<http://www.energystrategy.ru>

Рис. 1. Энергетическая безопасность России



## Лабораторная работа № 1

### «ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ»

#### Задачи работы:

- экспериментально определить вольтамперную характеристику солнечного модуля при различных уровнях освещенности;
- экспериментально определить вольтамперную характеристику инвертора;
- проанализировать режимы системы автономного электроснабжения при различных условиях работы.

#### ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

##### Энергия Солнца

Солнечное излучение – один из наиболее перспективных источников энергии. Преобразование солнечной энергии в доступные для использования виды осуществляется двумя способами: фотоэлектрическим (прямое преобразование световой энергии в электрическую) и фототермическим (преобразование световой энергии в тепловую, а затем при необходимости, например, с помощью пара, в электрическую). Первыми переносными устройствами, использующими энергию солнца, были портативные калькуляторы. В конце 1970-х годов эти устройства впервые начали производить из компонентов с низким энергопотреблением, например жидкокристаллические экраны (LCD).

В результате успехов естественных наук стало возможным практическое использование процесса преобразования энергии солнечного излучения в электричество. Такую возможность предоставляют полупроводниковые материалы, в частности кремний. Кремний – третий по распространенности элемент во Вселенной. Запасы кремния почти неисчерпаемы. Обычный песок это маленькие кусочки кремния. После довольно сложных процессов из кремния выращивают монокристаллы, которые затем нарезаются на пластины, травятся, формируются p-n переходы, наносится контактная маска толщиной 0.2-0.4 мм – получается так называемый «солнечный кремний».

#### Типы фотоэлектрических систем.

Автономные системы предназначены для электроснабжения передвижных объектов или объектов, удаленных от основных линий электропередач (в труднодоступных местах, куда затруднена или экономически невыгодна прокладка линий). Использование в таких условиях фотоэлектричества наиболее эффективно и оправдано, а стоимость 1 кВтч электроэнергии - значительно

ниже. Мощность автономных систем находится в пределах 0,01 ...100 кВт (рис. 2).

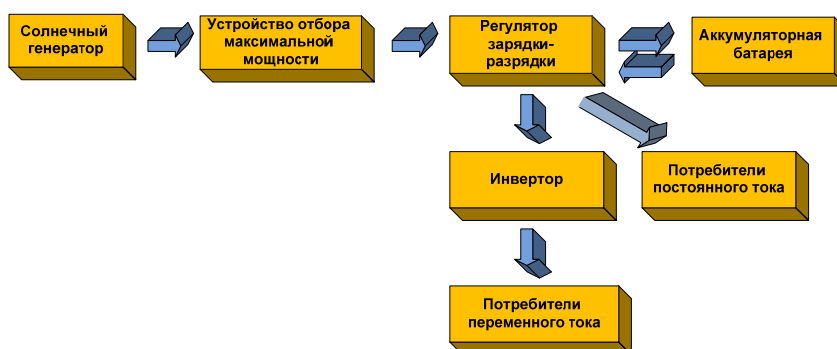


Рис. 2. Схема автономной фотоэлектрической станции

Станции второго типа (соединенные с промышленной электрической сетью) отдадут выработанную энергию непосредственно в промышленную сеть (которая служит одновременно накопителем и распределителем энергии). Такие системы, установленные в городе на крышах и стенах зданий, могут обеспечивать электричеством само здание и компенсировать энергодефицит при пиковом энергопотреблении в полуденное время (рис. 3). Мощность станций второго типа может достигать нескольких МВт.

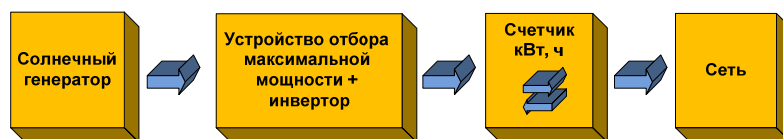


Рис. 3. Схема фотоэлектрической станции, соединенной с сетью

## Система автономного электроснабжения

Система автономного электроснабжения (Рис.4.) на базе фотоэлектрической солнечной батареи состоит из следующих компонентов:

1. Солнечные модули.
2. Контроллер заряда аккумуляторной батареи, который предотвращает глубокий разряд и перезаряд аккумуляторной батареи.
3. Батареи аккумуляторов.
4. Инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный.
5. Зарядное устройство для аккумуляторной батареи (для заряда аккумуляторной батареи в пасмурную погоду от бензогенератора).
6. Нагрузки постоянного и переменного тока

Для обеспечения надежного электроснабжения необходим резервный источник электропитания. В качестве такого источника может быть бензо- или ди-

зель-электрогенератор небольшой мощности. Введение такого резервного источника электроэнергии резко сокращает стоимость солнечной батареи из-за отсутствия необходимости рассчитывать ее на худшие возможные условия (несколько дней без солнца, эксплуатация зимой, и т.п.)



Рис. 4. Система автономного электроснабжения

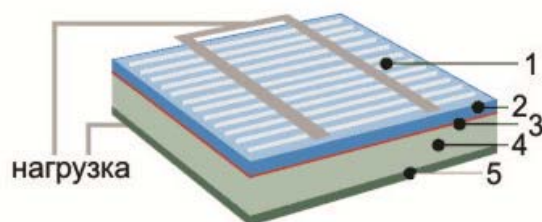
Напряжение с солнечных модулей MSW-100/50(24) поступает на контроллер заряда аккумуляторной батареи. Инвертор запитывается от солнечных модулей, если достаточно мощности, или от аккумуляторных батарей. При отсутствии нагрузки/небольшой нагрузке инвертора аккумуляторные батареи заряжаются. Зарядное устройство используется при необходимости совместно с бензо- или дизель-электрогенератором небольшой мощности при плохих погодных условиях. Оно может отсутствовать в системе автономного электроснабжения.

## Солнечные модули

Солнечная батарея – фотоэлектрический модуль – представляет собой набор тонких пластин монокристаллического кремния (хотя применяются поликристаллические и аморфные). Элементы соединены плоскими проводами на стекле или прозрачном пластике, с обратной стороны пластины кремния заламенированы полиэфирной пленкой или специальным герметикам для защиты от окисления контактов и влаги. Количество пластин (элементов) зависит от принятой конструкции батареи и обычно подбирается так, чтобы ток и напря-

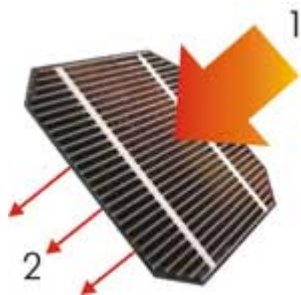
жение соответствовали условиям зарядки аккумуляторов. Элементы бывают размером 85x85 мм 100x100 мм, 125x125 мм или в форме окружности соответствующего диаметра. В зависимости от размера элементов изменяются размеры готовой батареи. КПД батареи обычно лежит в диапазоне 10.5 – 13.5%, хотя в лабораториях получены результаты до 18%, еще больший КПД имеют батареи на элементах из арсенида галлия, но они редки и дороги. Панель с элементами обычно обрамляется алюминиевым или пластиковым профилем для увеличения прочности и крепежа на месте установки. Для вывода энергии устанавливают специальные разъемы.

Структура солнечного элемента показана на рис. 5.



*Рис. 5. Структура солнечного элемента: 1 - передний контакт; 2 – негативный слой; 3 – проводящий слой ; 4 – позитивный слой; 5 – задний контакт*

Все солнечные элементы прозрачны для инфракрасной области спектра, что приводит к меньшей нагреваемости элементов на солнце и соответственно увеличению их эффективности (рис. 6).



**1 - солнечный свет**  
**2 - инфракрасные лучи**

*Рис. 6. Структура солнечного элемента*

Солнечные элементы (СЭ), фотопреобразователи (ФП) – синонимы первичного преобразователя, осуществляющего прямое преобразование солнечной энергии в электрический ток.

Электрически соединенные солнечные элементы создают базовую основу для солнечных модулей (СМ), которые, в свою очередь, уже способны вырабатывать достаточную электрическую энергию для питания электропотребителей, а также служат базовыми элементами больших энергосистем. В зависимости от

применений, солнечные модули могут иметь разные конструктивные решения и разные выходные мощности.

Существует несколько способов увеличения энергоэффективности: выбор оптимального угла установки, т.к. солнце в течение года постоянно меняет высоту над горизонтом желательно устанавливать солнечные батареи под тем углом, который обеспечивает максимальный выигрыш по производительности в нужное время. Другой путь увеличения производительности поворачивать солнечную батарею вслед за солнцем в течение дня. Таким образом, можно увеличить выработку энергии вплоть до 50% от выработки в стационарном положении. Энергия, полученная от солнечных батарей, направляется на зарядку аккумуляторов, что необходимо по двум причинам: сглаживание неравномерности поступления энергии, например в облачную погоду, и удовлетворение потребности в энергии тогда, когда нет солнечного излучения (ночью).

Солнечные модули наземного использования обычно конструируются для зарядки свинцово-кислотных аккумуляторных батарей с номинальным напряжением 12 В.

При этом последовательно соединяются 36 солнечных элементов. Полученный пакет обычно обрамляют в алюминиевую раму, облегчающую крепление к несущей (опорной) конструкции. Мощность солнечных модулей может достигать 10...300 Вт.

Для получения необходимой мощности и рабочего напряжения модули соединяют последовательно или параллельно. Так получают *фотоэлектрический генератор*. Мощность генератора всегда меньше, чем сумма мощностей модулей – из-за потерь, обусловленных различием в характеристиках однотипных модулей (потери на рассогласование). Чем тщательнее подобраны модули в генераторе (или, чем меньше различие в характеристиках модулей), тем меньше потери на рассогласование. Например, при последовательном соединении десяти модулей с разбросом характеристик 10% потери составляют приблизительно 6%, а при разбросе 5% - уменьшаются до 2%.

При затенении одного модуля (или части элементов в модуле) в генераторе при последовательном соединении возникает «*эффект горячего пятна*» – затененный модуль (элемент) начинает рассеивать производимую освещенными модулями (элементами) мощность, быстро нагревается и выходит из строя. Для устранения этого эффекта параллельно с каждым модулем (или его частью) устанавливают шунтирующий диод. Диод необходим при последовательном соединении более двух модулей. К каждой линейке (последовательно соединенных модулей) тоже подключается блокирующий диод для выравнивания напряжений линеек. Все эти диоды обычно размещаются в соединительной коробке самого модуля.



Модули устанавливаются на стальных или алюминиевых опорных конструкциях на земле (или на крышах и фасадах зданий - и при этом служат одновременно кровельным или защитным материалом).

Вольтамперная кривая генератора имеет тот же вид, что и единичного модуля. Рабочая точка генератора, подключенного к нагрузке, не всегда совпадает с точкой максимальной

мощности (тем более, что положение последней зависит от условий освещенности и температуры окружающей среды). Подключение таких нагрузок, как, например, электродвигатель, может сдвинуть рабочую точку системы в область минимальной или даже нулевой мощности (и двигатель просто не запустится). Поэтому, важный компонент солнечных электрических систем - преобразователи напряжения, способные согласовывать солнечный модуль с нагрузкой.

СЭ производит электричество, когда освещается светом. В зависимости от интенсивности света (измеряемой в  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ), солнечный элемент производит больше или меньше электричества: яркий солнечный свет более предпочтителен, чем тень, и тень более предпочтительна, чем электрический свет. Для сравнения СЭ и модулей необходимо знать так называемую номинальную мощность элемента или модуля. Номинальная мощность, выраженная в ваттах пиковой мощности  $W_p$ , – это мера того, сколько электроэнергии может произвести фотоэлектрический модуль при оптимальных условиях.

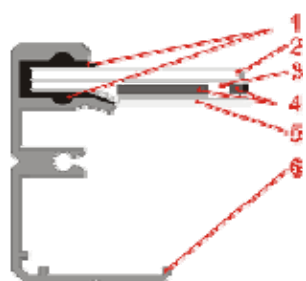
Для определения и сравнения номинальной мощности солнечных панелей, выходная мощность измеряется при стандартных тестовых условиях (СТУ). Эти условия предполагают:

- освещенность  $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$
- солнечный спектр АМ 1.5 (он определяет тип и цвет света)
- температура элемента  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  (это важно, так как эффективность СЭ падает при повышении его температуры).

Вот некоторые из серий солнечных модулей: солнечные модули в алюминиевом каркасе – серия MSW (диапазон мощностей от 3 до 120 Вт; бескаркасные солнечные модули – серия «Лира» (диапазон мощностей от 1,7 до 24 Вт; солнечные модули на металле – серия MSWm (диапазон мощностей от 1,7 до 24 Вт). СМ на основе монокристаллического кремния предназначены для преобра-

зования прямого солнечного излучения мощностью от 500 Вт/м в электрический ток постоянного напряжения (табл. 1).

Каркасный солнечный модуль выполнен в виде панели, заключенной в каркас из алюминиевого профиля. Панель представляет собой фотоэлектрический генератор, состоящий из стеклянной плиты, с тыльной стороны которой между двумя слоями герметизирующей пленки размещены солнечные элементы, электрически соединенные между собой металлическими шинами. Круглые кремневые пластины размещены в стеклянной подложке толщиной 3 или 4 мм. Стекло помещено в алюминиевый каркас. Нижний слой герметизирующей пленки защищен от внешних воздействий слоем защитной пленки. К внутренней стороне корпуса модуля прикреплен диодный блок, под крышкой которого размещены электрические контакты, предназначенные для подключения модуля.



- 1 – Герметик.
- 2 – Стекло.
- 3 - Герметизирующая пленка.
- 4 - Солнечные элементы.
- 5 - Защитная пленка.
- 6 – Корпус.

Рис. 7. Структура солнечного модуля MSW-24(12)

Солнечный модуль предназначен для преобразования солнечной энергии в электрическую и применяется при создании солнечных энергосистем. Солнечные модули этой серии имеют двустороннюю чувствительность. Двусторонние модули преобразуют солнечную энергию в электрическую лицевой и тыльной сторонами.

**Преимущества:** Облегченная герметичная конструкция, полированное упрочненное стекло, повышенная градостойкость, интервал рабочих температур  $-60^{\circ}\text{C}...+75^{\circ}\text{C}$ , допустимая влажность 100%, энергосберегающая технология сборки.

Солнечные модули применяются в качестве основного или вспомогательного источника энергии в составе автономных источников питания для:

- жилых коттеджей и дачных домов;
- радиоаппаратуры, радио- и телекоммуникаций;
- систем охраны;
- уличного освещения и освещения рекламных щитов;
- систем водоснабжения и опреснения;

- сельскохозяйственных объектов;
- заправочных станций;
- катодной защиты металлических объектов.



Таблица 1. Технические характеристики модуля MSW-100/50(24)

Параметры	Значения	
	Лицевая сторона	Тыльная сторона
Мощность, Вт±5%	100,00	50,00
Номинальное напряжение, В	24,0	24,0
Напряжение макс. мощности, В	34,0	34,0
Напряжение холостого хода, В	43,8	42,6
Ток максимальной мощности, А	2,94	1,47
Ток короткого замыкания, А	3,46	1,73
Габаритные размеры модуля, мм	1326x676x38	
Габаритные размеры солнечного эле-	103x103x0.4	
Количество солнечных элементов в	72 (6x12)	
Вес, кг	12.0	
Измерение электрических характеристик модуля проводились при условиях: АМ 1,5; (1000+50) Вт/м <sup>2</sup> и температуре СЭ (25±2)°С Гарантия: 1 год на производственные дефекты; снижение параметров на 20% за 20 лет эксплуатации.		

## Аккумуляторные батареи

Автономные фотоэлектрические системы (АФС) используются там, где нет сетей централизованного электроснабжения.

Для обеспечения энергией в темное время суток или в периоды без яркого солнечного света необходима аккумуляторная батарея (рис. 8).



Рис. 8. Автономная фотоэлектрическая система

Для фотоэлектрических систем больше подходят электрохимические аккумуляторы, т.к. солнечный модуль производит, а потребитель потребляет электроэнергию, которая непосредственно и запасается в аккумуляторе. Большинст-

во фотоэлектрических систем используют свинцово-кислотные аккумуляторы. Основными условиями по выбору аккумуляторов являются:

- стойкость к циклическому режиму работы;
- способность выдерживать глубокий разряд;
- низкий саморазряд;
- нечувствительность к нарушению условий зарядки и разрядки;
- долговечность;
- простота в обслуживании.

Важный параметр переносных (или периодически демонтируемых) солнечных систем - компактность и герметичность. Этим требованиям в полной мере удовлетворяют аккумуляторы, выполненные по технологиям «dryfit» и AGM (абсорбированный электролит) или рекомбинационной технологии. Они характеризуются отсутствием эксплуатационных затрат и перекрывают диапазон емкостей 1...12 000 Ач. Выделяющиеся при зарядке газы не выходят из аккумулятора, поэтому электролит не расходуется и обслуживание не требуется.

Для получения необходимого рабочего напряжения аккумуляторы или аккумуляторные батареи соединяют последовательно. При этом:

- применяют аккумуляторы только одного типа, выпущенные одним производителем;
- используют все аккумуляторы одновременно, не делая отводов от отдельных частей;
- не соединяют аккумуляторы в одну группу с разницей в дате выпуска более чем на месяц;
- обеспечивают разницу температур отдельных аккумуляторов не более 3°C.

Для продления срока службы аккумуляторов при циклическом режиме работы в солнечных системах важно не допускать и глубокого разряда. Степень разряда характеризуется *глубиной разряда*, выражаемой в процентах от номинальной емкости аккумулятора.

Эксплуатация аккумуляторов при глубоком разряде приводит к необходимости их более частой замены и обслуживания - и, соответственно, к удорожанию системы. Глубину разряда аккумуляторов в солнечных системах стремятся ограничить на уровне 30...40%, что достигается отключением нагрузки (снижением мощности) или использованием аккумуляторов большей емкости. Поэтому, для управления процессом зарядки в состав солнечной электрической станции обязательно включают контроллеры зарядки разрядки аккумуляторной батареи.

Для подбора количества и типа аккумуляторов используют два параметра: конструкция инвертора (напряжение на низкой стороне) и ток зарядки, кото-

рый может поступать от нескольких источников и не должен превышать 10 % от номинальной емкости для кислотных аккумуляторов и 25 - 30% от номинальной емкости для щелочных. Если в инверторе имеется зарядное устройство от сети, то оно должно автоматически регулировать зарядный ток в зависимости от степени заряда аккумуляторов. К необходимым свойствам аккумуляторов, применяемых в солнечных системах, необходимо отнести и низкий уровень саморазряда. Обычный кислотный аккумулятор требует подзарядки не реже чем один раз в 6 месяцев иначе выходит из строя, через год после начала эксплуатации уровень саморазряда обычного кислотного аккумулятора достигает 1,5% в день от его номинальной емкости. Поэтому к аккумуляторам, применяемым в солнечных системах, предъявляются специфические требования.

Для систем автономного электроснабжения **НЕЛЬЗЯ** использовать «автомобильные» аккумуляторы или аккумуляторы, не имеющие глубокого цикла!!!

Для работы в автономных системах используются специальные аккумуляторные батареи со сроком службы до 10 и более лет.

**Свинцово-кислотные аккумуляторы с заливкой:** Жидкостные свинцово-кислотные или свинцово-кислотные аккумуляторы с заливкой чаще всего применяются для сохранения электрической энергии. Существуют аккумуляторы вентилируемого типа (наиболее распространенные), в которые можно добавлять воду, а также герметичного типа, в которые воду добавлять нельзя.

В **аккумуляторах с абсорбирующим стеклянным матом** (аккумуляторы AGM) применяется фибerglassовый мат, насыщенный серной кислотой. AGM аккумуляторы иногда называют также «недокормленными» или «сухими» аккумуляторами, потому что фибerglassовый мат насыщен серной кислотой только на 95%, и в нем отсутствует избыточная жидкость. Аккумулятор AGM «чище», при его перевозке не нужно выполнять требования, предъявляемые к опасным материалам. Они прекрасно подходят для большинства вариантов применения, способны работать в довольно тяжелых условиях и не дают утечку даже в случае повреждения. Их основным недостатком по сравнению с заливаемыми аккумуляторами является высокая стоимость – они обходятся в 2-3 раза дороже. В случае, когда пары и утечки не являются поводом для беспокойства, более экономичным выбором является, пожалуй, свинцово-кислотный аккумулятор с заливкой промышленного типа.


**Гелевые элементы** или герметичные свинцово-кислотные аккумуляторы часто выбирают в ситуациях, когда невозможно обеспечить вентиляцию аккумуляторов или их установку в требуемом положении. Гелевые элементы являются более «чистыми» – в том смысле, что из них не выделяется газ – как из свинцово-кислотных аккумуляторов. Однако гелевые элементы более чувстви-

тельных к зарядному напряжению, поскольку их невозможно вентилировать – за исключением экстренных ситуаций (которые могут вызвать непоправимые повреждения). Кроме того, гелевые ячейки гораздо более чувствительны к воздействию высоких температур и не могут в течение длительного времени – по сравнению со свинцово-кислотными аккумуляторами – находиться в разряженном состоянии. Поэтому необходимо надлежащим образом регулировать зарядку гелевых элементов. Для аккумуляторов на гелевых элементах может потребоваться дополнительный регулятор с температурной компенсацией. За конкретными рекомендациями следует обратиться к изготовителю.

**Никель-кадмиевые или железно-никелевые аккумуляторы** обычно применяют в экстремальных условиях. Эти аккумуляторы действуют при температурах ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ . Они могут обеспечивать большой ток и более глубокие и частые циклы по сравнению со свинцово-кислотными, AGM и гелевыми аккумуляторами. Срок службы железно-никелевых аккумуляторов может превышать 20 лет. Железно-никелевые аккумуляторы относятся к наиболее экологичным аккумуляторам. Однако в никель-кадмиевых аккумуляторах содержатся тяжелые металлы. К недостаткам аккумуляторов этого типа можно отнести их высокую стоимость и низкий КПД зарядки.

Для контроля за состоянием аккумуляторной батареи часто применяют **регуляторы зарядки-разрядки**. Чтобы защитить батарею от избыточной разрядки, нагрузка должна быть отключена, когда напряжение батареи падает ниже *напряжения отключения*. Нагрузка не должна подключаться до момента, когда напряжение не возрастет до определенного порога (*напряжения подключения*). Эти значения зависят от конструкции определенных батарей, производственного процесса и срока службы батарей. Чтобы защитить батарею от перезарядки необходимо ограничить зарядный ток по достижении *напряжения окончания зарядки*. Напряжение начнет снижаться, пока не достигнет другого порога, называемого *напряжением возобновления заряда*.

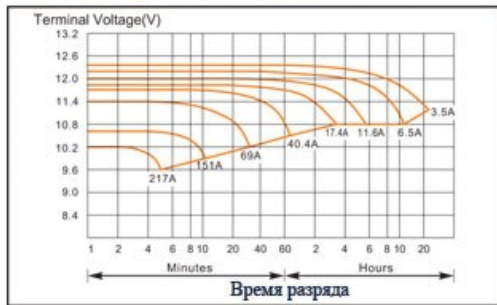
Таблица 2. Технические характеристики аккумуляторов серии GFM (X)

	Название	COSLIGHT 6-GFM-65X
	Напряжение, В	12
	Габариты, мм	350×125×226
	Вес, кг	29
	Цена	6360 руб
	Технология	AGM
	Емкость, Ач	65
	Количество циклов	500
	D.O.D 60%	

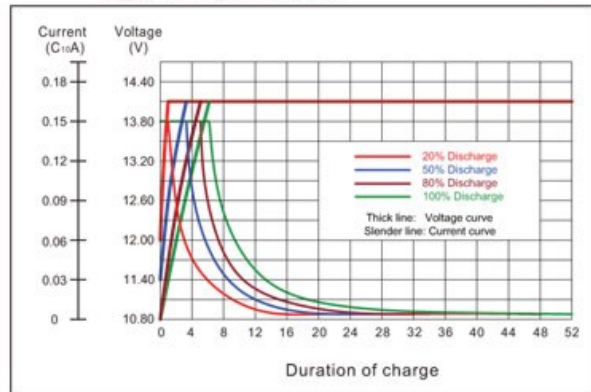
Рекомендуемое время разряда	10 мин - 10 ч
Диапазон рабочих температур	от -40°C до +50°C (оптимально +20°C)
Срок службы (при t=+20°C)	не менее 10 лет
Положительный электрод	решетчатые плоские пластины Pb-Ca-Sn

Аккумуляторы серии GFM (X) Coslight (табл. 2) производятся в виде 12 В моноблоков, включающих 6 двух вольтовых элементов, номинальной емкостью при 10 часовом режиме разряда (T=+20°C) от 50 до 150 Ач. Положительный электрод состоит из решетчатых намазных пластин из сплава свинца, кальция и олова (с высоким содержанием олова). Отрицательный электрод состоит из решетчатых намазных пластин из сплава свинца, кальция и олова. Корпус ударопрочный ABS-пластик, огнестойкий. Сепаратор изготовлен из стекловолокна собственного производства в виде конверта с высоким коэффициентом абсорбции. Электролитом является разбавленная серная кислота высшей очистки плотности 1,26-1,27 кг/л абсорбированная (впитанная) в сепаратор. Полюса выполнены герметичными на вытекание электролита с элементами из латуни для высокой электропроводности и имеют фронтальные соединительные выводы под болтовое соединение с крышками. Предохранительные клапаны препятствуют проникновению воздуха и обеспечивают выпуск газа при превышении внутреннего давления газа в аккумуляторе выше допустимого значения. Твердотельные фильтры-пластины препятствуют попаданию искр внутрь аккумулятора. На рис. 9 изображены разрядные, зарядные характеристики АБ серии COSLIGHT 6-GFM-65X.

### Разрядные характеристики (25°C)



### Зарядные кривые (25°C)



### Разряд постоянным током, А (25°C)

Final Voltage (V/cell)	Minute							Hour							
	5	10	15	20	30	40	50	1	2	3	4	5	6	8	10
1.85	123	105	86	75	57	47	41	36.8	22.8	17.0	13.5	11.4	9.8	7.7	6.4
1.80	151	122	98	83	62	51	44	38.7	23.5	17.4	13.7	11.6	9.9	7.7	6.5
1.75	174	135	105	89	66	53	46	40.4	23.9	17.6	13.8	11.6	9.9	7.8	6.6
1.70	192	144	112	93	69	55	47	41.3	24.2	17.7	13.9	11.7	10.0	7.9	6.6
1.65	206	151	116	96	70	56	48	41.7	24.4	17.8	14.0	11.8	10.1	7.9	6.6
1.60	217	157	119	98	71	57	48	42.3	24.5	17.9	14.0	11.8	10.1	8.0	6.7

### Разряд постоянной мощностью, Вт (25°C)

Final Voltage (V/cell)	Minute							Hour							
	5	10	15	20	30	40	50	1	2	3	4	5	6	8	10
1.85	268	221	153	155	124	98	86	76.1	44.2	34.6	27.5	22.9	19.3	15.3	13.1
1.80	294	231	181	159	127	99	88	77.4	44.9	35.0	28.1	23.1	19.6	15.4	13.2
1.75	333	242	183	163	129	101	90	78.7	45.5	35.4	28.5	23.3	20.0	15.6	13.3
1.70	358	247	188	166	130	103	92	79.3	46.8	35.8	28.9	23.5	20.4	15.8	13.3
1.65	372	255	191	169	131	104	94	80.0	47.5	36.2	29.3	23.7	20.9	15.9	13.4
1.60	388	259	194	172	132	105	95	80.6	48.1	36.5	29.7	23.9	21.4	16.1	13.5

Рис. 9. Разрядные, зарядные характеристики, разряды постоянным током и постоянной мощностью аккумуляторной батареи COSLIGHT 6-GFM-65X

## Регуляторы зарядки-разрядки

Стоимость регулятора заряда составляет не более 5% от стоимости всей системы (но от качества зарядных регуляторов зависит ее работа). Чтобы защитить батарею от избыточной разрядки, нагрузка должна быть отключена, когда напряжение батареи падает ниже *напряжения отключения*. Нагрузка не должна подключаться до момента, когда напряжение не возрастет до определенного порога (*напряжения подключения*). Эти значения зависят от конструкции определенных батарей, производственного процесса и срока службы батарей.

В некоторых моделях регуляторов используется звуковой сигнал, который сообщает пользователю о скором отключении нагрузки. Может предусматриваться и ручное отключение контроля нагрузки. Чтобы защитить батарею от перезарядки необходимо ограничить зарядный ток по достижении *напряжения окончания зарядки*. Напряжение начнет снижаться, пока не достигнет другого порога, называемого *напряжением возобновления заряда*.

На практике выбор напряжения окончания и возобновления заряда оптимизируется между обеспечением полного заряда (и усиленного испарения электролита при высоких напряжениях) и недозаряда (предотвращением коррозии электродов и потребления воды – низкие напряжения).

Все значения напряжений измеряются непосредственно на клеммах батареи, поэтому падение напряжения на соединительных проводах аккумуляторной батареи и регулятора не должно превышать 4% от номинального в самых неблагоприятных рабочих условиях.

Электрические нагрузки, требующие высокого значения начального тока (например, электродвигатели) могут приводить к кратковременному падению напряжения на батарее ниже напряжения отключения нагрузки (даже если батарея имеет достаточный заряд). Чтобы предотвратить эту ситуацию, необходимо отключать нагрузку на 3...30с после достижения порога напряжения *отключения нагрузки*. В регуляторах предусматривают следующие виды защиты:

- от короткого замыкания в нагрузке;
- от подключения аккумуляторной батареи обратной полярностью;
- температурная компенсация значений пороговых напряжений (это бывает необходимо, если предполагается эксплуатация батарей при температурах ниже минус 10°C).

## Инверторы

Инверторы служат для преобразования постоянного тока от аккумуляторов в переменный ток напряжением 220 В.

Если в инвертор встроено зарядное устройство для подзаряда аккумуляторов при питании от сети, а также блок слежения за наличием и качеством напряжением в сети, то такое устройство называется блоком бесперебойного питания (ББП). При пропадании напряжения в сети, или выходе его значения за установленные пределы, ББП автоматически переключается на питание от аккумуляторов.

Инверторы также различаются в зависимости от формы генерируемого напряжения переменного тока. Если форма напряжения прямоугольная (меандр), ступенчатая, или трапециевидная, то такие инверторы являются несинусоидальными. Иногда встречается нагрузка, критичная к форме напряжения - например, асинхронные двигатели или трансформаторы. Такую нагрузку нежелательно питать от несинусоидального инвертора.

Если форма напряжения максимально приближена к синусоиде, такие инверторы считаются синусоидальными. От таких инверторов можно питать любую нагрузку переменного тока. Качественный инвертор должен выдавать чистый сигнал с искажениями меньше 3%, не менять значение амплитуды напряжения при подключении нагрузки более 10%, осуществлять двойное преобразование (первое постоянного тока, второе переменного), иметь значительный запас по перегрузке и набор защитных функций: от короткого замыкания в нагрузке, от неправильного подсоединения к аккумуляторам, не допускать глубокого разряда аккумуляторов.

Инверторы – полупроводниковые приборы. Они могут быть разделены на два типа в соответствии с фотоэлектрической системой: инверторы для автономных систем и инверторы для сетевого применения. Выходной каскад у обоих типов во многом похож, а главное отличие – в схеме управления. Первый тип имеет генератор частоты, а второй должен работать синхронно с промышленной сетью (в качестве генератора частоты использует саму сеть). Для всех типов основной параметр - КПД (который должен быть более 90%).

Выходное напряжение автономных инверторов в большинстве случаев составляет 220 В (50/60 Гц), а в инверторах мощностью 10...100 кВт можно получать трехфазное напряжение 380 В. Все автономные инверторы преобразуют постоянный ток аккумуляторных батарей, поэтому входное напряжение выбирается из ряда 12, 24, 48 и 120 В. Чем больше входное напряжение, тем проще инвертор и тем больше его КПД. При больших напряжениях значительно меньше потери на передачу энергии от солнечного генератора к аккумуляторной батарее, регулятору зарядки и инвертору, но при этом усложняется конструкция солнечного генератора и его эксплуатация при опасных напряжениях (выше 40 В).



К форме выходного сигнала автономных инверторов предъявляются менее жесткие требования. В ряде случаев (если позволяет нагрузка) возможно применение 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 заметно снижаться при подключении нагрузки в десять раз меньшей (по потребляемой мощности), чем номинальная мощность инвертора. В то же время инвертор должен выдерживать перегрузки в выходных цепях (при подключении электродвигателей или других динамичных нагрузок). В идеальном случае к автономному инвертору предъявляются следующие требования:

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

К выходному сигналу сетевых инверторов предъявляются самые жесткие требования. Для уменьшения потерь на преобразование такие инверторы работают при высоких входных напряжениях (до 1000 В). Так как их входные цепи запитываются непосредственно от солнечного генератора, инверторы имеют регулятор отбора максимальной мощности. Сетевые инверторы имеют также блок контроля мощности солнечного генератора (и включаются автоматически, как только мощность генератора становится достаточной для формирования переменного сигнала).

### **Инвертор «Синус»**



*Рис. 10. Инвертор «Синус»*

Инвертор «Синус» (рис. 10) предназначен для работы электробытовых приборов и другой аппаратуры на ~220 В при питании от аккумуляторной батареи (АБ). Инвертор преобразовывает постоянное напряжение АБ в переменное синусоидальное напряжение 220 В. АБ заряжается от внешнего источника - солнечной батареи или источника переменного тока через специальное зарядное устройство. В инвертор встроен контроллер заряда АБ от солнечных батарей (СБ), что позволяет подключать СБ прямо к инвертору.

Инвертор выполняет следующие функции:

- преобразует постоянный ток низкого напряжения 24 В в переменный ток напряжением 220 В;
- преобразует постоянный ток низкого напряжения 24 В в переменный ток напряжением 220 В;
- защищает аккумуляторную батарею от переразряда;
- инвертор имеет встроенный контроллер заряда от солнечных батарей на ток до 30А и напряжением 24 В;
- переходит в «спящий» режим с пониженным собственным энергопотреблением при нагрузке менее 60 Вт.

Инвертор выполнен в защитном корпусе, на его передней стенке размещены: тумблер общего включения и выключения, световые индикаторы функционирования блока, вольтметр, автоматы защиты нагрузки, розетка для подключения нагрузки, клеммы для подключения АБ, клеммы для подключения СБ. Охлаждающие вентиляторы расположены по сторонам блока. На выходе установлен мощный силовой трансформатор.

Потребляемая мощность подсоединенного оборудования не должна превышать номинальной мощности инвертора. Компрессоры, насосы с асинхронными электромоторами в момент запуска кратковременно потребляют мощность в 5 раз превышающую номинальную. Пусковая мощность такого оборудования не должна превышать пиковую мощность инвертора.

Технические характеристики инвертора «Синус» представлены в табл. 3:

*Таблица 3. Технические характеристики инвертора «Синус»*

Параметры	Значения
Номинальная мощность, $S_H (P_H)$	1700 ВА (1200 Вт)
Пиковая мощность в течение 3 сек, Вт	$5 \cdot P_H$
Выходное напряжение, $U_{\text{ВЫХ}}$ , В	$220 \pm 5\%$ переменный ток
Частота выходного напряжения, $f$ , Гц	$50 \pm 1\%$
Форма выходного напряжения	синусоида
Входное напряжение, $U_{\text{ВХ АБ}}$ , В	24 (инвертор $P_H = 1,2$ кВт)

КПД при номинальной мощности, $\eta$ , %	95
Потребляемый ток холостого хода, $I_{xx}$ , А	менее 0,8
Потребляемый ток в «спящем» режиме, А	менее 0,2
Минимальная нагрузка для выхода из «спящего» режима, Вт	не более 60
Максимальный ток заряда от СБ, $I_3$ , А	30
Шум, дБ	не более 30
Температура эксплуатации	0 - 55 С
Влажность, %	До 70
Масса, кг	22
Габариты (глубина, высота, ширина)	200*300*380 мм (инвертор $P_H = 1,2$ кВт)

Инвертор следует устанавливать в непыльном помещении с достаточным доступом воздуха. Пыль и грязь, попадающие в инвертор через вентилятор при его охлаждении, могут вывести из строя узлы и детали инвертора. Рядом рекомендуется установить необслуживаемые герметичные АБ.

Корпус инвертора необходимо заземлить с помощью отдельного провода.

Обычно минусовая клемма входа АБ соединена с корпусом, и, таким образом, оказывается заземленной.

### **ВКЛЮЧЕНИЕ / ВЫКЛЮЧЕНИЕ**

После подключения аккумуляторной батареи инвертор готов к работе на нагрузку в автономном режиме.

Для включения инвертора необходимо перевести микротумблер общего включения инвертора в положение «Включено». Инвертор начинает работать, но напряжение на выход инвертора (розетку) подается при включении автоматов защиты.

Чтобы выключить инвертор, необходимо перевести микротумблер общего включения в положение «Выключено».

### **ИНДИКАЦИЯ**

На передней панели инвертора расположены:

- стрелочный измеритель напряжения на АБ;
- индикатор перегрузки красного цвета;
- индикатор заряда от СБ (зеленого цвета);
- индикатор подключения СБ (желтого цвета);
- индикатор включения инвертора (зеленого цвета, расположен над тумблером общего включения инвертора).

## Индикатор «Перегрузка»



Загорается в случае перегрузки инвертора

## Индикация солнечного контроллера

Для контроля режима заряда в инверторе имеются два световых индикатора, расположенные на передней панели под индикатором перегрузки – желтый и зеленый. Алгоритм работы индикаторов следующий.

Желтый индикатор:

- горит: СБ подключена, идет зарядка АБ;
- мигает: зарядка близится к концу;
- не горит: АБ заряжена полностью или не идет зарядка (отключена СБ, нет солнца).

Зеленый индикатор:

- мигает – приближается конец зарядки;
- горит – АБ заряжена полностью;

## ЗАРЯД АБ от СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

В инвертор встроен контроллер заряда АБ от СБ на ток до 30А, соответствующий напряжению 24 В. Контроллер представляет собой электронное устройство, которое коммутирует СБ при определенных напряжениях на АБ. При превышении напряжения выше установленного уровня контроллер отключает СБ от АБ (т.е. данный контроллер последовательного типа).

СБ подключаются к клеммам, помеченным как «СБ» со строгим соблюдением полярности. Заряд аккумуляторной батареи может вестись от СБ подсоединенной к клеммам аккумуляторной батареи через контроллер заряда, который защищает аккумуляторную батарею от перезаряда. Напряжение на входе контроллера не должно превышать соответственно 40 В, что соответствует напряжению холостого хода СБ. К инвертору 1700 ВА подключается СБ напряжением 24 В (максимальное напряжение на входе 40В).

Контроллер заряда осуществляет защиту АБ от перезаряда в режиме заряда от СБ, а также обеспечивает щадящий режим заряда на последней стадии заряда. При достижении напряжения на АБ около 2,4 В на банку контроллер отключает СБ от АБ. При падении напряжения на АБ до 2,25-2,3 В на банку СБ снова подключается. При этом предотвращается перегрев и закипание АБ. По мере роста степени заряженности АБ напряжение будет уменьшаться медленнее и СБ будет подключаться реже (квази - ШИМ тока заряда).

Отличительной особенностью устройства является усовершенствованный режим заряда аккумуляторной батареи. Контроллер обеспечивает 2 режима заряда – максимальным током и при постоянном напряжении.

Простейшие контроллеры заряда прекращают заряд аккумулятора при достижении 14,4 - 14,5 В (на АБ напряжением 12 В). При этом аккумулятор оказывается заряженным примерно на 60-70%. Регулярный недозаряд приводит к сульфатации пластин аккумулятора и резкому снижению срока его службы.

Данное устройство продолжает заряд аккумулятора после достижения верхнего порогового напряжения. Для предотвращения газообразования (закипания или вспучивания аккумулятора) используется особый режим заряда. Если АБ разряжена, весь ток от СБ идет на АБ через открытый ключ и развязывающий диод. При достижении напряжения 28,8 В контроллер отключается. Когда напряжение на АБ падает до 27 В, заряд возобновляется. Таким образом, обеспечивается максимальный заряд АБ от СБ. Такой режим заряда предотвращает перегрев аккумулятора и газообразование в аккумуляторе и создает условия для практически 100% заряда АБ.

Периодический полный заряд АБ очищает пластины от сульфатов и продляет срок службы аккумуляторной батареи.

### **ЗАЩИТА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ**

После того, как АБ разрядилась до недопустимо низкого уровня, инвертор отключает нагрузку. Отключение нагрузки и выключение инвертора происходит при падении напряжения АБ до 20 В (инвертор мощностью до 1,2 кВт включительно). Инвертор перестает потреблять ток от разряженной АБ, что сохраняет ее от дальнейшего губительного разряда. При повышении напряжения на АБ до 25 В инвертор автоматически подключает нагрузку.

Заряд разряженной АБ может производиться как от СБ, так и от внешнего зарядного устройства. При этом внешнее зарядное устройство необходимо подключать **напрямую к клеммам АБ**.

### **ПЕРЕГРУЗКА**

В случае перегрузки инвертор автоматически выключается и загорается индикатор «Перегрузка». Чтобы снова включать инвертор, необходимо отключить нагрузку, вызвавшую перегрузку инвертора, а затем выключить и включить инвертор микротумблером общего включения инвертора. *При устранении перегрузки выключившийся инвертор автоматически не запускается.*

### **«СПЯЩИЙ» РЕЖИМ**

Данное устройство обладает малым собственным энергопотреблением и высоким КПД. Тем не менее, КПД максимальный при примерно 80% загрузке инвертора. При меньших и больших значениях нагрузки КПД падает.

Инвертор предназначен для работы в автономных системах электроснабжения, поэтому очень важно снизить собственное потребление при отсутствии нагрузки.

В инверторе предусмотрен так называемый «спящий» режим. При отсутствии нагрузки или если нагрузка менее 60 Вт, инвертор переходит в этот режим. При этом напряжение на выходе инвертора снижается до 50-60 В, а собственное потребление падает примерно в 4 раза. Благодаря этому обеспечивается значительная экономия энергии, запасенной в АБ.

Такой режим особенно эффективен, если от инвертора питается нагрузка, которая периодически включается и выключается, например, компрессионный холодильник; ночью, когда выключается практически вся нагрузка, инвертор переходит в спящий режим.

Некоторые потребители (телевизоры, электронные часы, бытовая электроника) имеют встроенные таймеры, часы и т.п., которые обнуляются при пропадании напряжения в сети. При переходе в спящий режим, настройки будут пропадать – это нужно учитывать при эксплуатации инвертора.

Если необходимо, чтобы инвертор не переходил в спящий режим, можно отключать данную функцию. Для этого устройство содержит тумблер, который находится справа от стрелочного индикатора напряжения АБ. При выключении «спящего» режима инвертор не будет переходить в режим пониженного выходного напряжения. Однако его энергопотребление на холостом ходу возрастает.

## Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд содержит следующие компоненты (рис.17.):

1. Солнечные модули (рис. 11).

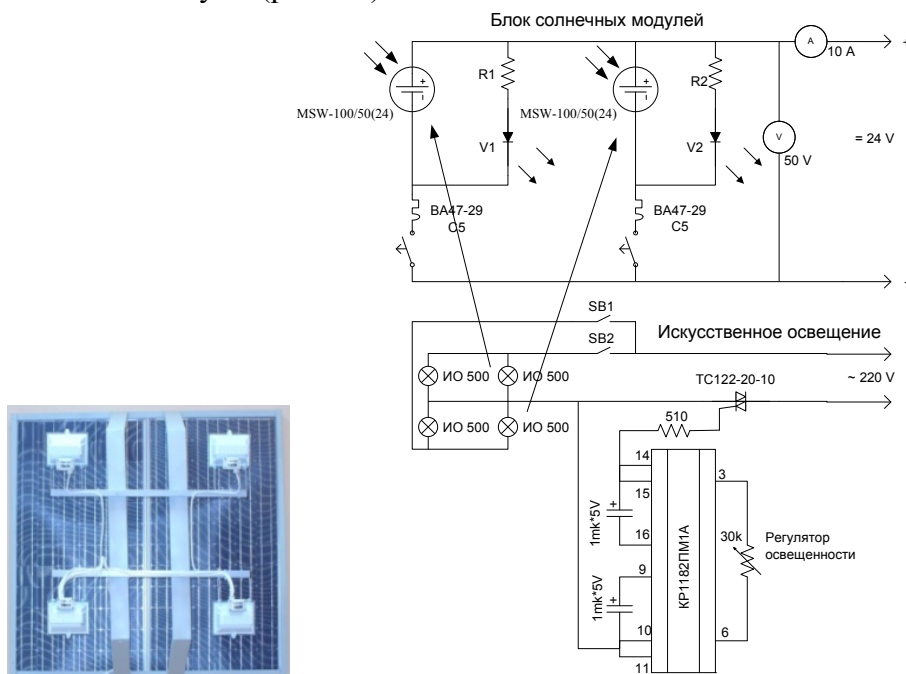


Рис. 11. Блоки солнечных модулей и искусственного освещения

2. Батареи аккумуляторов (рис. 12).

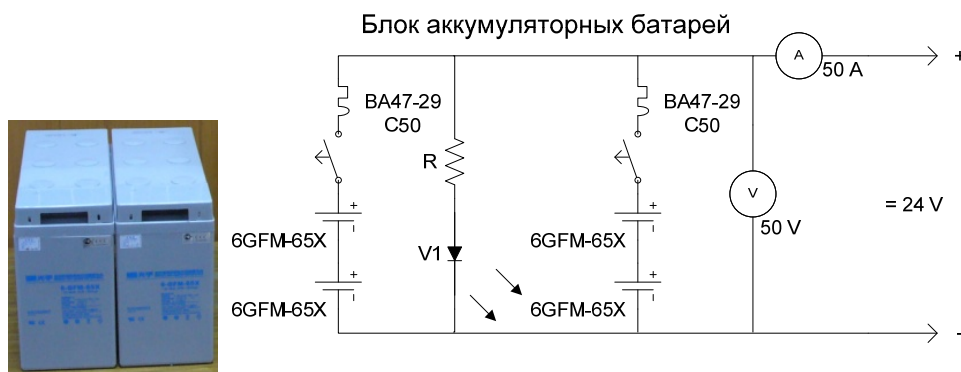


Рис. 12. Блок аккумуляторных батарей

3. Инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный, с контроллером заряда-разряда аккумуляторной батареи, который предотвращает глубокий разряд и перезаряд аккумуляторной батареи (рис. 13).



Рис. 13. Инвертор

4. Блок нагрузок постоянного тока для снятия вольтамперной характеристики солнечных элементов (рис. 14).

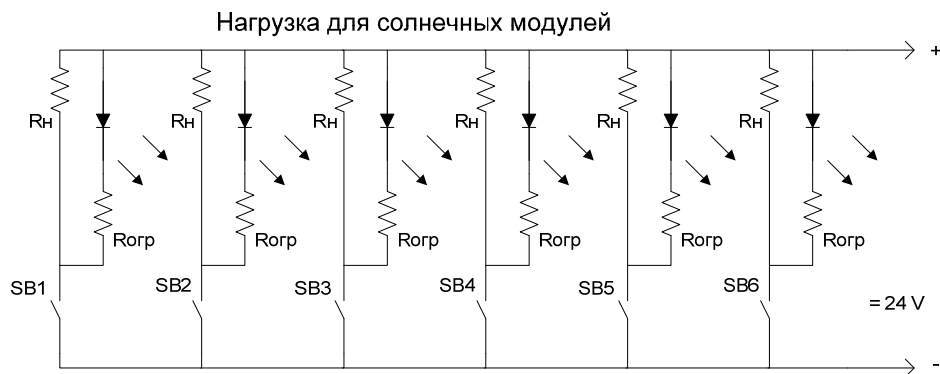


Рис. 14. Блок нагрузок для солнечных модулей

5. Блок нагрузок переменного тока для снятия вольтамперной характеристики инвертора (рис. 15).

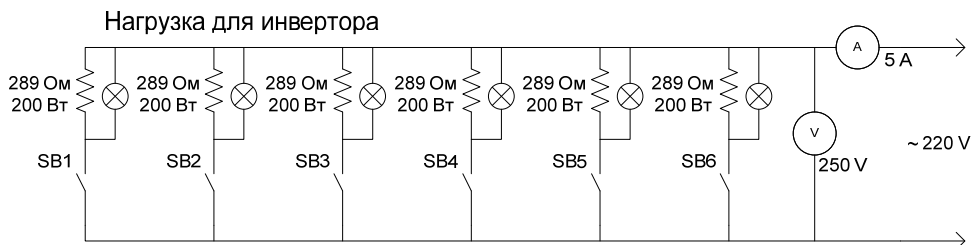


Рис. 15. Блок нагрузок для инвертора



6. Прибор для измерения интенсивности освещения – люксметр MS6610 (рис. 16).



*Рис. 16. Люксметр*

7. Блок управления освещением (рис. 17).

Для увеличения мощности солнечные модули можно соединять параллельно, однако предусмотрена возможность включения каждого модуля отдельно. Солнечные модули подключаются либо к инвертору для анализа работы системы автономного питания, либо к нагрузке для снятия вольтамперной характеристики.

Контроллер заряда-разряда аккумуляторной батареи совмещен с инвертором.

В стенде используется два блока аккумуляторных батарей по 24 В, которые можно включать независимо друг от друга.

Для имитации освещения солнечных модулей используются прожектора с регулятором освещения.

Схема соединения исследуемой автономной системы энергоснабжения приведена на рис. 18.

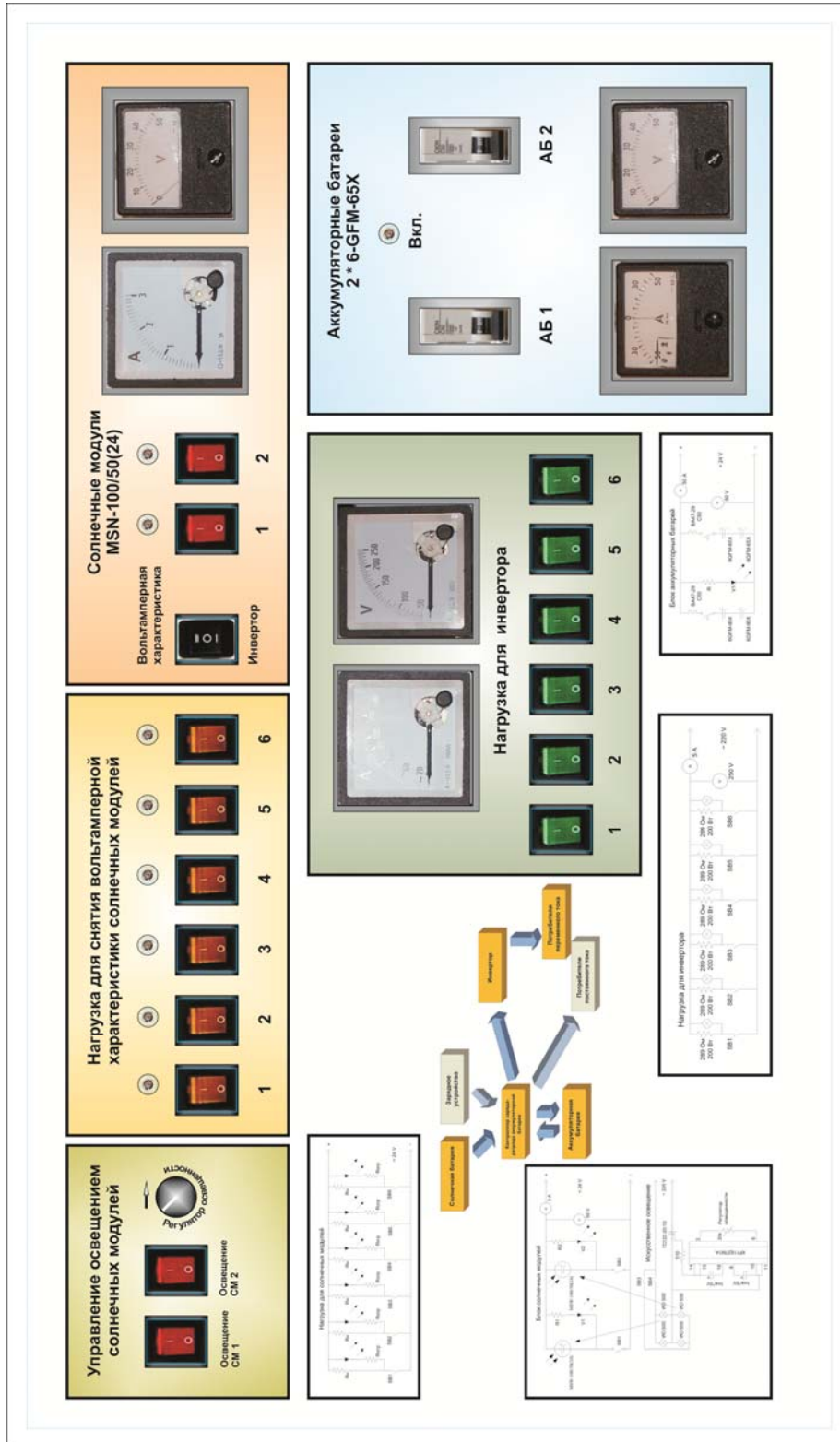


Рис. 17. Лабораторный стенд

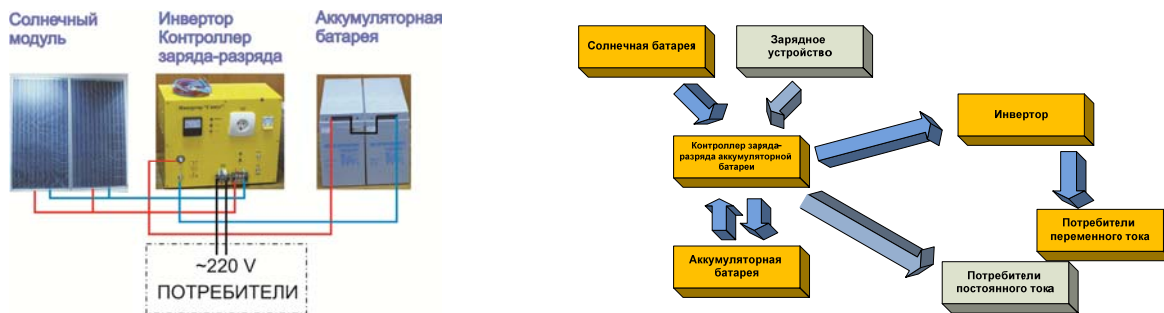


Рис. 18. Система автономного электроснабжения

Вольтамперная характеристика солнечных модулей приведена на рис. 19.

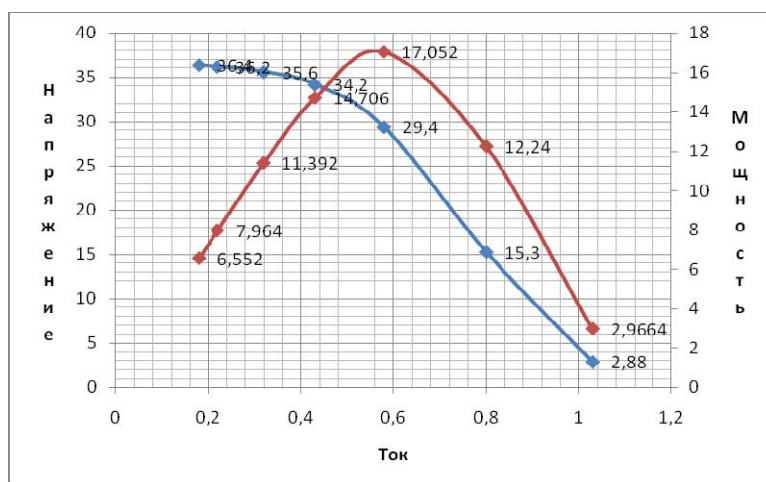


Рис. 19. Вольтамперная характеристика солнечных модулей

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности, усвоившие теоретический материал по данной теме и ознакомившиеся с оборудованием лабораторной установки.

### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Лабораторный эксперимент включает проведение трех опытов: определение вольтамперной характеристики солнечного модуля при различных уровнях освещенности, определение вольтамперной характеристики инвертора, анализ режимов системы автономного электроснабжения при различных условиях работы.

**Опыт 1.** «Определение вольтамперной характеристики солнечного модуля»

### Порядок выполнения работы

1. Подключите один солнечный модуль к нагрузке.
2. Включите прожектора для солнечного модуля. Задайте освещенность солнечного модуля.
3. Измерьте освещенность солнечного модуля люксметром в 3 точках и запишите среднюю освещенность в табл. 4.
4. Запишите значения тока и напряжения для вольтамперной характеристики в табл. 4. Снимите вольтамперные характеристики при различной освещенности солнечных модулей. Освещенность замеряйте, как указано в п.3.

Таблица 4. Опытные данные

Освещенность, лк	U, В	I, А	P, Вт	R, Ом

5. Рассчитайте значения P, R.
6. Постройте характеристики  $P, U=f(I)$  для различных значений освещенности солнечного модуля. Постройте характеристики  $P, U=f(\text{освещенность})$ .
7. Верните переключатели в исходное состояние.
8. Проанализируйте полученные данные.

**ВНИМАНИЕ!** Прожектора для освещения солнечных модулей включать не более чем на 15 минут!

Результаты проведенного опыта оформляются в индивидуальном отчете.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема для снятия вольтамперной характеристики.
3. Таблицы с данными.
4. Графики
5. Выводы по работе

### Контрольные вопросы и задания

1. Какие типы солнечных модулей Вы знаете?
2. Устройство солнечного модуля.
3. Как зависит мощность солнечного модуля от освещенности?
4. Какие условия должны выполняться при параллельном соединении солнечных модулей?
5. Как осуществляется защита солнечных элементов при неравномерном освещении солнечных модулей?
6. На какие напряжения выпускаются солнечные модули?
7. Какие технологии используют для производства солнечных модулей?
8. Какие характеристики снимают для солнечных модулей?

### **Опыт 2.** «Определение вольтамперной характеристики инвертора»

#### Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с техническим описанием инвертора.
2. Подключите один блок аккумуляторных батарей к инвертору.
3. Включите инвертор. Отключите режим «сна».
4. Запишите значения тока и напряжения для вольтамперной характеристики в табл.5.

*Таблица 5. Опытные данные*

<b>№</b>	<b>U, В</b>	<b>I, А</b>	<b>P, Вт</b>	<b>R, Ом</b>
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				

5. Рассчитайте значения P, R.

6. Постройте характеристики  $P, U=f(I)$ .
7. Включите режим «сна». Постепенно увеличивая нагрузку определите, при какой мощности инвертор переключится в рабочий режим.
8. Верните переключатели в исходное состояние.
9. Проанализируйте полученные данные.

**ВНИМАНИЕ! Прожектора для освещения солнечных модулей включать не более чем на 15 минут!**

**Результаты проведенного опыта оформляются в индивидуальном отчете.**

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Схема для снятия вольтамперной характеристики.
3. Таблицы с данными.
4. Графики.
5. Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Расскажите состав и устройство инвертора.
2. Как выбирается ток заряда аккумуляторной батареи?
3. Из каких условий выбирается напряжение для питания инвертора?
4. Для чего нужен контроллер заряда-разряда аккумуляторной батареи?
5. Нарисуйте схему автономной системы электроснабжения и поясните роль инвертора в системе.
6. Для чего применяется режим «сна» в инверторе «Синус»?
7. Укажите сигнальные индикаторы инвертора «Синус» и назовите их значение.
8. Устройство и работа инвертора «Синус».
9. Назовите основные характеристики инверторов.
10. Как осуществляется защита инвертора, аккумуляторных батарей?
11. Почему нельзя разряжать кислотные батареи до нуля?
12. Какие типы аккумуляторных батарей Вы знаете? Какие особенности эксплуатации они имеют?

**Опыт 3. «Исследование режимов системы автономного электроснабжения»**

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с устройством и техническими характеристиками солнечных модулей, инвертора «Синус», аккумуляторными батареями, устройством лабораторного стенда.
2. Подключите оба солнечных модуля. Включите инвертор. Отключите режим «сна».
3. Включите два блока прожекторов. Постепенно увеличивая освещенность определите точку выхода инвертора на рабочий режим. Затем увеличивайте нагрузку. Заполните табл. 6.

Таблица 6. Опытные данные

Освещенность, лк	Напряжение на выходе инвертора $U_{инв}$ , В	Ток на выходе инвертора $I_{инв}$ , А	Мощность на выходе инвертора $P_{инв}$ , Вт
		0	0
		0	0
		0	0

4. Постройте зависимости  $U, P = f(\text{освещенность})$ .
5. Верните переключатели в исходное состояние.
6. Подключите один блок аккумуляторных батарей к инвертору. Подключите оба солнечных модуля к инвертору.
7. Включите два блока прожекторов. Постепенно увеличивая освещенность определите значение освещенности при которой начинается зарядка аккумуляторной батареи. Данные запишите в табл. 7.

Таблица 7. Опытные данные

Освещенность, лк	Напряжение на аккумуляторной батарее $U_{ак}$ , В	Ток на аккумуляторной батарее $I_{ак}$ , А

8. Постройте зависимость  $I = f(\text{освещенность})$ .

9. Верните переключатели в исходное состояние.
10. Подключите один блок аккумуляторных батарей к инвертору. Подключите оба солнечных модуля к инвертору. Включите инвертор. Отключите режим «сна».
11. Подключите одну ступень нагрузки к инвертору.
12. Включите два блока прожекторов. Постепенно увеличивая освещенность определите значение, когда нагрузка запитывается от солнечных модулей. Заполните табл. 8.

Таблица 8. Опытные данные

Освещенность, лк	Uсм, В	Iсм, А	Pсм, Вт	Uаб, В	Iаб, А	Pаб, Вт	Un, В	In, А	Pн, Вт

13. Постройте зависимость  $P_{см}, P_{аб}, P_{н} = f(\text{освещенность})$ .
14. Верните переключатели в исходное состояние.
15. Подключите один блок аккумуляторных батарей к инвертору. Включите режим «сна». Постепенно увеличивая нагрузку, определите, при какой мощности инвертор переключится в рабочий режим.
16. Верните переключатели в исходное состояние.
17. Проанализируйте полученные данные.

**ВНИМАНИЕ! Прожектора для освещения солнечных модулей включать не более чем на 15 минут!**

**Результаты проведенного опыта оформляются в индивидуальном отчете.**

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема для снятия вольтамперной характеристики.
3. Таблицы с данными.
4. Графики.
5. Выводы по работе.



### **Контрольные вопросы и задания**

1. Как выбирается ток заряда аккумуляторной батареи?
2. Из каких условий выбирается напряжение для питания инвертора?
3. Для чего нужен контроллер заряда-разряда аккумуляторной батареи?
4. Нарисуйте схему автономной системы электроснабжения и поясните как она работает.
5. Для чего применяется режим «сна» в инверторе «Синус»?
6. Укажите сигнальные индикаторы инвертора «Синус» и назовите их назначение.
7. Устройство и работа инвертора «Синус».
8. Назовите основные характеристики инверторов.
9. Назовите типы солнечных модулей.
10. Устройство солнечного модуля.
11. Как зависит мощность солнечного модуля от освещенности?
12. Какие условия должны выполняться при параллельном соединении солнечных модулей?
13. Как осуществляется защита солнечных элементов при неравномерном освещении солнечных модулей?
14. На какие напряжения выпускаются солнечные модули?
15. Какие технологии используют для производства солнечных модулей?
16. Какие характеристики снимают для солнечных модулей?
17. В каких случаях обосновано применение системы автономного электроснабжения?
18. Как осуществляется защита инвертора, аккумуляторных батарей?
19. Почему нельзя разряжать кислотные батареи до нуля?
20. Какие типы аккумуляторных батарей Вы знаете? Какие особенности эксплуатации они имеют?

### **УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА**

Отчет должен содержать описание цели лабораторной работы, технические характеристики используемых элементов и приборов, результаты проведенных экспериментов, оформленные в виде таблиц, графиков, а также необходимые схемы и расчеты. В отчете должны быть приведены выводы по всем пунктам проведенных экспериментов. Отчет оформляется на листах формата А4 в текстовом редакторе.

Титульный лист отчета по лабораторной работе представлен в Приложении 1

Требования к структуре отчета и правила его оформления представлены в документе Занятия лабораторные. Общие требования к организации и проведению СТО ТПУ 2.3.05-2006 (<http://standard.tpu.ru/docs/standorg/stp42e.mht>).

## Лабораторная работа № 2

### «ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА AIR-X»

#### Задачи работы:

- изучить особенности конструкции ветроустановок и принцип действия автономных ветроэлектростанций;
- экспериментально установить влияние скорости ветра и электрической нагрузки на основные энергетические характеристики ветрогенератора AIR-X.

### ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

#### Ветроэнергетика

С давних времен для получения механической энергии использовалась сила ветра. Первые простейшие ветродвигатели применяли в глубокой древности в Египте и Китае. Несколько позднее (8 - 9 века) ветряные мельницы появились на Руси и в Европе. С изобретением паровых машин, а затем двигателей внутреннего сгорания и электродвигателей старые примитивные ветряные двигатели и мельницы были вытеснены из многих отраслей и остались главным образом в сельском хозяйстве. В 1922 году финским инженером Сигуртом Савониусом была создана ветроустановка. Ветроколесо представляло собой устройство с двумя или более совками, аналогичными тем, что используются в чашечных анемометрах (прибор для измерения силы ветра). В начале 20 века русский учёный Н. Е. Жуковский разработал теорию быстроходного ветродвигателя и заложил научные основы создания высокопроизводительных ветродвигателей, способных более эффективно использовать энергию ветра. В 20-30 годы, например, весьма активные позиции в ветроэнергетике занимали такие умы отечественной науки, как Н.В. Красовский, Н.В. Симонов, В.П. Ветчинкин, в 50-60 годы заслуги в создании основ ветроэнергетики имели советские ученые Е.М. Фатеев и Г.А. Гриневич, в 70-80 годы Я.И. Шедайер и др. Немало интересных работ выполнено за последние годы.

Сегодня ветроэнергетика является наиболее развитой сферой практического использования природных возобновляемых энергоресурсов. Мировой рынок ветровой энергетики развивается быстрее, чем любой другой вид возобновляемой энергетики. С 1995 года установленная мощность ветровых электростанций в мире увеличилась более чем в 12 раз: с 4800 МВт до 59000 МВт (на конец 2005 года). Оборот международного рынка ветроэнергетики в 2006 году превысил 13 млрд. евро. Всего в отрасли, по приблизительным подсчетам, заня-

то 150000 человек. Во многих странах появилась даже новая отрасль – ветроэнергетическое машиностроение. Мировыми лидерами в ветроэнергетике являются США, Германия, Испания, Нидерланды, Дания, Индия.

В ряде стран и регионов доля электроэнергии, генерируемой ветровыми станциями, составляет реальную конкуренцию традиционной энергетике. В Дании за счет энергии ветра производится 20 % электроэнергии, в Испании этот показатель достиг 8 %, в Голландии и Северных землях Германии 10 %. Приводимые цифры показывают, что ветроэнергетика уже сегодня вносит значительный вклад в энергетический баланс ряда стран.

Принцип действия ветроэнергетической установки (ВЭУ) заключается в преобразовании энергии ветра в механическую энергию вращающегося ветроколеса, а затем в электрическую энергию.

Ранее в ветроустановках применялись ветроколеса так называемого «активного» типа (карусельного и парусного типа, Савониуса и др.), использующие силу давления ветра. Эти ветроколеса имеют очень низкий КПД (менее 20%), поэтому в настоящее время для производства энергии они не применяются.

В настоящее время применяются две основные конструкции ветроколес: горизонтально-осевые и вертикально-осевые ветродвигатели (рис. 1), использующие подъемную силу крыла. Оба типа ВЭУ имеют примерно равный КПД, однако наибольшее распространение получили ветроагрегаты первого типа. Мощность ВЭУ такой конструкции может быть от сотен ватт до нескольких мегаватт [1].

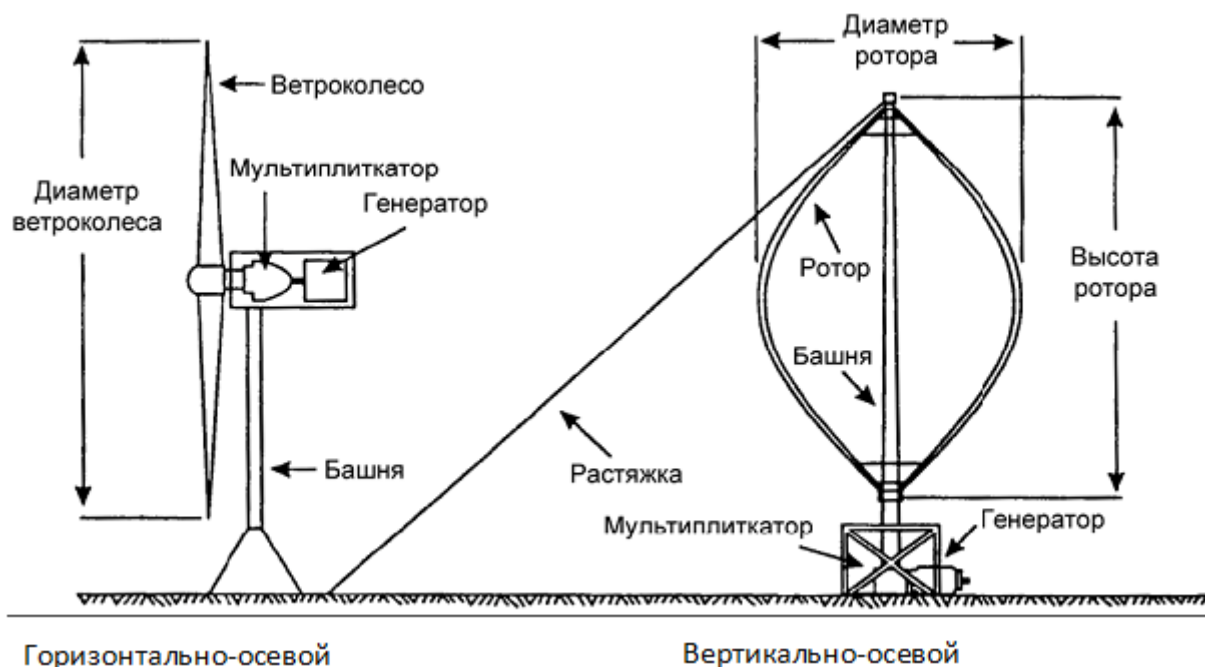


Рис. 1. Устройство современных ветроэнергетических установок

Основными компонентами ветроустановки, кроме собственно ветроколеса, являются башня, мультипликатор и генератор. В зависимости от мощности ВЭУ диаметр ветроколеса может составлять от одного до нескольких десятков метров, а номинальная частота его вращения от 15 до 100 об/мин. Мультипликатор (редуктор) служит для повышения числа оборотов ветроколеса и согласования с частотой вращения генератора. ВЭУ небольшой мощности могут не содержать мультипликатор [3].

Мощность ветрового потока можно определить из выражения:

$$P = \rho \frac{V^3 S}{2}, \text{ Вт} \quad (1)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения ветрового потока,  $\text{м}^2$ ;  $V$  – скорость ветра,  $\text{м/с}$ ;  $\rho$  – плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$ .

Плотность воздуха зависит от давления и температуры и выражается в килограммах на кубический метр. Плотность сухого воздуха  $\rho_0$  при стандартной температуре  $288 \text{ }^\circ\text{K}$  и давлении 760 мм ртутного столба составляет  $1,226 \text{ кг/м}^3$ .

Любой ветродвигатель характеризуется коэффициентом использования энергии ветра  $\xi$ , который определяется как отношение механической мощности на валу ветроколеса  $P_{\text{вк}}$  к мощности ветрового потока  $P$ :

$$\xi = \frac{P_{\text{вк}}}{P} \quad (2)$$

Коэффициент использования энергии ветра определяет максимум части энергии ветрового потока, которая может быть использована ветродвигателем. Максимальное значение коэффициента мощности ветроколеса зависит от его быстроходности и достигает теоретического максимума, равного 0,593, которое впервые было вычислено Бетцом.

Реальный коэффициент использования энергии ветра всегда меньше теоретического за счёт образования вихрей, сходящих с концов лопастей, профильных потерь, которые вызываются трением струй воздуха о поверхность крыла, потерь на кручение струи, потерь, происходящих вследствие неполного использования всей ометаемой площади крыла.

В зависимости от числа лопастей различают ветроколеса быстроходные (менее 4), средней быстроходности (от 4 до 8) и тихоходные (более 8 лопастей). Быстроходность ветроколеса оценивается числом модулей  $Z$ , равным отноше-

нию окружной скорости внешнего конца радиуса лопасти, вращающейся с угловой скоростью, к скорости набегающего потока. Значение быстроходности можно рассчитать, если известны расчетное число оборотов при заданной скорости ветра:

$$Z = \frac{\omega R}{V}, \quad (3)$$

где  $\omega$  – угловая частота вращения ветродвигателя, рад/с;  $R$  – радиус лопасти ветроколеса, м.

Чем больше число лопастей рабочего колеса, их ширина и угол поворота лопастей относительно плоскости вращения, тем при прочих равных условиях, быстроходность двигателя ниже.

Основным типом ветродвигателя, получившим практическое применение, является двигатель крыльчатой конструкции, в котором вращающий момент создается за счет аэродинамических сил, возникающих на лопастях рабочего ветроколеса. В большинстве стран выпускают и применяют только крыльчатые ветродвигатели (Основные типы ветродвигателей <http://www.invertor.ru/veter.htm>). Они отличаются большими коэффициентами использования энергии ветра и значительно большей быстроходностью. Максимальное значение  $\xi$  для быстроходных колес достигает 0,45 - 0,48.

Электрическая мощность, развиваемая ветроэнергетической установкой, может быть определена из выражения:

$$P_{ВЭУ} = \pi \rho V^3 \frac{R^2}{2} \xi \eta, \text{ Вт} \quad (4)$$

где  $\eta$  – КПД электромеханического преобразования энергии (в пределах 0,7 – 0,85).

Момент на валу ветроколеса равен:

$$M_{ВЭУ} = \pi \rho V^2 \frac{R^3}{2 \cdot Z} \xi, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (5)$$

Крыльчатые ветродвигатели с горизонтальной осью вращения наиболее эффективны, когда поток воздуха перпендикулярен плоскости вращения лопастей. Для обеспечения этого условия в составе ВЭУ требуется устройство автоматического поворота оси вращения. Обычно эту роль выполняет крыло-

стабилизатор. Ветро двигатели с вертикальной осью вращения могут работать при любом направлении ветра без изменения своего направления.

Так как основным фактором, определяющим производительность ВЭУ, является скорость ветра, производители ветроэнергетического оборудования приводят в документации на ветроагрегат такие важные показатели как минимальная, номинальная и максимальная скорость ветра.

За минимальную скорость ветра  $V_{\min}$  принимают скорость, при которой обеспечивается вращение ветроколеса с номинальной частотой вращения и нулевой производительностью (холостой ход).

Номинальная (расчетная) скорость ветра  $V_{\text{ном}}$  – это скорость, при которой ВЭУ развивает номинальную мощность  $P_{\text{ном}}$ . Под номинальной мощностью ВЭУ следует понимать максимальное значение выходной мощности, на которую рассчитана энергетическая установка в длительном режиме работы.

Максимальная скорость ветра  $V_{\max}$  - это скорость ветра, при которой расчетная прочность ветроагрегата позволяет производить энергию без повреждений. При скоростях ветра выше максимальной скорости ВЭУ должна быть выведена из работы.

На рис. 2 приведены типичные зависимости выходной мощности ВЭУ от величины нагрузки при различных скоростях ветра ( $V_1 < V_2 < V_3 < V_4 < V_5$ ).

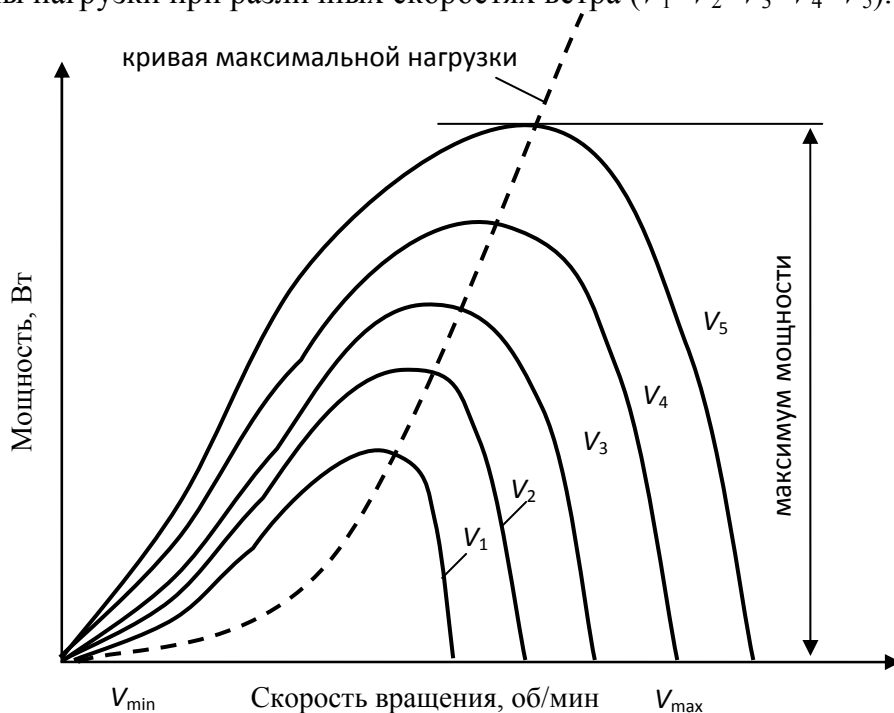


Рис. 2. Типичные зависимости выходной мощности ВЭУ от величины нагрузки

Необходимость бесперебойного электроснабжения потребителей обуславливает наличие в составе автономной электростанции гарантированного источника питания, способного обеспечить потребителя необходимой электрической энергией в периоды ветрового затишья и слабых ветров. В качестве такого источника в автономных ветроэлектростанциях (ВЭС) чаще всего используют аккумуляторные батареи. Структурная электрическая схема автономной ВЭС представлена на рис. 3.

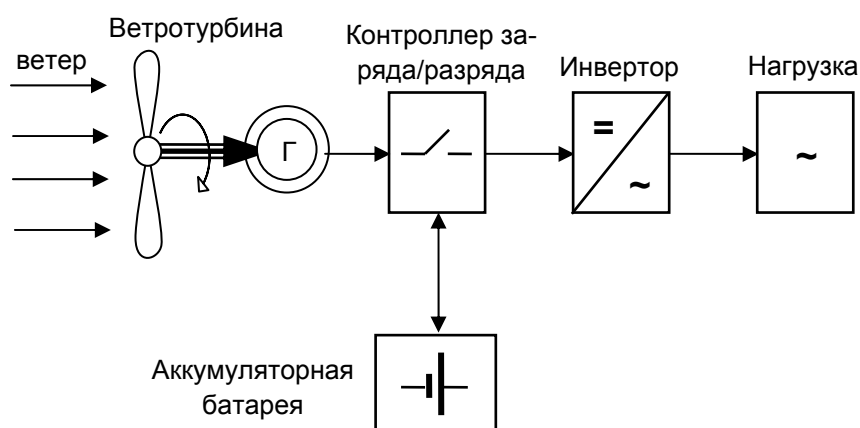


Рис. 3. Структурная схема автономной ветроэлектростанции

Так как аккумуляторная батарея работает на постоянном токе, а большинству потребителей требуется ток переменный, в составе автономной ВЭС необходимо предусмотреть устройство для преобразования постоянного тока в переменный – инвертор. Необходимую выходную мощность инвертора определяет пиковая нагрузка, а емкость аккумуляторных батарей выбирается исходя из необходимого запаса энергии, который нужно обеспечить электростанции для покрытия электрических нагрузок в периоды простоя ветроагрегата.

Для оптимизации процессов заряда/разряда аккумуляторных батарей в состав установки входит контроллер заряда/разряда. Необходимость применения в составе ВЭС контроллера заряда/разряда связана с тем обстоятельством, что аккумуляторные батареи очень критичны к величине зарядного тока и глубине разряда. Использование контроллера заряда позволяет существенно продлить срок службы аккумуляторов и снизить эксплуатационные затраты на обслуживание электростанции.

Использование в составе автономной ВЭС аккумуляторных батарей, контроллера заряда и инвертора повышают затраты на 1 кВт установленной мощности электростанции, однако это позволяет значительно упростить конструкцию ветроагрегата. Так как стабилизация выходных электрических параметров электростанции обеспечивается при помощи аккумуляторов и инвертора, нет

необходимости в стабилизации частоты вращения ветроколеса и регулировании величины выходного напряжения электрического генератора. Современным решением конструкции генератора ветроэлектростанции малой мощности является безредукторный многополюсный синхронный генератор с возбуждением от постоянных магнитов и полупроводниковым выпрямителем выходного напряжения якорной обмотки. Ветроколесо выполняется с жестко закрепленными лопастями, и его частота вращения определяется только силой ветра и величиной нагрузки. Для защиты от буревых ветров ветродвигатель оснащен специальным механизмом, выводящим ветроколесо из-под ветра.

Невысокие массо-габаритные показатели аккумуляторов и их сравнительно небольшой срок службы ограничивают применение представленной выше схемы ВЭС мощностями до 10 кВт. Подобные ВЭС находят практическое применение в качестве источника электроснабжения отдельных домов, коттеджей, небольших ферм, телекоммуникационных, метеорологических объектов и т.п.

Для электроснабжения более крупных потребителей (деревень, поселков, геологических объектов и т.п.) используют ветро-дизельные электростанции. В таких электростанциях дизель-генератор выполняет роль гарантированного источника электропитания, а ВЭУ, покрывая часть электрической нагрузки потребителя, обеспечивает экономию дорогостоящего дизельного топлива. Диапазон рабочих мощностей ветро-дизельных комплексов гораздо шире – от единиц кВт до десятков МВт.

### **Вопросы и задания**

1. Проанализируйте основные недостатки и достоинства возобновляемых источников электроэнергии.
2. Назовите факторы, определяющие конкурентоспособность возобновляемой энергетики с традиционными электростанциями.
3. Охарактеризуйте вклад отечественных ученых в развитие ветроэнергетики.
4. Приведите примеры основных схемных решений согласования возобновляемых источников электроэнергии с потребителем.
5. Сравните особенности различных типов ветродвигателей.
6. Перечислите основные элементы ветроустановки.
7. Запишите формулу для расчета коэффициента использования энергии ветра.
8. Назовите параметры, от которых зависит быстроходность ветроколеса.



## Описание лабораторной установки

Лабораторная установка «Исследование автономной системы электропитания на базе ветрогенератора AIR-X» (рис. 4) включает следующие основные элементы: ветрогенератор, вентилятор, блок управления.





Рис. 4. Ветрогенератор AIR-X и вентилятор

Технические данные рабочих элементов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Технические данные основных элементов установки

Название	Технические характеристики	Фото
Ветрогенератор мобильный <b>AIR-X</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- диаметр ротора 1,15 м</li> <li>- выходное напряжение (постоянный ток) 12 В</li> <li>- максимальная мощность при ветре 12,5 м/с - 400 Вт</li> <li>- корпус литой алюминий</li> <li>- выработка при ветре 5,4 м/с - 38 кВт/час в месяц</li> <li>- максимальная скорость ветра 49,2 м/с</li> </ul>	

Название	Технические характеристики	Фото
Вентилятор Ruck EL315E201	<ul style="list-style-type: none"> <li>- диаметр лопастей 315 мм</li> <li>- тип электродвигателя: асинхронный с короткозамкнутым ротором</li> <li>- номинальная частота вращения 3000 об/мин</li> <li>- номинальный расход воздуха 8300 м<sup>3</sup>/час</li> </ul>	
Блок управления	<p><b>Назначение:</b> управление режимом работы ветроэлектростанции и контроль ее параметров</p> <p><b>Габаритные размеры:</b> 100 x 100 x 100 мм</p> <p><b>Состав:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- тумблер включения вентилятора</li> <li>- преобразователь частоты E2 MINI</li> <li>- набор нагрузочных сопротивлений</li> <li>- ключи управления нагрузкой ветрогенератора</li> <li>- измерительные приборы</li> </ul>	

Генератор AIR-X – разработка компании Southwest Windpower (США). Лопастя AIR сделаны из углеволоконного усиленного композита и имеют уникальное кручение, дающее максимальную эффективность выработки при данной ометаемой площади. Скручивающий эффект при критических скоростях ветра меняет фронтальную плоскость, что замедляет вращение и предупреждает повреждение генератора.

Электрический генератор AIR-X является синхронной машиной безщеточного типа с неодимевыми ферроборовыми постоянными магнитами и оптимизирован для оптимальной эффективной работы без обслуживания. Мощностная характеристика ветрогенератора AIR-X приведена на рис. 5.

Для создания воздушного потока в лабораторной установке используется вентилятор диагонального типа Ruck EL315E201 производства компании «Ruck Ventilatoren GmbH» (Германия).

Изменение скорости воздушного потока, создаваемого вентилятором, производится за счет изменения его частоты вращения, которое обеспечивается преобразователем частоты E2 MINI, производства компании «ВЕСПЕР» (Россия), через который вентилятор подключен к электрической сети.

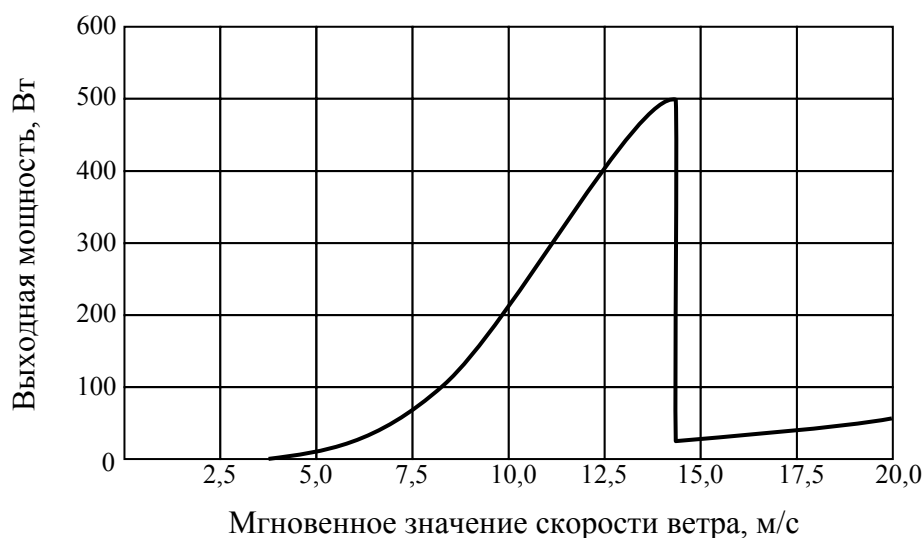


Рис. 5. Каталожная мощностная характеристика ветрогенератора AIR-X

Преобразователь E2-MINI разработан для регулируемых приводов на основе асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Преобразователь обеспечивает изменение выходной частоты от 1 до 50 Гц, защиту двигателя от перегрузок, имеет аналоговые и цифровые входы/выходы для регулирования и дистанционного управления. Панель управления преобразователя частоты приведена на рис. 6.

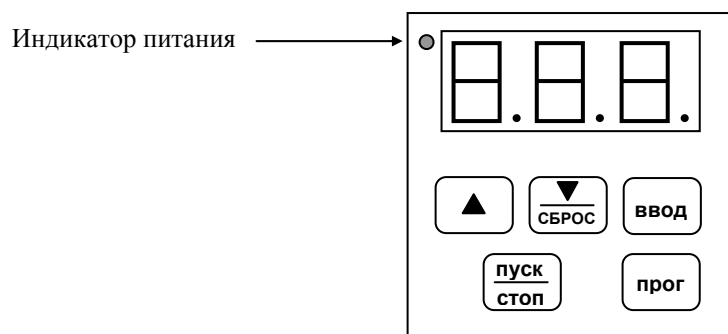


Рис. 6. Панель управления преобразователя частоты E2 MINI

Назначение основных клавиш панели управления представлено в табл. 2.

Таблица 2. Назначение клавиш панели управления

Клавиша	Режим управления	Режим программирования
	Увеличение заданной частоты	1. Увеличение порядкового номера константы 2. Увеличение значения константы
	1. Уменьшение заданной частоты 2. Сброс сигнала ошибки	1. Уменьшение порядкового номера константы 2. Уменьшение значения константы
	Не используется	1. Чтение значения констант 2. Запись значения констант
	Переход в режим программирования	Выход из режима программирования
	Пуск и останов двигателя	Пуск и останов двигателя

Структурная схема лабораторного стенда приведена на рис. 7.

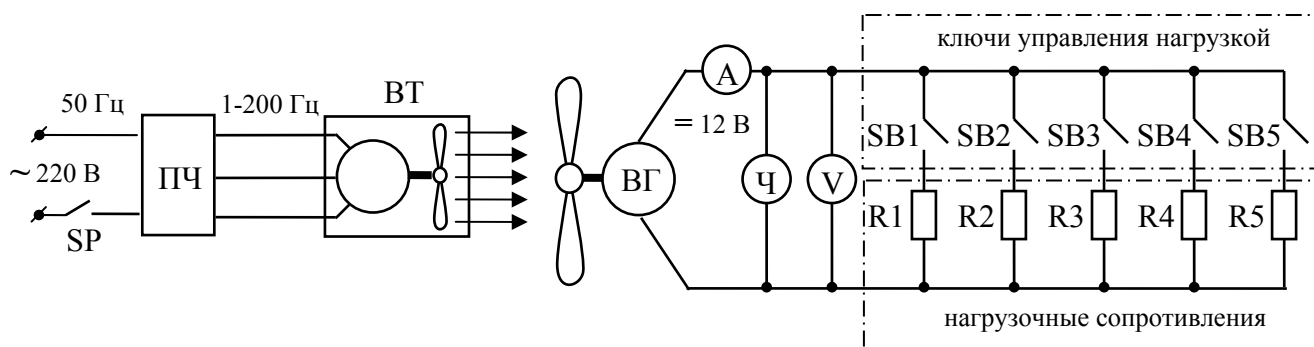


Рис. 7. Структурная схема лабораторного стенда

Электропитание лабораторной установки производится от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц. При замыкании ключа SP (Вентилятор) питание подается на преобразователь частоты ПЧ. С выхода преобразователя трехфазное напряжение переменного тока с регулируемой частотой от 1 до 50 Гц подается на двигатель вентилятора ВТ, который создает воздушный поток. Ветровая энергия приводит во вращение ветрогенератор ВГ, с выхода которого снимается напряжение постоянного тока. В качестве электрической нагрузки ветрогенератора в лабораторной установке используется набор активных сопротивлений R1÷R5, параллельное подключение которых осуществляется с помощью ключей SB1÷SB5. В цепи нагрузки ветрогенератора установлены измерительные приборы: амперметр и вольтметр постоянного тока.

и частотомер. Частотомер подключен к цепи постоянного тока через логическую схему, которая вычисляет частоту вращения ветрогенератора по частоте пульсаций выпрямленного напряжения.

### **Вопросы и задания**

1. Проанализируйте структурную схему лабораторного стенда.
  - 1.1. Какую функцию выполняет преобразователь частоты?
  - 1.2. Как вычисляется частота вращения ветрогенератора?
2. Проанализируйте каталожную мощностную характеристику ветрогенератора AIR-X.
  - 2.1. Чему равна пусковая скорость ветрогенератора?
  - 2.2. Чем характеризуется резкое снижение выходной мощности на скоростях, превышающих 13 м/с?
  - 2.3. Чему равна максимальная выходная мощность ветрогенератора?

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности, усвоившие теоретический материал по данной теме и ознакомившиеся с оборудованием лабораторной установки.

### АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперимент осуществляется в три этапа: пуск ветрогенератора, проведение опытов, останов ветрогенератора.

#### 1. Пуск ветрогенератора

1.1. Подайте питание на преобразователь частоты ПЧ (Вентилятор).

1.2. Произведите пуск двигателя вентилятора нажатием клавиши



#### 2. Проведение опытов

2.1. Зафиксируйте минимальную скорость, при которой происходит пуск ветрогенератора.

2.2. При помощи клавиш управления устанавливайте необходимую выходную частоту преобразователя.

2.3. При достижении ветрогенератором установившегося режима работы (через 15-20 сек) снимите показания измерительных приборов.

2.4. Последовательным замыканием ключей SB1÷.SB5 изменяйте нагрузку ветрогенератора от холостого хода до максимальной.

#### 3. Останов ветрогенератора

3.1 Остановите двигатель вентилятора нажатием клавиши

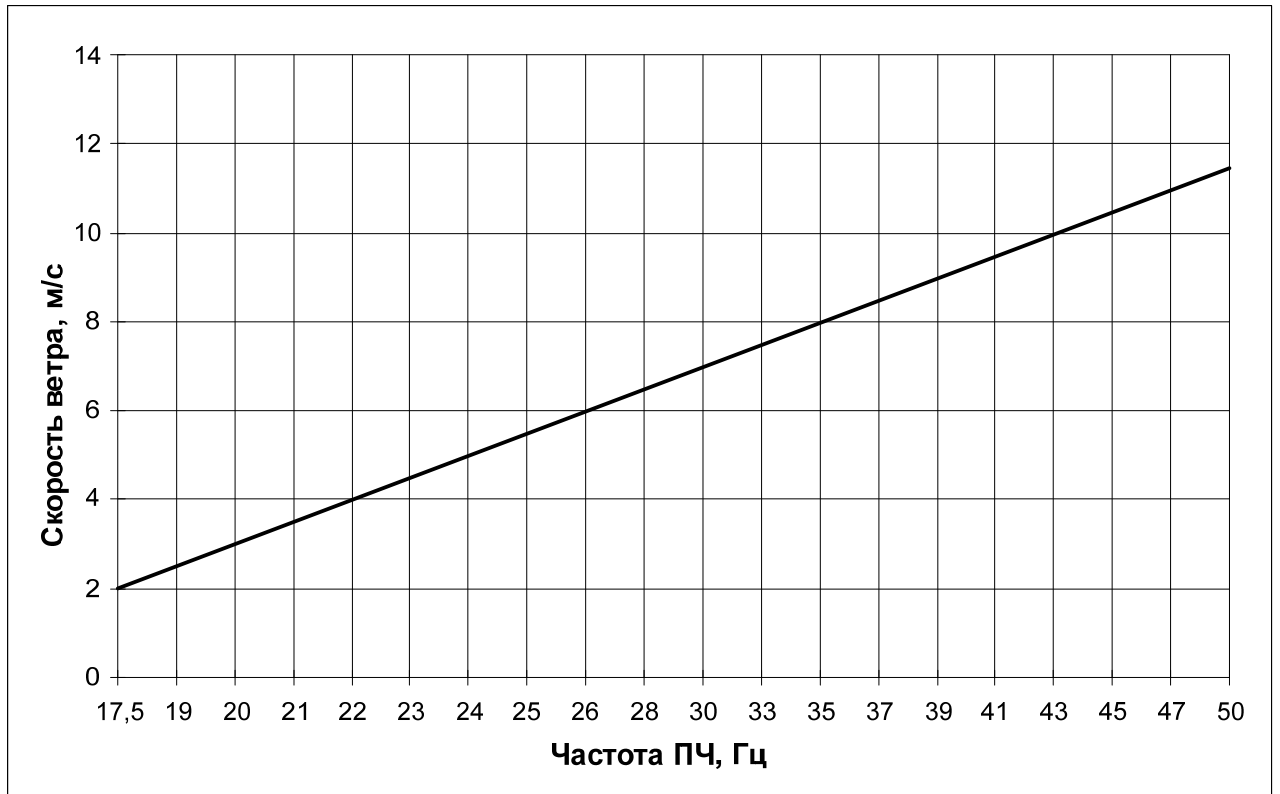


3.2. Верните все тумблеры панели управления в исходное состояние.

### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперимент включает три опыта: определение коэффициента использования энергии ветра, определение электрической мощности ветрогенератора (механической мощности и момента ветродвигателя), быстроходности ветроколеса.

При обработке опытных данных необходимо воспользоваться зависимостью (рис. 8), позволяющей определить скорость воздушного потока у ветроколеса при изменении частоты ПЧ.



*Рис. 8. Зависимость скорости ветра от частоты ПЧ*

**Опыт 1.** «Определение коэффициента использования энергии ветра  $\xi$  при изменении скорости воздушного потока  $V$  и нагрузки ветрогенератора»

### Задание

1. Определите коэффициент использования энергии ветра  $\xi$  при изменении скорости ветра  $V$ ;
2. Постройте зависимости коэффициента использования энергии  $\xi$  от скорости ветра  $V$  при разных ступенях нагрузки,  $\xi = f(V)$ .

Для проведения первого опыта необходимо изменять частоту преобразователя частоты в диапазоне от 27 до 45 Гц и нагрузку ветрогенератора от минимальной до максимальной. Каждое измерение следует повторять не менее трех раз. Экспериментальные данные необходимо занести в табл. 3.

Таблица 3. Опытные данные

№	f, Гц	Нагрузка 1		Нагрузка 2		Нагрузка 3		Нагрузка 4		Нагрузка 5	
		I, А	U, В	I, А	U, В	I, А	U, В	I, А	U, В	I, А	U, В
1	27										
2	29										
3	31										
4	33										
5	35										
6	37										
7	39										
8	41										
9	43										
10	45										

**Опыт 2.** «Определение электрической  $P_{эл}$ , механической мощности ветрогенератора  $P_{мех}$  и момента ветродвигателя  $M_b$  при изменении скорости ветра и нагрузки ветродвигателя»

### Задание

1. В одних осях координат постройте экспериментальные зависимости механической мощности ветрогенератора  $P_{мех}$  от скорости вращения  $V$  и частоты вращения  $n$  при разных ступенях нагрузки,  $P_{мех} = f(n)$ ;
2. В одних осях координат постройте экспериментальные зависимости момента ветродвигателя  $M_b$  от скорости вращения  $V$  и частоты вращения  $n$  при разных ступенях нагрузки,  $M_b = f(n)$ .
3. В одних осях координат постройте семейство экспериментальных мощностных характеристик ветрогенератора AIR-X при разных ступенях нагрузки,  $P_{эл} = f(V)$ , и нанесите на график каталожная характеристику.



Для проведения опыта необходимо изменять частоту преобразователя частоты в диапазоне от 27 до 45 Гц и нагрузку ветрогенератора от минимальной до максимальной. Каждое измерение следует повторять не менее трех раз. Экспериментальные данные необходимо занести в табл. 4.

Таблица 4. Опытные данные

№	f, Гц	Нагрузка 1			Нагрузка 2			Нагрузка 3			Нагрузка 4			Нагрузка 5		
		I, А	U, В	n, об/мин	I, А	U, В	n, об/мин	I, А	U, В	n, об/мин	I, А	U, В	n, об/мин	I, А	U, В	n, об/мин
1	27															
2	29															
3	31															
4	33															
5	35															
6	37															
7	39															
8	41															
9	43															
10	45															

**Опыт 3.** «Определение быстроходности ветроколеса  $Z$  при изменении скорости воздушного потока  $V$  и нагрузки ветрогенератора»

**Задание**

1. Определите быстроходность ветроколеса  $Z$  при изменении скорости воздушного потока  $V$  и нагрузки ветрогенератора.
2. Постройте зависимости быстроходности ветроколеса  $Z$  от скорости ветра  $V$  при разных ступенях нагрузки,  $Z = f(V)$ .

Для проведения опыта необходимо изменять частоту преобразователя частоты в диапазоне от 27 до 45 Гц и нагрузку ветрогенератора от минимальной до максимальной. Каждое измерение следует повторять не менее трех раз. Экспериментальные данные необходимо занести в табл. 5.

Таблица 5. Опытные данные

№	f, Гц	Нагрузка 1	Нагрузка 2	Нагрузка 3	Нагрузка 4	Нагрузка 5
		n, об/мин	n, об/мин	n, об/мин	n, об/мин	n, об/мин
1	27					
2	29					
3	31					
4	33					
5	35					
6	37					
7	39					
8	41					
9	43					
10	45					

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Структурная схема лабораторной системы электроснабжения.
3. Таблицы с экспериментальными и расчетными данными.
4. Основные расчетные формулы и расчеты коэффициента использования энергии ветра, электрической и механической мощностей, момента ветрогенератора, быстроходности ветроколеса.
5. Графические зависимости.
6. Выводы по работе. На основании полученных данных проанализировать работу автономной системы электроснабжения.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Сравните, что повлияет в большей степени на количество вырабатываемой мощности ВЭУ: увеличение скорости ветра в 2 раза или увеличение диаметра ветроколеса в 2 раза.
2. Проанализируйте работу основных структурных схем ветродизельных комплексов.
  - 2.1. Сформулируйте их основные особенности, достоинства и недостатки.
3. Оцените возможность использования возобновляемых источников энергии в Томской области.
  - 3.1. Какой источник наиболее перспективен для Томской области?

### **УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА**

Отчет должен содержать описание цели лабораторной работы, технические характеристики используемых элементов и приборов, результаты проведенных экспериментов, оформленные в виде таблиц, графиков, а также необходимые схемы и расчеты. В отчете должны быть приведены выводы по всем пунктам проведенных экспериментов. Отчет оформляется на листах формата А4 в текстовом редакторе.

Титульный лист отчета по лабораторной работе представлен в Приложении 1

Требования к структуре отчета и правила его оформления представлены в документе Занятия лабораторные. Общие требования к организации и проведению СТО ТПУ 2.3.05-2006 (<http://standard.tpu.ru/docs/standorg/stp42e.mht>).

### **Задание для самостоятельной работы**

Используя данные о средней месячной и годовой скорости ветра (Приложение 2) и каталожную мощностную характеристику ветрогенератора

AIR-X (рис. 5), определите количество вырабатываемой электроэнергии данной ветроустановкой в регионах Томской области при разных высотах башни.

Таблица 6. Варианты станций

№ п/п	Станции	Высота башни, м	выработка электроэнергии, Вт·ч				
			Зима	Весна	Лето	Осень	Годовая
1	Ягыл-Яг	15					
2	Новый Васюган	20					
3	Катыльга	25					
4	Майск	30					
5	Александровское	35					
6	Средний Васюган	40					
7	Ново-Никольское	45					
8	Прохоркино	50					
9	Пудино	55					
10	Старица	15					
11	Кёнга	20					
12	Каргасок	25					
13	Парабель	30					
14	Бакчар	35					
15	Напас	40					
16	Чаинское, оп. п.	45					
17	Подгорное	50					
18	Березовка	55					
19	Колпашево	15					
20	Молчаново	20					
21	Кривошеино	25					
22	Кожевникова	30					
23	Ванжиль-Кынак	35					
24	Брагино	40					
25	Палочка	45					
26	Томск	50					
27	Белый Яр	55					
28	Батурине	15					
29	Первомайское	20					
30	Степановка	25					
31	Максимкин Яр	30					
32	Усть-Озерное	35					
33	Тегульдет	40					
34	Тутало-Чулым	45					

## ЛИТЕРАТУРА

1. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б. В. Лукутин, О. А. Суржикова, Е. Б. Шандарова. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.

2. В.Г.Лабейш. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учеб. пособие. – СПб.: СЗТУ. 2003 – 78 с.
3. Данченко А. М., Задде Г. О., Земцов А. А., Земцов В. А., Инишева Л. И., Лукутин Б. В., Мезенцев А. В., Маслов С. Г., Назаров А. Д., Обухов С. Г., Севостьянов В. В., Севостьянова Л. М., Слущкий В. И. Кадастр возможностей / Под ред. Б. В. Лукутина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 280 с.: ил.
4. DIERET - дистанционный интернет курс «Технологии использования возобновляемых источников энергии». URL: <http://www.ecomuseum.kz>. (дата обращения 05.05.2010).
5. Ветроэнергетика. Руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности / Электронная версия – <http://www.intersolar.ru/wind>.
6. Ветроэнергетика. Под ред. Д. де Рензо / М.Энергоатомиздат, 1982 – 270 с.
7. Институт энергетической стратегии. URL: <http://www.energystrategy.ru/> (дата обращения 05.05.2010).

## **Оглавление**

ГЛОССАРИЙ.....	4
СОКРАЩЕНИЯ .....	6
ВВЕДЕНИЕ .....	7
Лабораторная работа № 1 .....	9
«ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ» .....	9
ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ .....	9
Система автономного электроснабжения.....	10
Солнечные модули .....	11
Аккумуляторные батареи .....	17
Регуляторы зарядки-разрядки .....	23
Инверторы .....	23
Описание лабораторного стенда.....	31
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	35
ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	35
Опыт 1. «Определение вольтамперной характеристики солнечного модуля» .....	35
Опыт 2. «Определение вольтамперной характеристики инвертора» .....	37
Опыт 3. «Исследование режимов системы автономного электроснабжения» .....	38
УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.....	41
Лабораторная работа № 2 .....	42
«ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА AIR-X» .....	42
ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ .....	42
Описание лабораторной установки.....	49
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	54
АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА .....	54
ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	54
УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.....	58
ЛИТЕРАТУРА .....	59

Учебное издание

ЛУКУТИН Борис Владимирович, МУРАВЛЕВ Игорь Олегович,  
МУРАВЛЕВ Алексей Игоревич, ОБУХОВ Сергей Геннадьевич,  
ШУТОВ Евгений Алексеевич, ЮДИНА Кира Владимировна

## **Исследование автономной системы электропитания на базе ветрогенератора и солнечного модуля**

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсам  
«Солнечная энергетика и фотоэлектростанции», «Ветроэлектростанции»  
для студентов V курса, обучающихся по направлению  
140200 «Электроэнергетика», специальности  
140200.12 «Возобновляемые источники энергии»

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинала-макета**

Подписано к печати 17.06.2010. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».


Печать XEROX. Усл.печ.л. 3,61. Уч.-изд.л. 3,26.

Заказ . Тираж 40экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru