

**Министерство образования и науки РФ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
**(ВлГУ)**

**Кафедра электротехники и электроэнергетики**

# **Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии**

**Методические указания к самостоятельной работе студентов**

Составители:

Г.П. Колесник

С.А. Сбитнев

Владимир 2015

УДК.621.311

ББК 22.332

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Приборостроение и информационно-измерительные технологии»,

Владимирского государственного университета

*В.С. Грибакин*

Печатается по решению редакционно-издательского совета

Владимирского государственного университета

Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии (Электронный ресурс). Методические указания к самостоятельной работе студентов. / Составители Г.П. Колесник, С.А. Сбитнев – Владимир, Владим. гос. ун-т. 2015. 57 с.

Содержат методические указания и материалы к самостоятельной работе студентов при подготовке к практическим занятиям по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии». По основным направлениям возобновляемых источников электроэнергии изложены принцип действия, устройство и способы внедрения их в электроэнергетические системы.

Методические указания составлены в соответствии с Федеральным Государственным образовательным стандартом для студентов первого курса магистратуры направления 140400.68 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения.

Табл 10. Ил. 17. Библиогр.: 21 назв.

УДК 621.311

ББК 22.332

ISBN

©Владимирский государственный  
университет, 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Источники информации и самостоятельная работа студента с ними.....	5
1.1. Работа магистранта с книжным фондом библиотек ВлГУ и электронными библиотеками ВлГУ и кафедры ЭтЭн.....	5
1.2. Оформление ссылок на литературу и Интернет-ресурсы.....	9
2. Требования к организации СРС при подготовке к занятиям по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии».....	11
3. Темы СРС.....	13
3.1. Тема СРС: Перспективы использования возобновляемых источников энергии. Коммерческие потери электроэнергии .....	13
3.2. Тема СРС: Ветроэнергетика.....	29
3.2.1. Приближенный расчет годовой выработки электроэнергии ветроагрегатом.....	36
3.3. Тема СРС: Солнечная энергетика .....	39
3.3.1. Способы получения электричества и тепла из солнечного излучения .....	44
3.3.2. Схемы работы солнечной электростанции.....	51
Библиографический список.....	56

## Введение

Самостоятельная работа по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии» регламентирована учебным планом поэтому является одним из видов учебных занятий студентов, которому отводится около 70 % учебного времени, определяемого стандартом.

Основные задачи самостоятельной работы:

- развитие и привитие навыков студентам самостоятельной учебной работы и формирование потребностей в самообразовании;
- освоение содержания дисциплины в рамках тем, выносимых на самостоятельное изучение студента;
- осознание, углубление содержания и основных положений курса в ходе конспектирования материала на лекциях, отработки в ходе подготовки к семинарским и практическим занятиям;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий, при написании курсовых и дипломной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

В результате самостоятельной работы студенты приобретают дополнительные для изучения вопросов перспективного развития средств передачи электроэнергии, их проектирования и эксплуатации **знания** основных нормативных документов проектно-конструкторской, производственно-технологической и других видах профессиональной деятельности. Приобретают **умения** применять современные методы и средства исследования, проектирования, технологической подготовки производства и эксплуатации электроэнергетических и электротехнических объектов. **Овладевают** программными средствами для решения профессиональных задач в области электроэнергетики.

Для учебного процесса характерно два вида самостоятельной работы: аудиторная и внеаудиторная.

- *Аудиторная самостоятельная работа* по дисциплине «**Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии**» выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданиям и контролируется опросом студентов на аудиторных занятиях и мероприятиями по рейтинг-контролю знаний обучаемых.

- *Внеаудиторная самостоятельная работа* выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия по рекомендованным учебным пособиям и методическим разработкам. Разумеет-

ся, это не исключает поиск самим студентом дополнительных литературных источников по конкретной тематике, включая информацию фирм-производителей электротехнических изделий.

В рамках изучения дисциплины используются следующие виды заданий для самостоятельной работы:

- самостоятельное изучение темы теоретического курса;
- подготовка устных ответов на контрольные вопросы, приведенные после каждой темы;
- написание рефератов и подготовка докладов;
- подготовка к тестовым заданиям по усвоению материала.

## **1. Источники информации и самостоятельная работа студента с ними**

### **1.1. Работа магистранта с книжным фондом библиотек ВлГУ и электронными библиотеками ВлГУ и кафедрой ЭтЭн.**

Содержание аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работы студентов определяется в соответствии с рекомендуемыми видами учебных заданий, представленными в рабочей программе учебной дисциплины.

Самостоятельная работа с книгой, как первоисточником, помогает студентам овладеть, закреплять и систематизировать знания при помощи:

- чтения текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);
- составления плана текста, графического изображения структуры текста, конспектирования текста, выписки из текста и т.д.;
- работы со справочниками и другой справочной литературой;
- ознакомления с нормативными и правовыми документами;
- учебно-методической и научно-исследовательской работы;
- использования компьютерной техники и Интернета и др.;
- обработки текста и повторной работой над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;
- подготовки ответов на контрольные вопросы и аналитической обработки текста;

- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению на семинаре (конференции, круглом столе и т.п.);

- подготовка реферата и составление библиографии использованных литературных источников;

В результате чтения книги у магистрантов формируются умения:

- решения ситуационных задач и упражнений по образцу;

- выполнения расчетов (графические и расчетные работы);

- подготовки к контрольным работам;

- подготовки к тестированию;

- проектирования и моделирования разных видов и компонентов профессиональной деятельности;

- проведения опытно-экспериментальных работ;

- анализ профессиональных умений с использованием аудио – и видеотехники и др.

Предположительно студенты вуза уже обладают навыками внимательного, тщательного и сосредоточенного чтения. Не пропускают непонятные места, обдумывают прочитанное и не пропускают абзацы, дочитывают текст до логического конца.

При работе с книгой необходимо обращать внимание на различного рода определения и сокращения, например:

#### **Термины и определения (по ГОСТ Р 51237-98)**

<b>1</b>	<b>Ветер</b>	Движение воздуха относительно земной поверхности, вызванное неравномерным распределением атмосферного давления и характеризующееся скоростью и направлением.
<b>2</b>	<b>Ветроэнергетика</b>	Отрасль энергетики, связанная с разработкой методов и средств преобразования энергии ветра в механическую, тепловую или электрическую энергию.
<b>3</b>	<b>Ветроагрегат (ВА)</b>	Система, состоящая из ветродвигателя, системы передачи мощности и приводимой ими в движение машины (электромашинного генератора, насоса, компрессора и т.п.).
<b>4</b>	<b>Сетевой ветроэлектрический агрегат</b>	ВА с электромашинным генератором, предназначенный для работы параллельно с электрическими сетями, мощность которых является бесконечно большой или большей, но соизмеримой по сравнению с мощностью ВА.
<b>5</b>	<b>Автономный ветроэлектрический агрегат</b>	ВА с электромашинным генератором, предназначенный для электроснабжения потребителей, не имеющих связи с электрической сетью.
<b>6</b>	<b>Ветроэнергетическая установка (ВЭУ)</b>	Комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в другие виды энергии (механическую, тепловую, электрическую и др.).
<b>7</b>	<b>Ветромеханическая установка</b>	ВЭУ, предназначенная для преобразования ветровой энергии в механическую для привода различных машин (насос, компрессор и т.д.).

8	<b>Ветропеловая установка</b>	ВЭУ, предназначенная для непосредственного преобразования ветровой энергии в тепловую.
9	<b>Ветроэлектрическая установка</b>	ВЭУ, предназначенная для преобразования ветровой энергии в электрическую с помощью системы генерирования электроэнергии.
10	<b>Гибридные ВЭУ</b>	Системы, состоящие из ВЭУ и какого-либо другого источника энергии (дизельного, бензинового, газотурбинного двигателей, фотоэлектрических, солнечных коллекторов, установок емкостного, водородного аккумулирования сжатого воздуха и т. п.), используемых в качестве резервного или дополнительного источника электроснабжения потребителей.
11	<b>Ветроэлектрическая станция (ВЭС)</b>	Электростанция, состоящая из двух и более ветроэлектрических установок, предназначенная для преобразования энергии ветра в электрическую энергию и передачу ее потребителю.
12	<b>Ветродвижитель (ВД)</b>	Устройство для преобразования ветровой энергии в механическую энергию вращения ветроколеса.
13	<b>Горизонтально- осевой ВД</b>	ВД, у которого ось вращения ветроколеса расположена в направлении ветра.
14	<b>Вертикально-осевой ВД</b>	ВД, у которого ось вращения ветроколеса расположена параллельно или почти параллельно вектору скорости ветра.
15	<b>Ветроколесо (ВК)</b>	Лопастная система ветродвигателя, воспринимающая аэродинамические нагрузки от ветрового потока и преобразующая энергию ветра в механическую энергию вращения ветроколеса.
16	<b>Диаметр ВК</b>	Диаметр окружности, описываемый наиболее удаленными от оси вращения ВК частями лопастей.
17	<b>Ометаемая площадь ВК</b>	Геометрическая проекция площади ВК на плоскость, перпендикулярную вектору скорости ветра.
18	<b>Лопасть ВК</b>	Составная часть ВК, создающая вращающий момент.
19	<b>Головка (гондола) ВД</b>	Составная часть ВА с горизонтально-осевым ВД, в котором размещены элементы опор ВК, СПМ, СГЭЭ, система ориентации ВК на направление ветра и другие элементы ВД.
20	<b>Система передачи мощности (СПМ)</b>	Комплекс устройств для передачи мощности от вала ветроколеса к валу соответствующей машины ветроагрегата с повышением или без повышения частоты вращения вала этой машины
21	<b>Система генерирования электроэнергии (СГЭЭ)</b>	Электромашинный генератор и комплекс устройств (преобразователь, аккумулятор и т. д.) для подключения к потребителю со стандартными параметрами электроэнергии.
22	<b>Система ориентации ВД</b>	Комплекс устройств горизонтально-осевого ВД, предназначенный для установки оси вращения ВК в соответствии с направлением ветра в определенных пределах в каждый момент времени.
23	<b>Система регулирования ВД</b>	Комплекс устройств, обеспечивающий регулирование в требуемых пределах частоты вращения и нагрузки ВД при изменении скорости ветра в рабочем диапазоне.
24	<b>Средняя скорость ветра</b>	Комплекс устройств, обеспечивающий регулирование в требуемых пределах частоты вращения и нагрузки ВД при изменении скорости ветра в рабочем диапазоне. <i>Примечание . средняя скорость ветра может определяться за минуту, час, сутки, месяц, год и др.</i>
25	<b>Среднегодовая скорость ветра</b>	Средняя скорость ветра за год в конкретной местности, определяемая для заданной высоты над уровнем земной поверхности.

26	<b>Скорость срагивания с места</b>	Минимальная скорость ветра, при которой ветроколесо начинает вращение без нагрузки. Минимальная скорость ветра, при
27	<b>Минимальная рабочая скорость ветра</b>	Минимальная скорость ветра, при которой обеспечивается вращение ВА с номинальной частотой вращения с нулевой производительностью (холостой ход).
28	<b>Расчетная скорость ветра</b>	Минимальная скорость ветра, при которой обеспечивается вращение ВА с номинальной частотой вращения с нулевой производительностью (холостой ход).
29	<b>Максимальная рабочая скорость ветра</b>	Скорость ветра, при которой расчетная прочность ВА позволяет производить электроэнергию без повреждений.
30	<b>Буревая расчетная скорость ветра</b>	Максимальная скорость ветра, которую может выдержать остановленный ВА без разрушений.
31	<b>Производительность ВА</b>	Зависимость объема продукции, производимого ВА за единицу времени, от средней скорости ветра.
32	<b>Установленная мощность ВА</b>	Паспортная мощность машины на выходном валу ВА.
33	<b>Номинальная мощность ВА</b>	Максимальное значение выходной мощности, на которую рассчитан ВА в длительном режиме работы.
34	<b>Общий КПД ВА</b>	Отношение производимой ВА полезной энергии к полной энергии ветра, проходящей через ометаемую площадь ветроколеса.
35	<b>Коэффициент использования энергии ветра</b>	Отношение величины механической энергии, развиваемой ВК к полной энергии ветра, проходящей через ометаемую площадь ветроколеса.
36	<b>Число часов (коэффициент) использования номинальной мощности</b>	Отношение производительности ВА за расчетный период времени к номинальной мощности ВА.

В тексте приняты следующие сокращения

<b>АБ</b>	Аккумуляторная батарея.
<b>ДЭС</b>	Дизель-электрическая система.
<b>ВИЭ</b>	Возобновляемые источники энергии.
<b>ВЭС</b>	Ветроэлектрическая система.
<b>ВЭУ</b>	Ветроэлектрическая установка.
<b>ЕС</b>	Европейский союз.
<b>ЕК</b>	Европейская комиссия.
<b>ЛЭП</b>	Линии электропередачи.
<b>МикроГЭС</b>	Микро гидроэлектростанция.
<b>СВЧ сигнал</b>	Сверхвысокочастотный сигнал.
<b>ТЭО</b>	Технико-экономическое обоснование.
<b>ФБ</b>	Технико-экономическое обоснование.

Фонды библиотек непрерывно пополняются, но умелая работа с предметными каталогами и поисковой системой сократит до минимума время поиска книги (электронного ресурса). Отметим, что электронные ресурсы учебных материалов по всем специальным дисциплинам кафедры

ЭтЭн доступны каждому студенту направления «Электроэнергетика и электротехника» и могут быть скопированы в ауд. 519-3.

Необходимо подчеркнуть особенность работы с Интернет-ресурсами. В общем случае информация, полученная из Интернета, может быть не совсем точной или вообще не соответствовать действительности. Поэтому, прежде всего, необходимо уточнить научную репутацию автора, издательство, ссылки других авторов на этот источник, является ли эта информация научной или плодом чьих-то раздумий. Правильно будет работать с книгами, рекомендованных преподавателем, а все прочие использовать как вспомогательные материалы для размышления.

## **1.2. Оформление ссылок на литературу и Интернет-ресурсы**

При подготовке магистрантом докладов, рефератов, научных публикаций в обязательном порядке необходимо ссылаться на первоисточники. Правила оформления библиографических записей и ссылок на первоисточники регламентированы стандартами:

ГОСТ 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 7.82-2001 Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления.

ГОСТ Р 7.0.5-2008 Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

ГОСТ Р 7.0.12-2011 Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке. Общие требования и правила.

Указанные стандарты можно найти на абонеентах читального зала корпуса №1, читального зала нормативно-технической документации корпуса №2, ауд. 129, а также на сайте научной библиотеки ВлГУ (НБ ВлГУ), БД – Стандарты.

Примеры оформления библиографических записей приведены ниже.

1. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 352 с.: ил.

2. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – 3-е изд. перераб. – КНОРУС, 2012. – 648 с.

При ссылке на Интернет-ресурс необходимо руководствоваться следующим алгоритмом:

1. Начинать описание электронных ресурсов с заглавия. Его необходимо дать точно в том виде, как оно представлено на сайте, т.е. слово в слово.

2. Обозначить интернет-источник. После заглавия ставится пробел и в квадратных скобках название материала – [Электронный ресурс].

3. Напечатать заглавие на иностранном языке, если оно имеется в интернет-источнике. После квадратной скобки поставьте пробел, знак «=» и с прописной буквы название статьи на другом языке.

4. Перечислить дополнительные сведения к заглавию. После названия интернет-источника поставьте двоеточие и напечатать информацию. Например, «:проблемы, перспективы, пути решения».

5. Оформить имя автора статьи, редактора или наименование учреждения, которое поместило в интернет определенный источник. После предыдущего шага или после квадратной скобки с надписью «Электронный ресурс» поставить косую черту и напишите ответственное лицо, затем точку и тире. Например, «/ И. Иванов.-», «/ под ред. И.И. Иванова.-», «/ Центр информ. технологий.-».

6. Указать имеющуюся информацию об издании, если были внесены исправления или дополнения к исходному материалу. Например, «Изд. 2-е, испр. и доп.». После этого также надо ставить точку и тире.

7. Определить вид ресурса. К примеру, «Электрон. дан.-», «Электрон. журн.-» и пр.

8. Добавить объем интернет-источника в круглых скобках, если он состоит из нескольких файлов. Например, «(3 файла)».

9. Установить издательские данные: город, название издательства (необязательно), дату издания источника. Например, «М.: Справочно-информационный интернет-портал «Грамота. Ру», 2009.-». Если же нет сведений о городе и годе издания, пишется примерная информация с вопросительным знаком в квадратных скобках («[Минск?]:», «[200-?].-»).

10. Сделать ссылку на электронные ресурсы и условия доступа (платный или свободный). Например, «Режим доступа:

[http://www.vedomosti.ru/lifestyle/news/1512663/что\\_proishodit\\_s\\_yazykom\\_s\\_ego\\_dnya\\_svoobodnyy\\_-](http://www.vedomosti.ru/lifestyle/news/1512663/что_proishodit_s_yazykom_s_ego_dnya_svoobodnyy_-)».

11. Написать примечание к заглавию. Например, «Загл. с экрана».

*12. Ссылка на сайт в целом*

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова: [Электронный ресурс]. М., 1997-2012. URL: <http://www.msu.ru>. (Дата обращения: 18.02.2012).

*13. Ссылка на web-страницу*

Информация для поступающих: [Электронный ресурс] // Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова. М., 1997-2012. URL: <http://www.msu.ru/entrance/>. (Дата обращения: 18.02.2012).

*14. Ссылка на on-line-журнал*

Секретарь-референт. 2011. № 7: [Электронный ресурс]. URL: [http://www.profiz.ru/sr/7\\_2011](http://www.profiz.ru/sr/7_2011). (Дата обращения: 18.02.2012).

*15. Ссылка на on-line-статью*

Каменева Е.М. Формы регистрации документов: // Секретарь-референт. 2011. № 7. URL:

[http://www.profiz.ru/sr/7\\_2011/formy\\_registracii\\_dokov](http://www.profiz.ru/sr/7_2011/formy_registracii_dokov). (Дата обращения: 18.02.2012).

*16. Ссылка на on-line-книгу*

Степанов В. Интернет в профессиональной информационной деятельности: [Электронный ресурс]. 2002-2006. URL: <http://textbook.vadimstepanov.ru>. (Дата обращения: 18.02.2012).

## **2. Требования к организации СРС при подготовке к занятиям по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии»**

В период подготовки к занятиям по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии» студенту необходимо научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения. Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы. В основу его нужно положить рабочие программы изучаемых в семестре дисциплин. Ежедневной учебной работе студенту следует уделять 9 – 10 часов своего

времени, т.е. при шести часах аудиторных занятий самостоятельной работе необходимо отводить 3–4 часа.

Планирование самостоятельной работы должно быть связано со структурой и содержанием дисциплины, а также с распределением часов аудиторных и внеаудиторных занятий по изучаемой дисциплине, численные значения которых приведено в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Семестр	Трудоемкость зачетн. ед/час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лабораторн. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
1	4/144	-	36		108	зачет
<b>Итого</b>	<b>4/144</b>	<b>-</b>	<b>36</b>		<b>108</b>	<b>зачет</b>

Таблица 2

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)							Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации
				Лекции	Семинары	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные	СРС	КП / реф.		
1	Введение	1	1	-	-	2	-	-	6	-	1,5 / 75 %	
2	Ветроэнергетические ресурсы		2	-	-	2	-	-	6		1,5 / 75 %	
3	Типы ветроустановок		3			2			6		1,5 / 75 %	
4	Установки, подключенные к энергосетям		4			2			6		1,5 / 75 %	
5	Разработка проекта строительства ветроэлектрической установки		5			2			6		1,5 / 75 %	
6	Разработка ветроэнергетического проекта		6			2			6		1,5 / 75 %	Рейтинг-контроль №1

7	Сроки реализации ветроэнергетического проекта, вопросы обслуживания и безопасности		7			2			6		1,5 / 75 %	
8	Солнечные батареи и солнечные панели		8-9			4			12		3 / 75 %	
9	Классификация солнечных батарей		10			2			6		1,5 / 75 %	
10	Фотоэлектрические системы электроснабжения		11-13			6			18		4 / 66,6 %	Рейтинг-контроль №2
11	Сетевая фотоэлектрическая система электроснабжения с контроллером заряда постоянного тока.		14			2			6		1,5 / 75 %	
13	Фотоэлектрическая система электроснабжения с сетевым инвертором на входе ББП		15-16			4			12		3 / 75 %	
14	Online расчет фотоэлектрической системы		17-18			4			12		3 / 75 %	Рейтинг-контроль №3
<b>Всего</b>			<b>18</b>			<b>36</b>			<b>108</b>	Реф	<b>26,5 / 73,6 %</b>	<b>Зачет</b>

### 3. Темы СРС

#### 3.1. Тема СРС: Перспективы использования возобновляемых источников энергии. Коммерческие потери электроэнергии

В преддверии грядущего сокращения потребления органических энергоносителей, которые человечество так не рационально продолжает использовать, проблема получения энергии от возобновляемых источников становится все более актуальной. По оценке экспертов при нынешних объемах добычи угля на Земле хватит лет на 400-500, а нефти и газа - максимум на столетие. Поэтому перед человечеством стоит задача освоения эко-

логически чистых, возобновляемых источников энергии. По существу речь идет об использовании энергии Солнца для получения электромагнитной и тепловой энергии по двухступенчатой схеме преобразования без ухудшения экологии планеты. Энергия Солнца и ветра поистине неисчерпаема и утвердилось мнение, что устройство солнечных станций и установка ветрогенераторов не вносит практически никаких изменений в природу. Однако затенение огромных площадей солнечными станциями большой мощности и ослабление потоков ветра полями ветроустановок приводит к изменению теплового баланса почвы и вентилируемости атмосферы больших, многомиллионных городов и в итоге к отрицательному воздействию на человека, как и всякое другое техногенное вмешательство в дела природы.

Разумеется, все страны мира стремятся к использованию «бесплатной» энергии Солнца, но географическое положение и природные условия ограничивают это стремление. Откроем атлас ветров России и убедимся, что средняя скорость ветра в Центральном Федеральном округе не превышает 3 – 5 м/с. По справочным данным установим, что максимальная мощность генератора в этом случае не превысит 3 – 5 кВт. Следовательно, один – два ветряка для экзотики можно установить, тем более что возможна и некоторая польза, но строить ветровую станцию, ввиду малой ее мощности и больших занимаемых площадей, нецелесообразно. Цена киловатт – часа значительно превысит аналогичный показатель тепловых станций, если учесть комплектацию каждого ветряка аккумулятором, зарядным устройством, инвертором и устройством сопряжения с сетью промышленной частоты.

Россия имеет самый большой в мире ветровой потенциал, ресурсы ее ветровой энергии определены в 10,7 ГВт. К благоприятным зонам развития ветроэнергетики относится Северо-Запад страны (Мурманская и Ленинградская области), северные территории Урала, Курганская область, Калмыкия, Краснодарский край, Дальний Восток. В целом технический потенциал ветровой энергии России оценивается более чем в 50000 млрд. кВт-ч/год, экономический потенциал составляет 260 млрд. кВт-ч/год, т.е. около 20 % производства электроэнергии всеми электростанциями страны. Реализованы эти возможности незначительно. В настоящее время в России насчитывается более 13 МВт установленной мощности (0,1% всей вырабатываемой в стране энергии). Самой мощной на сегодняшний день считается ветроэлектростанция в Калининградской области, введенная в строй в 2002 году (первая установка - в 1999 г.) и состоящая из 21 установки, переданной в дар властями Дании (все ВЭУ – производства Vestas). Ее суммарная мощность составляет 5,1 МВт. Всего в работе находятся следующие системные ВЭС:

1. Калининградская ВЭС (см. выше).

2. Воркутинская ВЭС мощностью 1,5 МВт (агрегаты НПО «Южное»).

3. Камчатская ВЭС (о. Беринга, п. Никольское) – 2 ВЭУ мощностью 250 кВт производства Micon, Дания.

4. Тюпкельды ВЭС (г. Октябрьский, Башкирия) – 4 ВЭУ мощностью 550 кВт производства HAG, Германия.

5. Ростовская ВЭС - 10 ВЭУ мощностью 30 кВт производства HSW, Германия.

6. Мурманская ВЭС – 1 ВЭУ мощностью 200 кВт, производства Micon, Дания.

7. Чукотская ВЭС – 10 ВЭУ мощностью 250 кВт производства НПО «Ветроэн».

Следует также упомянуть также малые ветроустановки устанавливаемые в Сибири на удаленных станциях сотовой связи и запланированное строительство ВЭС на Кольском полуострове мощностью 200 МВт.

Помимо сетевых ВЭУ, в России созданы и выпускаются небольшими партиями малые ВЭУ на современном технологическом уровне. Среди их изготовителей: МКБ «Радуга» (8-16 кВт), ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор» (40, 500 и 1000 Вт), НПК «Ветроток» (4 и 16 кВт), АО «Долина» (2 и 5 кВт), ООО «Спецремтекс» (1,5 кВт), НПО «Электросфера» (5 кВт). В январе 2009 г. Премьер-министром РФ В.В. Путиным подписано Постановление Правительства №1-р о доведении к 2020 г. доли ВИЭ в электрогенерации России до 20% (15,5 % должно вырабатываться большими гидростанциями, 4,5% - другими видами ВИЭ, в т.ч. и ВЭС). Суммарные цели по ВИЭ подразумевают долю ВЭС к 2020 г. – примерно 1% (17,5 млрд. кВт-ч при суммарной установленной мощности ВЭС 7 ГВт).

Посмотрим на карту солнечной инсоляции (количество солнечной энергии, попадающей на поверхность Земли) регионов России и убедимся, что в разных регионах России годовая инсоляция находится в пределах от 800 кВт-час/м<sup>2</sup> до 1900 кВт-час/м<sup>2</sup>. Для Московского региона годовая инсоляция одного квадратного метра горизонтальной площадки составляет около 1100 кВт-час/м<sup>2</sup>, т.е. **количество солнечной энергии, поступающей в географическую зону Центрального Федерального Округа, сравнимо с Германией**, месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации, кВт-ч/м<sup>2</sup> приведены в табл. 3

Таблица 3

Москва, широта 55.7°	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
Горизонтальная солнечная панель	16.4	34.6	79.4	111.2	161.4	166.7	166.3	130.1	82.9	41.4	18.6	11.7	1020.7
Вертикальная солнечная панель	21.3	57.9	104.9	93.5	108.2	100.8	108.8	103.6	86.5	58.1	38.7	25.8	908.3

нель														
Наклон солнечной панели - 40.0°	20.6	53.0	108.4	127.6	166.3	163.0	167.7	145.0	104.6	60.7	34.8	22.0	1173.7	
Вращение солнечной панели вокруг полярной оси	21.7	62.3	132.9	161.4	228.0	227.8	224.8	189.2	126.5	71.6	42.2	26.0	1514.3	

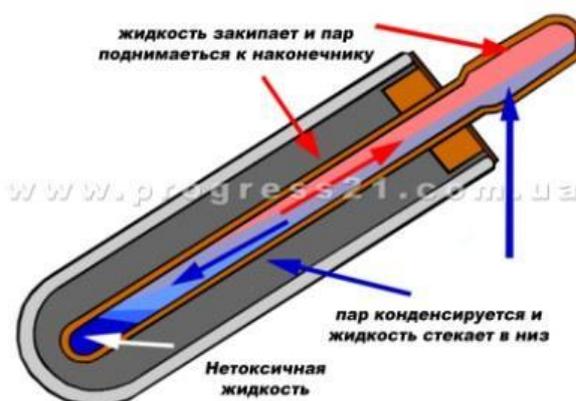
В среднем за сутки это составит около 3-х кВт-ч с одного квадратного метра некоторого условного преобразователя солнечной энергии с коэффициентом полезного действия (КПД) в 100 % (если учесть солнечную радиацию по месяцам, то получим диапазон от 0,4 до 5,5 кВт-ч/м<sup>2</sup>). Коэффициент полезного действия реального фотоэлектрического преобразователя на основе кремния (солнечной батареи) около 16 % (данные новейших лабораторных разработок на других основах 30 – 40 %), поэтому эта цифра реально уменьшится до 0,48 кВт-ч в сутки при цене одного квадратного метра солнечной батареи более 2000 рублей. Далее последует уменьшение КПД на 10 % ежегодно за счет деградации кристалла кремния и неизбежный вывод о нецелесообразности использования солнечных батарей в нашем регионе.

Выход видится (и он практически единственный в настоящий момент) в использовании **солнечных водонагревательных установок, КПД которых достигает 95 %**. В настоящее время общая площадь солнечных водонагревательных установок в России не превышает 20 тыс. м<sup>2</sup>, что на порядок меньше, чем в других странах и чем было в СССР. В основном это отставание связано с недопониманием уровня развития и техническими возможностями гелиотехники, поскольку **количество солнечной энергии, поступающей в географическую зону Московской области, сравнимо с Германией**, где на данный момент площадь используемых солнечных коллекторов больше 6,5 млн. кв. метров, т.е.: **Германия и Московская область, получают равное количество Солнечной энергии**, только она почему-то слабо используется. Отметим, что во всем мире в настоящее время работает более 180 млн. м<sup>2</sup> солнечных коллекторов, обеспечивающих теплоснабжение потребителей. Большая их часть построена в Китае (59%), на втором месте - Европа (14%). Солнечные коллекторы выпускают 186 крупных фирм в 41 стране.

Одна из главных составляющих частей гелиосистемы **солнечный коллектор**, превращающий солнечную энергию в тепловую путем поглощения солнечной энергии, которая переносится видимым и ближним инфракрасным излучением. Существует множество разных конструкций и технологий, которые позволяют получать тепловой поток в солнечные дни до 1200 Вт/м<sup>2</sup>, а в пасмурные до 400 Вт/м<sup>2</sup>. В одном из вариантов конст-

рукции основным элементом коллектора является **абсорбер** (пластина из меди или алюминия, черненная, матовая с одной стороны по специальной технологии). Эта пластина имеет синеватый отлив и способна поглощать требуемый спектр солнечного излучения многократно выше, чем при покрытии пластины самой черной из всех возможных красок или пигментов. С обратной стороны к пластине прикреплены медные трубки, через которые проходит теплоноситель — вода или антифриз. Остальная часть коллектора состоит из корпуса с теплоизоляцией и защитного покрытия (как правило, используется закаленное стекло), оно обеспечивает защиту от града, мелких камней, веток, а также пропускает нужные спектры солнечного излучения и снижает обратное пропускание отраженной части солнечного излучения обратно. Поскольку теплоноситель имеет очень высокую температуру, его нельзя напрямую подавать в батареи отопления или в кран горячей воды. Такой теплоноситель подается в теплообменник, аккумулирующий тепло.

Рис.1. Вакуумная трубка.



В гелиосистемах производства фирмы «Прогресс-XXI» используется высокоэффективный вакуумный трубчатый солнечный коллектор. Вакуумная тепловая труба автономна и состоит из сверхпрочного боросиликатного стекла. Внешняя трубка – прозрачная, а внутренняя имеет специальное селективное покрытие, которое обеспечивает максимальное поглощение тепла при минимальном отражении.

Для поддержания вакуума между внутренней и внешней трубками в солнечном водонагревателе «Прогресс-XXI» используется бариевый газопоглотитель, который  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{H}_2$ , которые выделяются из трубы в процессе хранения и эксплуатации, и является четким визуальным индикатором состояния вакуума в трубке солнечного коллектора.

При загазованности трубки бариевый слой из серебристого становится белым, что позволяет определить целостность трубки вакуумного солнечного водонагревателя. При наличии солнечных лучей (прямых, рассеянных) поглощение тепла происходит в медной трубке, которая находится внутри вакуумной трубы и содержит неорганическую нетоксичную

жидкость, которая испаряется при нагревании испаряется, а поскольку в трубке низкое давление, то это происходит даже при температуре минус 25-30°C. Пар поднимается к наконечнику (конденсатора) тепловой трубки, где отдает тепло теплоносителю (антифризу), который течет по теплопроводу гелиоколлектора. Потом он конденсируется и стекает вниз, и процесс повторяется снова.

Солнечный водонагреватель с вакуумными трубками показывает отличные результаты даже в пасмурные дни, поскольку они способны поглощать энергию инфракрасных лучей, которые проходят через тучи. Благодаря изоляционным свойствам вакуума, влияние ветра и низких температур на работу гелиосистемы также незначительно по сравнению с влиянием на плоский солнечный коллектор. Система с вакуумным солнечным коллектором успешно работает до минус 35°C. Вакуумные трубы круглые, благодаря этому количество солнечного излучения, которое попадает на гелиоколлектор остается постоянным с утра до вечера, что увеличивает суммарную поглощаемую энергию в сравнении с плоским. Трубы установлены в солнечном водонагревателе параллельно, угол их наклона зависит от географической широты места установки системы отопления. Ориентированные из севера на юг, на протяжении дня трубки вакуумного солнечного коллектора пассивно двигаются за солнцем. Вакуумные солнечные коллекторы полностью пригодны для ремонта: в случае необходимости трубку можно заменить без остановки солнечного водонагревателя. За необходимостью вакуумные трубки можно добавлять (при недостатке тепла) или частично снимать (если есть его избыток), уменьшая площадь гелиоколлектора. Вакуумные солнечные коллекторы отлично справляются с обеспечением дома горячей водой, отоплением квартиры, подогревом бассейнов, теплиц, работают в системах вентиляции, кондиционирования и отопления зданий. Работа гелиосистемы «Прогресс-XXI» проста, как с точки зрения эксплуатации, так и обслуживания и кроме вакуумного солнечного коллектора содержит насосный узел для перекачки теплоносителя от солнечного коллектора к баку; контроллер, который руководит работой всей системы; бак-аккумулятор горячей воды и пиковый доводчик (тепловой насос, электрический тэн или другой источник). Общий случай организации солнечной водонагревательной установки из собственно солнечного коллектора, теплообменного контура и аккумулятора тепла (бака с водой) показан на рис. 2. Через солнечный коллектор циркулирует теплоноситель (жидкость). Теплоноситель нагревается в солнечном коллекторе

энергией солнца и отдает затем тепловую энергию воде через теплообменник, вмонтированный в бак-аккумулятор. В баке-аккумуляторе хранится горячая вода до момента ее использования, поэтому он должен иметь хорошую теплоизоляцию. В первом контуре, где расположен солнечный коллектор, может использоваться естественная или принудительная циркуляция теплоносителя. В бак-аккумулятор может устанавливаться электрический нагреватель-дублер. В случае понижения температуры воды в баке-аккумуляторе ниже установленной (продолжительная пасмурная погода или малое количество часов солнечного сияния зимой) нагреватель-дублер автоматически включается и нагревает воду до заданной температуры.

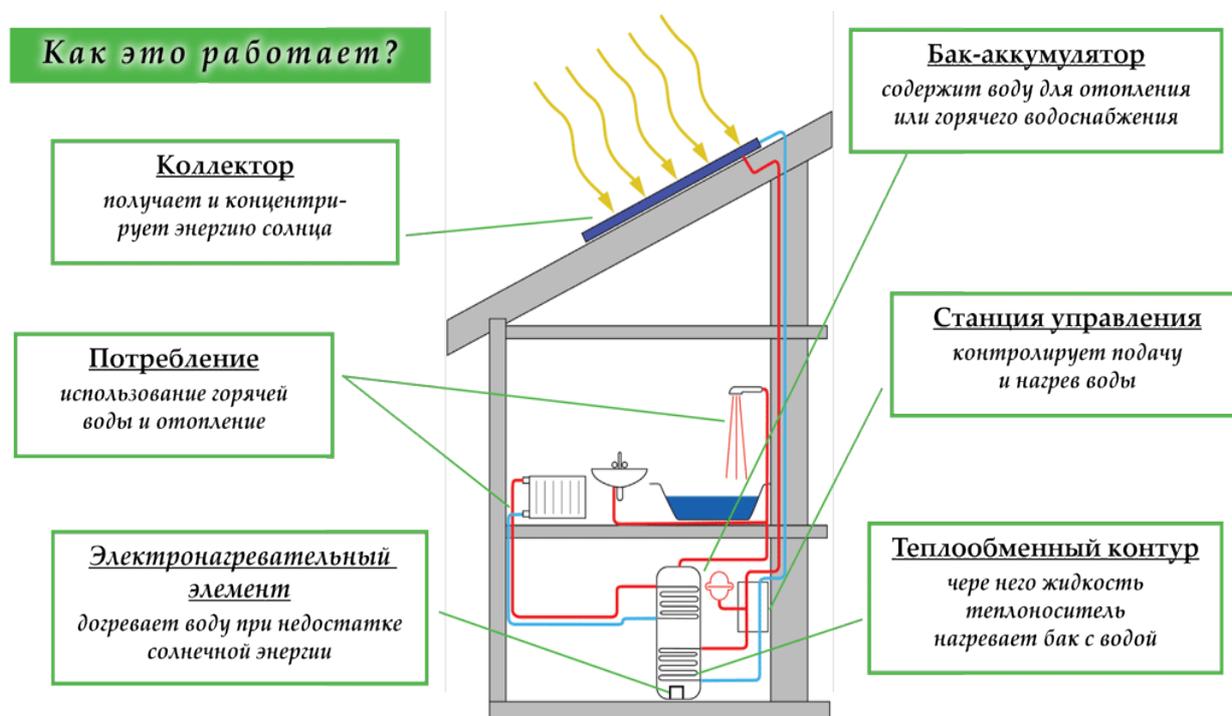


Рис. 2. Схема организации солнечной водонагревательной установки

Основное применение солнечных коллекторов в мире - для нагрева воды в системах горячего водоснабжения. Экономические выгоды приведены в табл.2: По данным табл. 2 можно сделать вывод, что электронагреватели воды выгоднее для небольших хозяйств со сравнительно небольшим расходом горячей воды. Солнечные водонагреватели целесообразно использовать для хозяйств с большим расходом горячей воды и для целей отопления, в районах с высокими ценами на электроэнергию или в местах, где электроэнергия недоступна. Для сравнения в приведенной ниже табл. 4 даны расходы на установку и содержание различных отопительных систем

для хорошо теплоизолированного дома площадью менее 100 кв. м. и потребностью в отоплении за сезон 25200 кВт-ч тепловой энергии.

Система солнечных коллекторов является комбинированной с электрической и считается, что использует в среднем 70% солнечной энергии и 30% электрической. Для упрощения опустим расходы на содержание и примем срок службы 20 лет. По данным табл. 5 наиболее экономически эффективной (и с наименьшими трудозатратами) является комбинированная система солнечных коллекторов и электронагревателей, которая за 20 лет получается в 2,5 раза дешевле дизельной и почти в два раза дешевле чисто электрической. А за весь срок жизни дома экономия будет еще выше, тем более, что цены на все энергоносители будут расти, а солнечная энергия так и останется бесплатной. Например, при цене 3 руб. за 1 кВт-ч электроэнергии система солнечных коллекторов сэкономит за 10 лет около 300 тыс. руб., а за 20 лет 700 тыс. руб. без учета затрат на техническое обслуживание, ремонт и инфляцию. Отметим, что такую выгоду для отопления могут обеспечить только качественные вакуумные коллекторы модели 20-21 с U-трубками производства компании Himin или такого же качества других производителей, и которые является примером наиболее эффективного и в то же время сравнительно компактного солнечного коллектора.

Таблица 4

<b>Солнечный водонагреватель</b>	<b>Электрический водонагреватель</b>
Расходы на содержание в год: <b>0 – 1000 руб.</b>	Расходы на содержание в год: <b>2000 – 6000 руб.</b>
Расходы на содержание за 10 лет: <b>до 10000 руб.</b>	Расходы на содержание за 10 лет: <b>до 60000 руб.</b>
Объем: <b>150 – 300 л.</b>	Объем: <b>60 – 120 л.</b>
Срок службы: <b>15 – 30 лет</b>	Срок службы: <b>10 – 15 лет</b>
Не загрязняет окружающую среду	Способствует загрязнению окружающей среды
Не зависит от расценок на электроэнергию	Расходы увеличиваются ежегодно с ростом тарифов на электроэнергию
Горячая вода доступна независимо от доступа к электроэнергии	Нагрев воды недоступен в случае отключения электроэнергии

Таблица 5

	Капитальные затраты	стоимость 1 кВт-ч	кВт-ч за сезон	Экспл. затраты за сезон	Общие затраты за 10 лет	Общие затраты за 20 лет
Дизельное топливо	300 000	1.9 р.	25200	47 880р.	778 800р.	1 257 600р.
Электрическая энергия	40 000	1.8 р.	25200	45 360р.	493 600р.	947 200р.
Дрова	80 000	0.7 р.	25200	17 640р.	256 400р.	432 800р.
Солнечные коллекторы	240 000	0.6 р.	25200	15 120р.	391 200р.	542 400р.

Такой коллектор при правильной установке (на южную сторону под углом 50-60 градусов, без затенения) за отопительный сезон обеспечивает около 2200 киловатт-часов тепловой энергии, что соответствует теплу от примерно 400 кг каменного угля или 200 л. дизельного топлива (в зависимости от КПД печи или котла количество может быть больше или меньше). Но уголь и дрова надо постоянно запасать и закидывать в печь, а топливо привозить и заливать. В то время как солнечная энергия поступает сама (в светлое время суток, интенсивно в течение 6 - 8 часов) и распределяется в систему отопления дома автоматически.

Из вышеизложенного следует, что при всей привлекательности использование возобновляемых источников электроэнергии в центральной России не эффективно при ориентации на большие мощности. Однако, если поставить вопрос о компенсации потерь электроэнергии при транспортировании от генерирующих установок до потребителя, то идея становится более привлекательной. С этой целью рассмотрим структуру коммерческих потерь электроэнергии.

Потери электроэнергии при передаче от электростанции до потребителя неизбежны в силу ряда объективных причин, поэтому уровень потерь является важнейшим показателем экономичности работы энергоснабжающей организации, технического состояния электрооборудования станций и потребителей и системы учета электроэнергии, а также эффективности их энергосбытовой деятельности. Решения в развитии, реконструкции и техническом перевооружении электрических сетей принимаются с учетом потерь электроэнергии. Следствием этих решений является совершенствование методов и средств их эксплуатации и автоматизации управления электрическими сетями, а также в повышении точности измерения и учета отпускаемой и потребляемой электроэнергии, эффективности и своевременности сбора денежных средств за поставленную потребителям всех уровней электроэнергию и т.п.

Принято считать, что относительные потери электроэнергии, при передаче от электростанции до потребителя, в электрических сетях большинства наиболее промышленно развитых стран мира можно считать удовлетворительными, если они не превышают 4 – 5 % от выработанной электроэнергии. Потери электроэнергии на уровне 10 % можно считать максимально допустимыми с точки зрения физики передачи электроэнергии по сетям, а уровень потерь более 12 % абсолютно недопустимым. Отметим, что особое внимание к проблеме снижения потерь электроэнергии в электрических сетях связано как с грядущим кризисом органических энергоносителей, так и с возникновением ряда негативных тенденций, отрицательно влияющих на уровень потерь в сетях, таких как: устаревшее оборудование (износ до 70 %), физический и моральный износ средств учета электроэнергии, несоответствие установленного оборудования передаваемой мощности вследствие недостаточной развитости электрических сетей. Поэтому проблема снижения потерь электроэнергии в электрических сетях актуальна, поскольку связана с решением обеспечением финансовой стабильности энергоснабжающих организаций (реализация планов модернизации электрических сетей) и экономически обоснованного, качественного и надежного электроснабжения потребителей.

Одним из видов потерь электроэнергии, влияющих на финансовое благополучие энергоснабжающих организаций являются коммерческие потери, в создании которых участвуют две стороны, как производители, так и потребители электроэнергии [7]. Степень их участия следует из определений:

**Абсолютные потери электроэнергии** – разность электроэнергии, отпущенной в электрическую сеть генерирующей компанией и полезно отпущенной потребителям электроснабжающей организацией.

**Технические потери электроэнергии** – потери, обусловленные физическими процессами передачи, распределения и трансформации электроэнергии, определяются расчетным путем по методикам электроснабжающих организаций. Технические потери электроэнергии делятся на условно-постоянные и переменные (зависящие от электрической нагрузки).

**Коммерческие потери электроэнергии** – потери, определяемые как разность абсолютных и технических потерь (структура коммерческих потерь приведена в табл. 6).

Отметим, что в большинстве случаев коммерческие потери электроэнергии обусловлены конкретными объективными причинами, в том числе и человеческим фактором. Однако, потребители электроэнергии с преимущественно однофазной нагрузкой, к которым относятся учреждения здравоохранения, образования, жилищно-коммунальное хозяйство и др. обеспечивают значительную долю (до 50 %) коммерческих потерь за счет несимметричных режимов работы и являются вероятными виновниками

ухудшения качества электроэнергии. Однако финансовая ответственность за потери, созданные в этом случае потребителем, перекладывается на поставщиков электроэнергии.

Таблица 6

Коммерческие потери электроэнергии	
<b>Потери из-за недостатков энерго-сбытовой деятельности</b>	<b>Потери при востребовании оплаты за потребленную электроэнергию</b>
- потери при выставлении счетов; - потери из-за несоответствия дат снятия показаний расчетных счетчиков с расчетным периодом; - потери из-за расчетов потребленной электроэнергии абонентом на основе договоров безучетного электропотребления и др.	- задержки платежей; - недоплата или неполная оплата и др.
<b>Потери из-за ограничения потребляемой мощности</b>	<b>Хищение электроэнергии</b>
- неоплата мощности ограничения	- незаконное подключение к сетям электроснабжения; - мошенничество с приборами учета и др.
<b>Потери на истребование долгов, выявление и ликвидация хищения электроэнергии</b>	<b>Потери из-за нарушения качества электроэнергии</b>
- судебные расходы; - транспортные расходы и др.	- законный отказ от оплаты некачественной электроэнергии или уменьшение платежей; - затраты на ремонт электроустановок, локализацию и ликвидацию причин нарушения качества электроэнергии

Подключение несимметричных электрических нагрузок даже в синусоидальном режиме без компенсирующих устройств (КУ) приводит к появлению токов обратной последовательности, дополнительных потерь, пульсаций мгновенной мощности и не симметрии напряжения, в конечном итоге к ухудшению качества энергии [7].

Дополнительные потери при несимметричной электрической нагрузке, а она составляет около 40 % всей нагрузки промышленного предприятия и 80 % для жилищно-бытового комплекса, могут даже превышать потери от реактивной мощности. При этом предельно допустимое значение

коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности, в точках общего присоединения к четырехпроводным электрическим сетям с номинальным напряжением 0,38 кВ превышает 10 % вместо 4 % [7]. Поскольку эти дополнительные потери не влияют на количество электроэнергии, зафиксированной счетчиками потребителя, то в проигрыше остается энергоснабжающая организация, которая в свою очередь закладывает эти потери в тарифы на электроэнергию для потребителя. Поэтому расчет дополнительных потерь электроэнергии при несимметричных режимах представляется актуальной и довольно интересной задачей, для решения которой необходимо рассмотреть в качестве исходных симметричные режимы, а затем частичные и полные несимметричные режимы.

**В синусоидальном режиме** энергетические процессы, в точках общего присоединения к четырехпроводным электрическим сетям несимметричной трехфазной электрической нагрузки, полностью определяются комплексами действующих значений фазных напряжений и токов (в общем случае трехмерными комплексными векторами с вещественными координатами):

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a e^{j\psi_a} \\ V_b e^{j\psi_b} \\ V_c e^{j\psi_c} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{I} = \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_a e^{j\varphi_a} \\ I_b e^{j\varphi_b} \\ I_c e^{j\varphi_c} \end{bmatrix} . \quad (1)$$

Известно, что скалярное произведение трёхмерных комплексных векторов (транспонированный вектор напряжения  $\mathbf{V}^m$  на комплексно сопряженный вектор тока  $\mathbf{I}^*$ ) в случае синусоидального режима позволяет определить полную комплексную мощность трехфазной электрической нагрузки:

$$\dot{S} = \mathbf{V}^m \mathbf{I}^* = \dot{V}_a I_a^* + \dot{V}_b I_b^* + \dot{V}_c I_c^* = \dot{S}_a + \dot{S}_b + \dot{S}_c = P + jQ. \quad (2)$$

В этом случае действительная и мнимая части полной комплексной мощности (2) определяют активную и реактивную мощности трехфазной нагрузки:

$$P = \operatorname{Re}(\dot{S}) = P_a + P_b + P_c, \quad Q = \operatorname{Im}(\dot{S}) = Q_a + Q_b + Q_c. \quad (3)$$

В случае синусоидального режима активная и реактивная мощности жестко связаны между собой через модуль полной комплексной мощности, который можно назвать геометрической мощностью трехфазной нагрузки (в математике это среднегеометрическое):

$$S_G = |\dot{S}| = |\dot{S}_a + \dot{S}_b + \dot{S}_c| = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (4)$$

При **синусоидальном режиме и симметричной нагрузке** (комплексные проводимости фаз равны) геометрическая мощность трехфазной нагрузки  $S_B$ , определяемая как произведение модулей трёхмерных комплексных векторов, будет равна геометрической мощности, вычисляемой по (4)

$$S_B = |\mathbf{V}||\mathbf{I}| = \sqrt{V_a^2 + V_b^2 + V_c^2} \cdot \sqrt{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2} = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (5)$$

т.е. выполняется равенство  $S_B = S_G$ .

В случае **синусоидального симметричного режима в точке подключения несимметричной нагрузки** напряжение смещения нейтрали и ток в нейтральном проводе будут отличны от нуля и поэтому векторное произведение трехмерных комплексных векторов с вещественными координатами позволяет определить мощность не симметрии нагрузки (мощность небаланса) [8]

$$\mathbf{D} = \mathbf{V} \times \mathbf{I} = \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a e^{j\psi_a} \\ V_b e^{j\psi_b} \\ V_c e^{j\psi_c} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a e^{j\varphi_a} \\ I_b e^{j\varphi_b} \\ I_c e^{j\varphi_c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_b \dot{I}_c - \dot{V}_c \dot{I}_b \\ \dot{V}_c \dot{I}_a - \dot{V}_a \dot{I}_c \\ \dot{V}_a \dot{I}_b - \dot{V}_b \dot{I}_a \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Вектор  $\mathbf{D}$  будет нулевым только при синусоидальном симметричном режиме и симметричной нагрузке (как произведение двух нулевых векторов), а при несимметричной нагрузке вектор  $\mathbf{D}$  считают трехмерным вектором реактивной (по определению векторного умножения) мощности небаланса (все слагаемые выражения (6) имеют размерность мощности)

$$\mathbf{D} = [D_a, D_b, D_c], \quad (7)$$

а его модуль  $D_u = |\mathbf{D}|$  - действующей величиной реактивной мощности небаланса.

В случае **синусоидального режима при несимметричных напряжениях фаз и несимметричной нагрузке** вектор  $D$  геометрически суммируется с вектором полной мощности симметричного режима, поэтому справедливо следующее соотношение [8, 9]

$$|I|^2 |V|^2 = |V^m I^*|^2 + |V \times I|^2 \quad (8)$$

Следовательно

$$S_B^2 = S_G^2 + D_u^2 \quad (9)$$

Таким образом, геометрическая мощность трехфазной нагрузки в случае синусоидального режима при несимметричных напряжениях фаз и несимметричной нагрузке включает в себя и дополнительные потери обусловленные током небаланса и напряжением смещения нейтрали и имеющие смысл потерь от реактивной мощности, не учитываемые счетчиками активной энергии энергоснабжающей организации

$$S_B^2 = P^2 + Q^2 + D_u^2 . \quad (10)$$

Поскольку вектор напряжения смещения нейтрали и ток в нейтральном проводе (ток небаланса) обусловлены как несимметрией фазных напряжений, так и несимметрией сопротивлений фаз нагрузки, то мощность небаланса (вектор  $D$ ) можно определить также векторным произведением вектора смещения напряжения нейтрали на вектор тока нейтрали

$$D_u = \dot{U}_N \times I_N . \quad (11)$$

Наличие дополнительных потерь, обусловленных током небаланса и напряжением смещения нейтрали, приводит к несимметричным падениям напряжения, ухудшению качества электроэнергии, уменьшению коэффициента мощности, недоучету электроэнергии, т.е. к увеличению коммерческих потерь.

В идеальном случае коммерческие потери электроэнергии в электрической сети, должны быть равны нулю. Очевидно, однако, что в реальных условиях отпуск от генерации в сеть, полезный отпуск потребителю и технические потери определяются с погрешностями. Разности этих погрешностей фактически и являются структурными составляющими коммерческих потерь.

К основным составляющим погрешностей измерений отпущенной в сеть и полезно отпущенной электроэнергии относятся: погрешности измерений электроэнергии в нормальных условиях работы измерительных комплексов ИК, определяемые классами точности трансформаторов тока ТТ, трансформаторов напряжения ТН и счетчика электроэнергии СЭ; дополнительные погрешности измерений электроэнергии в реальных условиях эксплуатации ИК, обусловленные; заниженным против нормативного коэффициентом мощности нагрузки (дополнительной угловой погрешностью); влиянием на СЭ магнитных и электромагнитных полей различной частоты; недогрузкой и перегрузкой ТТ, ТН и СЭ; не симметрией и уровнем подведенного к ИК напряжения; работой СЭ в не отапливаемых помещениях с недопустимо низкой температурой и т.п.; недостаточной чувствительностью СЭ при их малых нагрузках, особенно в ночные часы; систематические погрешности, обусловленные сверхнормативными сроками службы ИК; погрешности, связанные с неправильными схемами подключения электросчетчиков, ТТ и ТН, в частности, нарушениями фазировки подключения счетчиков; погрешности, обусловленные неисправными приборами учета электроэнергии; погрешности снятия показаний электросчетчиков из-за ошибок или умышленных искажений записей показаний; не одновременности или невыполнения установленных сроков снятия показаний счетчиков, нарушения графиков обхода счетчиков; ошибок в определении коэффициентов пересчета показаний счетчиков в электроэнергию. Следует заметить, что при одинаковых знаках составляющих погрешностей измерений отпуска в сеть и полезного отпуска коммерческие потери будут уменьшаться, а при разных - увеличиваться. Это означает, что с точки зрения снижения коммерческих потерь электроэнергии необходимо проводить согласованную техническую политику повышения точности измерений отпуска в сеть и полезного отпуска. В частности, если, например, односторонне уменьшать систематическую отрицательную погрешность измерений (модернизировать систему учета), не меняя погрешность измерений, коммерческие потери при этом возрастут, что, кстати, имеет место на практике [10, 11].

Коммерческая составляющая потерь, обусловленная занижением полезного отпуска из-за недостатков энергосбытовой деятельности, включает в себя: неточность данных о потребителях электроэнергии, в том числе, недостаточной или ошибочной информацией о заключенных договорах на пользование электроэнергией; ошибками при выставлении счетов, в том

числе не выставленными счетами потребителям из-за отсутствия точной информации по ним и постоянного контроля за актуализацией этой информации; отсутствием контроля и ошибками в выставлении счетов клиентам, пользующимся специальными тарифами; отсутствием контроля и учета откорректированных счетов и т.п.

Потери от хищений электроэнергии являются наиболее существенной составляющей коммерческих потерь. Опыт борьбы с хищениями электроэнергии в различных странах обобщается специальной экспертной группой по изучению вопросов касающихся кражи электроэнергии и неоплаченных счетов (неплатежей). При этом термин «кража электроэнергии» применяется только в тех случаях, когда электроэнергия не учитывается или не полностью регистрируется по вине потребителя, либо когда потребитель вскрывает счетчик или нарушает систему подачи электропитания с целью снижения учитываемого счетчиком расхода потребляемой электроэнергии.

Обобщение международного и отечественного опыта по борьбе с хищениями электроэнергии показало, что в основном этими хищениями занимаются бытовые потребители. Имеют место кражи электроэнергии, осуществляемые промышленными и торговыми предприятиями, но объем этих краж нельзя считать определяющим. Хищения электроэнергии имеют достаточно четкую тенденцию к росту, особенно в регионах с неблагоприятным теплоснабжением потребителей в холодные периоды года. А также практически во всех регионах в осенне-весенние периоды, когда температура воздуха уже сильно понизилась, а отопление еще не включено.

Как правило, в осенне-зимние и зимне-весенние периоды года имеют место недоплаты за электроэнергию, а в весенне-летние и летне-осенние периоды эти недоплаты в определенной мере компенсируются. В докризисный период эта компенсация была практически полной, и потери электроэнергии за год редко когда имели коммерческую составляющую. В настоящее время осенне-зимние и зимне-весенние сезонные недоплаты за электроэнергию намного превышают в большинстве случаев суммарную оплату в другие периоды года. Поэтому коммерческие потери имеют место по месяцам, кварталам и за год в целом [11].

Коммерческие потери электроэнергии нельзя измерить, их можно с той или иной погрешностью вычислить. Значение этой погрешности зависит не только от погрешностей измерений объема хищений электроэнергии, наличия «бесхозных потребителей», других рассмотренных выше факторов, но и от погрешности расчета технических потерь электроэнер-

гии. Чем более точными будут расчеты технических потерь электроэнергии, тем, очевидно, точнее будут оценки коммерческой составляющей.

### **3.2. Тема СРС: Ветроэнергетика.**

Традиционно энергия ветра в России использовалась главным образом для помола зерна деревянными четырехлопастными ветряными мельницами число которых достигало 200 тыс. шт., средней мощностью 3,5 кВт. Самые большие мельницы имели диаметр ветроколеса 20 - 24 м и мощность 10 - 15 кВт. Ветряные мельницы перемалывали в год около 34 млн. тонн зерна. Все ветряные мельницы были местного крестьянского производства, их постройка основывалась на многолетнем практическом опыте .

Теоретические и экспериментальные работы по ветродвигателям начали проводиться в 1920-х годах, в результате чего для нужд сельского хозяйства были разработаны многолопастные ветродвигатели цельнометаллической конструкции диаметром 5-8 м (ТВ-5 и ТВ-8). Массовое производство этих установок относится к 1936 г., когда было построено 1300 установок, укомплектованных поршневыми насосами. Производительность ТВ-5 составляла 1 м<sup>3</sup>/ч при скорости ветра 3 м/с и 5 м<sup>3</sup>/ч при V=5 м/с. ТВ-8 обеспечивала в 3-3,5 раза большую производительность. К довоенному периоду относится также разработка ВЭУ с ветроколесами диаметром 8 и 12м. Последний агрегат был укомплектован генератором 15 кВт. Он использовался на станциях Северного морского пути и показал высокую надежность в работе в условиях Крайнего Севера.

Первая в мире ВЭС мощностью 100 кВт с асинхронным генератором была разработана в ЦАГИ и построена в Крыму недалеко от г.Севастополь в 1931 г. Станция работала на местную энергосистему, она имела диаметр ветроколеса 30 м. Станция успешно работала, но была разрушена в 1942 г. во время войны.

В 50-х годах в СССР ветродвигатели выпускали 44 завода. Максимальный уровень производства был достигнут в 1955 г. 9142 шт. Наибольшим спросом пользовался ветродвигатель ТВ-8, который стал применяться не только для подъема воды, но и для переработки кормов. На водоснабжение ферм в России в 7 областях в 1958 г. работали 2352 установки. Ветродвигатели окупали себя за 1-2 года работы. Ветродвигатель Д-12 также использовался для механизации трудоемких процессов в животноводстве и для подъема воды. Более 3 тыс. радиоузлов в стране в 1956 г. питалось от АБ, заряжаемых с помощью ветроэлектрических агрегатов типа ВЭ-2 мощностью 100 кВт. На базе ветроагрегата Д-18 была создана ветро-

дизельная электростанция мощностью кВт и многоагрегатная мощностью 400 кВт.

С развитием электрификации сельского хозяйства ВЭУ стали терять свое прежнее значение для села. Задачей ветроэнергетики на новом этапе стало обеспечение энергией объектов сельского хозяйства, не подключенных к электросетям. Это отгонные пастбища Поволжья, Сибири, Казахстана, Туркмении. В период с 1968 по 1975 гг. в ряде организаций были разработаны новые ветроэлектрические агрегаты мощностью от 1 до 30 кВт. Наиболее удачной оказалась конструкция двухлопастного ветроагрегата АВЭУ-6 с диаметром ветроколеса 6 м и мощностью 4 кВт. Серийное производство АВЭУ-6 было организовано в НПО "Ветроэн". Объем годового производства в 80-е годы составлял 400-500 шт. АВЭУ-6 применялся в составе установок различного назначения: для подъема воды и обогрева помещений, для заряда аккумуляторов на маяках, для опреснения морской и солоноватой воды, для катодной защиты магистральных водопроводов. В частности, ветроагрегатов обеспечивали теплоснабжение бытовых помещений в Антарктиде на станции Новолазаревская. НПО "Ветроэн" освоило также серийное производство зарядных ветроагрегатов мощностью 100-250 Вт и водоподъемных ветроагрегатов механического типа производительностью до 1 м<sup>3</sup>/ч.

В настоящее время серийно производятся только малые ВЭУ мощностью от 0,1 до 10 кВт, но разработаны и прошли опытную проверку ветроагрегаты больших мощностей. Начато создание ВЭС мощностью 24 МВт под Элистой (Калмыкия). Работает ВЭС «Заполярная» (г.Воркута) мощностью 2,0 МВт, оборудованная сетевыми ветроагрегатами отечественной разработки типа АВЭ-250. В условиях России с ее огромными по площади и слабо заселенными северными территориями наибольшие перспективы имеют автономные ВЭУ, а также гибридные системы электрообеспечения сельскохозяйственных потребителей.

Хотя энергия ветра известна человечеству многие тысячелетия ее использование для производства электрической энергии бурно развивалось в последние 10 – 15 лет. К настоящему времени в мире установлено более 20000 ветроэлектрических агрегатов, общая мощность которых превышает 16 млн. кВт. Современные ветроэнергетические установки (ВЭУ) имеют мощность от единиц киловатт до нескольких мегаватт и позволяют экономически эффективно с высокой степенью надежности преобразовывать энергию ветра. ВЭУ могут использоваться для различных целей, начиная от заряда аккумуляторных батарей (АБ) и энергообеспечения различных объектов (дома, фермы и пр.) до подачи электроэнергии в сети централизованного электроснабжения.

Возрастающий интерес к проблемам использования ВИЭ связан с увеличением до невиданных ранее масштабов потребления ископаемого

топлива. В настоящее время понимание того, что запасы органического топлива истощаются и его использование во все возрастающих объемах ведет к загрязнению окружающей среды стало всеобщим. Выделение углекислого газа, приводящего к глобальному потеплению, в России достигло 16 т в год на одного жителя; в Европе . 12 т. Выделение двуокиси серы является причиной участвовавших в последние десятилетия кислотных дождей. В будущем неизбежно сокращение потребления органического топлива и его замена другими источниками энергии. Использование ВИЭ наиболее привлекательно, так как оно не нарушает естественного баланса энергии, получаемой нашей планетой. В ближайшем будущем ожидается значительный рост использования ВИЭ. В настоящее время доля возобновляемой энергии в энергобалансе Европы составляет около 12%.

В России ВИЭ используются не так широко, а их доля в производстве электроэнергии составляет менее 1% (без учета крупных ГЭС). Однако перспективы их применения велики. Около 60% территории страны, преимущественно сельскохозяйственного использования, имеют плотность электрической нагрузки 0,5 - 10 кВт/м<sup>2</sup>. Электроснабжение населения и производственных объектов здесь обеспечивается, как правило, за счет дизельных электростанций. Постоянный рост цен на привозное жидкое топливо делает экономически целесообразным привлечение в энергобаланс этих территорий местных, в том числе возобновляемых энергоресурсов.

Валовой потенциал ВИЭ, которым располагает Россия, эквивалентен 4 - 5·10<sup>12</sup> тонн условного топлива, а экономический потенциал нетрадиционных ВИЭ составляет около 30% ее годового энергопотребления. До 80% ВИЭ могут быть использованы в сфере сельского хозяйства, что будет способствовать повышению надежности энергообеспечения, экологической чистоте и повышению продуктивности сельскохозяйственного производства России. Ветроэнергетический потенциал нашей страны составляет около ¼ общего потенциала всех видов ВИЭ.

Ветер меняется в зависимости от времени суток и сезона года. Причем в зимние месяцы скорость ветра обычно выше, чем летом. Дневные изменения скорости ветра наблюдаются, как правило, вблизи морей и больших озер. Утром солнце нагревает землю быстрее, чем воду, поэтому ветер дует в направлении побережья. Вечером же земля остывает быстрее, чем вода, поэтому ветер дует от побережья. Скорость ветра зависит от высоты над уровнем земли. Близко к земле ветер замедляется за счет трения о земную поверхность. Таким образом, ветры бывают сильнее на больших высотах по отношению к земле. Для сельскохозяйственных полей и пустынных территорий при увеличении высоты над поверхностью земли в два раза наблюдается увеличение скорости ветра приблизительно на 12%.

На скорость ветра оказывают значительное влияние географические условия и характер земной поверхности, включая различные природные и

искусственные препятствия, такие, как холмы и пр., а также деревья и здания. По этой причине ВЭУ располагают, по возможности, на возвышенных и удаленных от высоких деревьев, жилых домов и других сооружений местах, т.к. такие препятствия снижают скорость ветра и приводят к завихрениям потока, затрудняющим преобразование энергии ветра.

Среднегодовая скорость ветра ( $V_C$ ) характеризует ветровой потенциал территории. Средние скорости ветра могут быть вычислены и для других периодов, например: месячные, дневные, часовые. Энергия, заключенная в ветре, находится в кубической зависимости от величины скорости ветра. Удвоение скорости ветра дает увеличение энергии в 8 раз. Таким образом, средняя скорость ветра 5 м/с может дать примерно в 2 раза больше энергии, чем ветер со средней скоростью 4 м/с. Характеристики ветра измеряются на метеостанциях. На основе данных многолетних наблюдений скоростей ветра в различных областях России составляются специализированные карты ветров (атлас ветров России).

Современные ВЭУ - это машины, которые преобразуют энергию ветра в механическую энергию вращающегося ветроколеса, а затем в электрическую энергию. В настоящее время применяются две основные конструкции ветроагрегатов (см. рис.3): горизонтально-осевые и вертикально-осевые ветродвигатели. Оба типа ВЭУ имеют примерно равный КПД, однако наибольшее распространение получили ветроагрегаты первого типа. Мощность ВЭУ может быть от сотен ватт до нескольких мегаватт. Ранее в ветроустановках применялись ветроколеса так называемого «активного» типа (карусельного типа, Савониуса и др.), использующие силу давления ветра (в отличие от выше указанных ветроколес, использующих подъемную силу). Однако такие установки имеют очень низкий КПД (менее 20%), поэтому в настоящее время для производства энергии не применяются. Основные компоненты установок обоих типов:

- **ветроколесо (ротор)**, преобразующее энергию набегающего ветрового потока в механическую энергию вращения оси турбины. Диаметр ветроколеса колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров. Частота вращения составляет от 15 до 100 об/мин. Обычно для соединенных с сетью ВЭУ частота вращения ветроколеса постоянна. Для автономных систем с выпрямителем и инвертором - обычно переменная;

- **мультипликатор** - промежуточное звено между ветроколесом и электрогенератором, который повышает частоту вращения вала ветроколеса и обеспечивает согласование с оборотами генератора. Исключение составляют ВЭУ малой мощности со специальными генераторами на постоянных магнитах; в таких ветроустановках мультипликаторы обычно не применяются;

- **башня** (ее иногда укрепляют стальными растяжками), на которой установлено ветроколесо. У ВЭУ большой мощности высота башни дости-

гает 75 м. Обычно это цилиндрические мачты, хотя применяются и решетчатые башни;

-! **основание (фундамент)**, предназначено для предотвращения падения установки при сильном ветре.

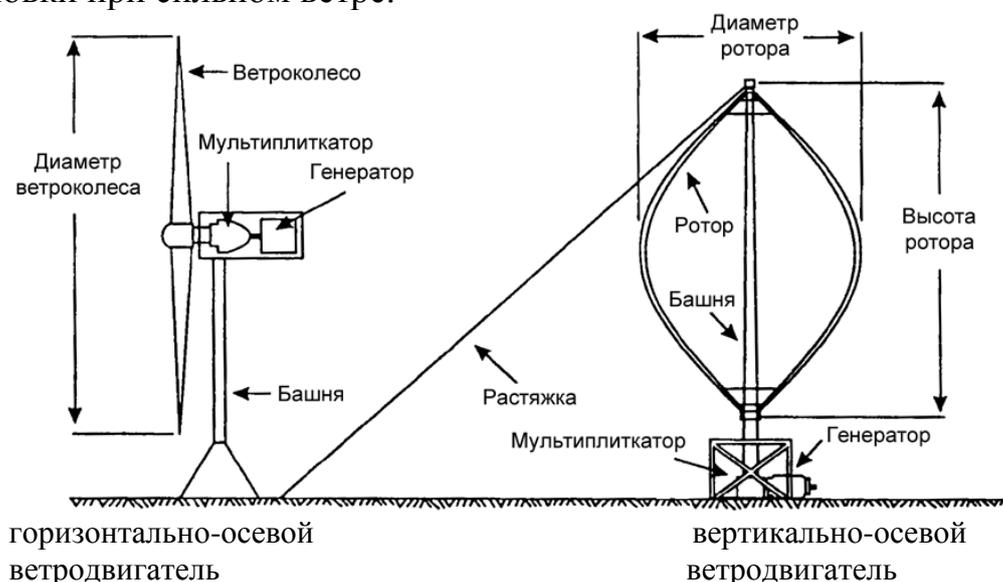


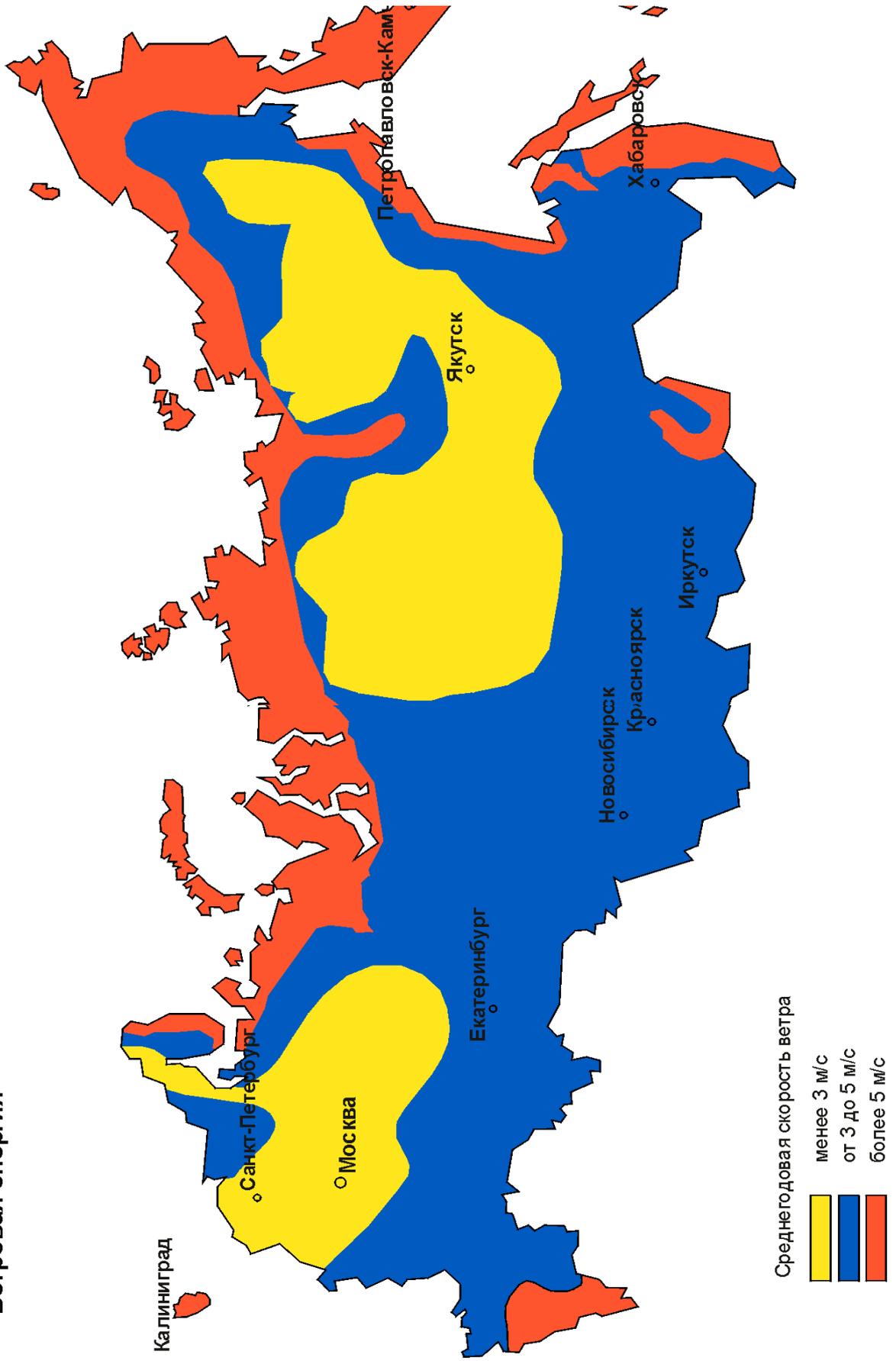
Рис. 3. Конструкции ветроагрегатов.

Автономная ветроэлектрическая система энергоснабжения работает независимо от сети централизованного энергоснабжения. В этих условиях ВЭУ может функционировать самостоятельно или в качестве компонента комбинированной системы энергоснабжения. Как правило, маломощные автономные ВЭУ генерируют постоянный ток для заряда аккумуляторной батареи (АБ). Система содержит инвертор для преобразования постоянного тока в переменный с напряжением 230 В. В настоящее время в России получили распространение такие ветроэнергетические установки мощностью до 0,5 кВт. Разработаны и используются опытные образцы ВЭУ мощностью 2,5; 5; 8 и 10 кВт. Более мощные системы, используемые, например, для электроснабжения нескольких объектов, обычно генерируют переменный ток.

Приоритетным направлением развития ветроэнергетики в России на ближайшее время будет автономное использование малых и средних ВЭУ в отдаленных регионах Крайнего Севера, т.к. там сосредоточены основные ветроэнергетические ресурсы страны, низкая плотность населения, отсутствуют крупные электрические сети и имеется около 17 тыс. малых населенных пунктов, где целесообразно использовать ВЭС для целей энергоснабжения. В 1996-1998 г.г. в Мурманской и Архангельской областях установлены первые автономные ВЭУ мощностью 10 кВт.

# ЭНЕРГОРЕСУРСЫ РОССИИ

## Ветровая энергия



Гибридная энергосистема подразумевает использование ВЭУ совместно с другими источниками энергии (дизель-генератор, солнечные модули, микроГЭС и т.п.). Соотношение мощности компонентов системы зависит от схемы генерирования нагрузки и ресурсов ветра. Режим одновременной параллельной работы ВЭУ и ДЭС оценивается как недостаточно эффективный способ использования ВЭУ, поскольку доля участия ветроагрегата в системе по мощности не должна превышать 15-20 % от мощности дизель-генератора.

Использование режима раздельной работы ВЭУ и ДЭС позволяет поднять долю участия ветроустановки до 50 - 60% и более. Однако, в этом случае неизбежно усложнение системы за счет необходимости введения системы управления, инверторного оборудования и АБ, которые аккумулируют энергию, вырабатываемую ветроагрегатом при рабочих скоростях ветра для питания нагрузки в безветренную погоду или при небольших скоростях ветра. Всякий раз, когда это возможно, энергия получается за счет ВЭУ, а АБ непрерывно подзаряжаются. В периоды ветрового затишья, когда заряд АБ падает ниже определенного уровня, для обеспечения потребителей энергией автоматически (или вручную) запускается дизель-генератор. Ветро-дизельные системы рассматриваемого типа в настоящее время используются в Архангельской и Мурманской областях России.

Гибридные ветро-дизельные системы мощностью от 2 до 500 кВт различных конструкций и назначения в настоящее время испытываются, разрабатываются или планируются к реализации в рамках Федеральной программы "Энергоснабжение удаленных территорий Крайнего Севера РФ". Как правило, эти гибридные системы предназначены для надежного электроснабжения автономных потребителей с одновременной экономией жидкого топлива.

Электрическая энергия может быть получена за счет преобразования солнечного излучения фотоэлектрическими батареями (ФБ). Несмотря на довольно высокую, в настоящее время, стоимость ФБ, их использование совместно с ВЭУ в некоторых случаях может быть эффективным. Поскольку зимой существует большой потенциал ветра, а летом в ясные дни максимальный эффект можно получить, используя ФБ, то сочетание этих ресурсов оказывается выгодным для потребителя.

ВЭУ могут использоваться в комбинации с микроГЭС, имеющими резервуар для воды. В таких системах при наличии ветра ветроагрегат питает нагрузку, а излишки энергии используются для закачивания воды с нижнего бьефа на верхний. В периоды ветрового затишья энергия вырабатывается микроГЭС. Подобные схемы особенно эффективны при малых ресурсах гидроэнергии.

ВЭУ, подключенные к энергосетям, подразумевают связь с какой-либо существующей энергетической сетью, которая поставляет ветроуста-

новке активную и реактивную мощность для обеспечения запуска, работы и контроля ветроагрегата. Это означает, что электроэнергия, выработанная ВЭУ, поступает непосредственно в сеть. ВЭУ начинают вырабатывать энергию при некоторой скорости ветра . обычно около 4 м/с для большинства современных установок. Ток возбуждения берется из сети и используется для синхронизации генератора ВЭУ. Это означает, что если сеть отключена, то ветроагрегат не может производить энергию. Соединенные с сетью ВЭУ устанавливаются на территориях с хорошими ветроэнергетическими ресурсами для производства электроэнергии с целью продажи ее энергетическим компаниям. Группа таких турбин составляет так называемую "ветроферму".

*Ветроферма* – это комплекс ВЭУ, часто установленных рядами, которые перпендикулярны господствующему направлению ветра. При разработке такого проекта нужно учитывать наличие дорог для доступа к агрегатам, подстанции и мониторинговой и контрольной систем. Обычно участок земли, отведенный под ветроферму, используется и на другие нужды, например сельскохозяйственные. Обычно в ветрофермах используются крупные ветроагрегаты мощностью от 200 кВт до 1,5 МВт и выше. При этом общая мощность ветрофермы может достигать десятков и сотен мегаватт. В штате Калифорния (США), например, за счет использования ветроферм производится столько электроэнергии, что ее хватает для удовлетворения потребностей в энергии крупного города, такого, как Сан-Франциско, в течение года. Этот тип систем становится все более популярным и в европейских странах, где, согласно Киотскому протоколу, поставлена цель снижения эмиссии парниковых газов.

### 3.2.1. Приближенный расчет годовой выработки электроэнергии ветроагрегатом

- Выработка электроэнергии ветроагрегатом в месте его установки зависит от энергетических характеристик ветра и конструкции ветроагрегата.
- Мощность ветрового потока вычисляется по следующей формуле:

$$P = 1/2 \rho A V^3 ,$$

- где:  $P$  - мощность ветрового потока [Вт];
- -  $\rho$  - плотность воздуха [1,225 кг/м<sup>3</sup>, при обычных условиях];
- -  $A$  . поперечная площадь сечения ветрового потока [м<sup>2</sup>];
- -  $V$  - скорость ветра [м/с].

- Если известна средняя скорость ветра, например, за год и распределение скоростей ветра имеет типичный характер, то средняя мощность ветрового потока определяется из выражения:

$$\bullet P_c = 1,17 A V_c^3,$$

- где:  $P_c$  - средняя мощность ветра [Вт];
- $V_c$  - средняя скорость ветра [м/с].
- Современные ВЭУ способны преобразовывать только около 25% полной мощности воздушного потока в полезную мощность, поэтому:

$$\bullet P_{ВЭУ} = 0,25 \cdot 1,17 A_K V_c^3 = 0,292 A_K V_c^3,$$

- где:  $P_{ВЭУ}$  - мощность на выходе ветроагрегата [Вт];
- $A_K$  - площадь поверхности, ометаемой ветроколесом [м<sup>2</sup>];
- $V_c$  - средняя скорость ветра на уровне ступицы ветроколеса [м/с].
- Количество энергии, которую вырабатывает ветроагрегат за расчетный период времени можно определить следующим образом:

$$\bullet W_{ВЭУ} = P_{ВЭУ} T / 1000.$$

- где:  $W$  - количество вырабатываемой энергии [кВт·ч];
- -  $T$  - расчетное время работы ветроагрегата [ч].
- Среднее количество энергии, которую ветроагрегат выработает за год находится по формуле:

$$\bullet W_{СГ} = 24 \cdot 365 \cdot P / 1000 = 2,56 \cdot A_K V_{СГ}^3$$

- где:  $W_{СГ}$  - среднегодовая выработка энергии ветроагрегатом [кВт·ч/год];
- -  $V_{СГ}$  - среднегодовая скорость ветра [м/с].

*Таким образом, для ветроагрегата среднегодовая выработка электроэнергии зависит от диаметра ветроколеса и среднегодовой скорости ветра*

### Пример

- Определим среднегодовую выработку электроэнергии ветроагрегатом УВЭ-500.

- Площадь ветроколеса УВЭ-500  $A_k = \pi d_k^2/4 = 3,8 \text{ м}^2$
- Среднегодовая скорость ветра для данного примера
- $V_{CF} = 4,85 \text{ м/с}$ ;  $V_{CF}^3 = 114,1 \text{ (м/с)}^3$ ;

Количество энергии, которую вырабатывает ветроагрегат за расчетный период времени

- $W_{CF} = 2,56 * 3,8 * 114,1 = 1110 \text{ (кВт·ч/год)}$ ,
- Много это или мало?
- Один крестьянский дом в зависимости от размеров хозяйства потребляет за год от 1000 до 4000 кВт·ч электроэнергии. Итак, одна ветроустановка УВЭ-500 с АБ способна обеспечить крестьянскую семью электроэнергией, включая освещение, телевизор, радио и холодильник, т.е. практически все, но без электротепловых приборов.

### Примеры использования ветроэлектрических систем в России

*Ветроэлектростанция «Заполярная» (г.Воркута), подключенная к централизованной сети энергоснабжения*

Таблица 7

Ветровые и климатические условия	
Среднегодовая температура наружного воздуха	минус 6,3°C
Абсолютная минимальная температура наружного воздуха	минус 52°C
Абсолютная максимальная температура наружного воздуха	плюс 35°C
Средняя температура наиболее холодной пятидневки	минус 41°C
Средняя температура наиболее холодных суток	минус 45°C
Продолжительность периода со среднесуточной температурой ниже и равной	0°C 240 суток
Климатический район для строительства	II
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца	86%
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее жаркого месяца	63%
Вес снегового покрова (IV район)	150кг/м <sup>2</sup>
Скоростной напор ветра (IV район)	48 кг/м <sup>2</sup>
Зона по влажности воздуха	нормальная
Преобладающее направление	южное

Таблица 8

Средние месячные скорости ветра на высоте 12м (метеостанция Воркута):

Месяцы												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
6,3	6,1	6,4	5,8	5,9	5,5	4,6	4,4	4,8	5,8	5,8	6,3	5,6

Таблица 9

Характеристика ветроэлектростанции (ВЭС) «Заполярная»

Место строительства -	30 км восточнее г. Воркута в предгорьях Полярного Урала.
Назначение ВЭС	обеспечение надежного электроснабжения системы водоснабжения Воркутинского промышленного узла.

Режим работы ВЭС: - сетевой:  - автономный:	- автоматический запуск "по ветру" и включение ветроагрегатов в единую сеть энергосистемы;  - параллельная работа ветроагрегатов на нагрузку насосной станции водоснабжения при аварии в энергосистеме.
Установленная мощность	2,5 МВт
Рабочее напряжение	6 кВ
Состав оборудования	10 ветроагрегатов типа АВЭ-250С мощностью по 250 кВт
Проектировщики:	- институт "Ветроэнергопроект", г. Москва; - институт "ПечорНИИпроект", г. Воркута.
Заказчик	Воркутинские электрические сети АЭК "Комиэнерго"
Строительно-монтажные организации:	- СУ-19 к-та Печоршахтострой, г. Воркута; - НПО "Ветроэн", г. Москва; - Крымэнергоналадка.
- СУ-19 к-та Печоршахтострой, г. Воркута; - НПО "Ветроэн", г. Москва; - Крымэнергоналадка.	Воркутинские электрические сети АЭК "Комиэнерго"
Генплан	площадка ВЭС "Заполярная" прямоугольная 500х700 м, расположена на правом берегу реки Уса. Ветроагрегаты располагаются в три ряда. Расстояние между рядами - 150 м, между агрегатами - 200 м (выбранная площадка строительства ВЭС "Заполярная" позволяет при необходимости увеличить количество ветроагрегатов в несколько раз).
Управление работой	в центре площадки расположен пункт управления ВЭС. Контроль за работой агрегатов осуществляется на диспетчерском пункте электрических сетей в г.Воркута, куда по радиоканалу передается необходимая информация.
Электрическая схема	ВЭУ через повышающий трансформатор 0,4/6 кВ включается блоком генератор-трансформатор кабельной ЛЭП 6 кВ на шины распределительной подстанции ВЭС "Заполярная". С распределительной подстанции мощность ВЭС выдается по двум воздушно-кабельным ЛЭП 6 кВ на шины подстанции 35/6 кВ "Усинская".
Начало проектирования	сентябрь 1992г.
Ввод в эксплуатацию 9 и 10-го ветроагрегатов	конец 1996г.

### 3.3. Тема СРС: Солнечная энергетика

Полное количество солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли за неделю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа,

угля и урана. За последнее десятилетие солнечная энергетика сделала большой рывок. Суммарная мощность установленных и функционирующих на планете солнечных станций превысила 23 ГВт. При этом 70% мирового производства энергии солнечными станциями принадлежит Евросоюзу. Если покрыть хотя бы 0.7% земной поверхности солнечными батареями, КПД которых составляет всего 10% (в среднем КПД современных батарей около 15%), то полученная энергия обеспечит потребности всего человечества более чем на 100%: около 20 ТВт против потребляемых 14 ТВт ( $T=terra=10^{12}$ ).

Солнечное тепло можно сберегать разными способами. Современные технологии включают параболические концентраторы, солнечные параболические зеркала и гелиоэнергетические установки башенного типа. Их можно комбинировать с установками, сжигающими ископаемые энергоносители, а в некоторых случаях адаптировать для аккумуляции тепла. Основное преимущество такой гибридизации и теплоаккумуляции - обеспечение диспетчеризации производства электричества (то есть выработка электроэнергии может производиться в периоды, когда в ней есть необходимость). Гибридизация и аккумуляция тепла могут повысить экономическую ценность производимого электричества и снизить его среднюю стоимость.

Важный вклад в понимание механизма действия фотоэффекта в полупроводниках внес основатель Физико-технического института (ФТИ) Российской Академии наук академик А.Ф. Иоффе уже в тридцатые годы, когда Б.Т. Коломиец и Ю.П. Маслаковец создали в ФТИ сернистоталлиевые фотоэлементы с рекордным для того времени КПД = 1%. Широкое практическое использование для энергетических целей солнечных батарей началось с запуском в 1958 году искусственных спутников Земли - советского "Спутник"-3 и американского "Авангард"-1. С этого времени полупроводниковые солнечные батареи являются основным и почти единственным источником энергоснабжения космических аппаратов и больших орбитальных станций типа "Салют" и "Мир". Большой задел, наработанный учеными в области солнечных батарей космического назначения, позволил развернуть также работы по наземной фотоэлектрической энергетике. При поглощении света в полупроводнике возбуждаются электронно-дырочные пары. В однородном полупроводнике фотовозбуждение увеличивает только энергию электронов и дырок, не разделяя их в пространстве, то есть электроны и дырки разделяются в "пространстве энергий", но остаются рядом в геометрическом пространстве. Для разделения носителей тока и появления фотоэлектродвижущей силы (фото-ЭДС) должна существовать дополнительная сила. Наиболее эффективное разделение неравновесных носителей имеет место именно в области p-n перехода. Генерированные вблизи p-n перехода "неосновные" носители (дырки в n-полу-

проводнике и электроны в р-полупроводнике) диффундируют к р-п переходу, подхватываются полем р-п-перехода и выбрасываются в полупроводник, в котором они становятся основными носителями: электроны будут локализоваться в полупроводнике n-типа, а дырки - в полупроводнике р-типа. В результате полупроводник р-типа получает избыточный положительный заряд, а полупроводник n-типа – отрицательный. Между n- и р-областями фотоэлемента возникает разность потенциалов – фото-ЭДС, полярность которой соответствует "прямому" смещению р-п перехода, которое понижает высоту барьера и способствует инжекции дырок из р-области в n-область и электронов из n-области в р-область. В результате действия этих двух противоположных механизмов - накопления носителей тока под действием света и их оттока из-за понижения высоты потенциального барьера - при разной интенсивности света устанавливается разная величина фото-ЭДС, значение которой в широком диапазоне освещенностей растет пропорционально логарифму интенсивности света

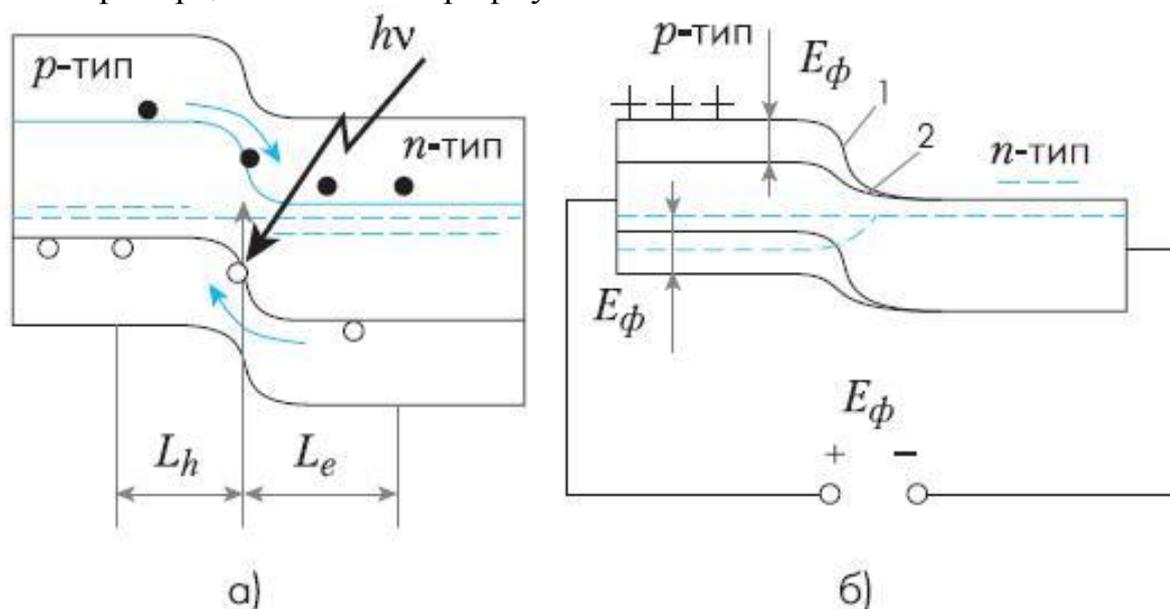
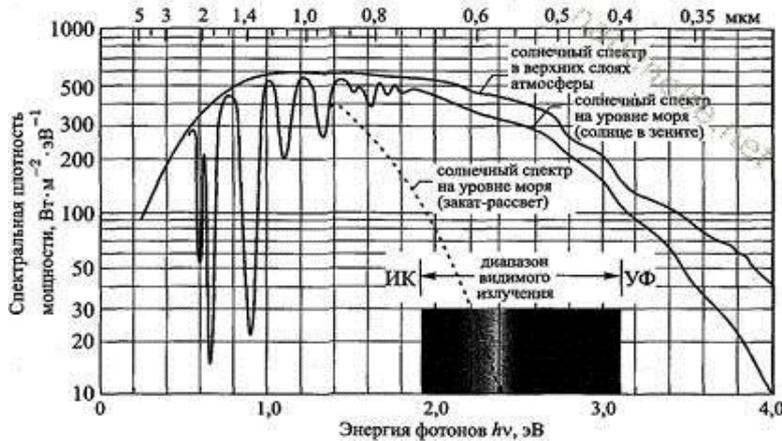


Рис.4. Зонная модель разомкнутого р-п-перехода: а) - в начальный момент освещения; б) - изменение зонной модели под действием постоянного освещения и возникновение фото-ЭДС

При очень большой интенсивности света, когда потенциальный барьер оказывается практически нулевым, значение фото-ЭДС выходит на "насыщение" и становится равной высоте барьера на неосвещенном р-п переходе. При засветке же прямым, а также сконцентрированным до 100 - 1000 крат солнечным излучением, значение фото-ЭДС составляет 50 - 85% от величины контактной разности потенциала р-п перехода.

При очень большой интенсивности света, когда потенциальный барьер оказывается практически нулевым, значение фото-ЭДС выходит на "насыщение" и становится равной высоте барьера на неосвещенном p-n переходе. При засветке же прямым, а также сконцентрированным до 100 -



1000 крат солнечным излучением, значение фото-ЭДС составляет 50 - 85% от контактной разности потенциала p-n перехода.

Рис. 5. Распределение интенсивности по спектру солнечного излучения.

При коротком замыкании освещенного p-n перехода в электрической цепи потечет ток, пропорциональный по величине интенсивности освещения и количеству генерированных светом электронно-дырочных пар. Обычно электрическое сопротивление полезной нагрузки в цепи солнечного элемента выбирают таким, чтобы получить максимальную отдаваемую этой нагрузке электрическую мощность. Солнечный фотоэлемент изготавливается на основе пластины, выполненной из полупроводникового материала, например кремния. В пластине создаются области с p- и n- типами проводимости. В качестве методов создания этих областей используется, например, метод диффузии примесей или метод наращивания одного полупроводника на другой. Затем изготавливаются нижний и верхний электроконтакты, причем нижний контакт - сплошной, а верхний выполняется в виде гребенчатой структуры (тонкие полосы, соединенные относительно широкой токосборной шиной).

В последние годы в мире достигнут значительный прогресс в области разработки кремниевых солнечных элементов, работающих при концентрированном солнечном облучении. Созданы кремниевые элементы с КПД > 25% в условиях облучения на поверхности Земли при степени концентрирования 20 - 50 "солнц". Значительно большие степени концентрирования допускают фотоэлементы на основе полупроводникового материала алюминий-галлий-мышьяк, впервые созданные в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе в 1969 году. В таких солнечных элементах достигаются значения КПД > 25% при степени концентрирования до 1000 крат. Несмотря на большую стоимость таких элементов, их вклад в стоимость получаемой электроэнергии не оказывается определяю-

щим при высоких степенях концентрирования солнечного излучения вследствие существенного (до 1000 раз) снижения их площади.

Условия, при которых стоимость фотоэлементов не дает существенного вклада в общую стоимость солнечной энергоустановки, делает оправданным усложнение и удорожание фотоэлемента, если это обеспечивает увеличение КПД. Этим объясняется внимание, уделяемое в настоящее время разработкам каскадных солнечных элементов, которые позволяют достичь существенного увеличения КПД. В каскадном солнечном элементе солнечный спектр расщепляется на две (или более) части (с учетом данных о зависимости мощности удельного солнечного излучения от длины волны, графики которого показаны на рис. 4 и рис. 5), например, видимую и инфракрасную, каждая из которых преобразуется с помощью фотоэлементов, выполненных на основе различных материалов. В этом случае снижаются потери энергии квантов солнечного излучения. Например, в двухэлементных каскадах теоретическое значение КПД превышает 40%.

Посмотрим на карту солнечной инсоляции (количество солнечной энергии, попадающей на поверхность Земли) регионов России (рис. 6 и рис. 7) и убедимся, что в разных регионах России годовая инсоляция находится в пределах от 800 кВт-час/м<sup>2</sup> до 1900 кВт-час/м<sup>2</sup>. Для Московского региона годовая инсоляция одного квадратного метра горизонтальной площадки составляет около 1100 кВт-час/м<sup>2</sup>, т.е. **количество солнечной энергии, поступающей в географическую зону Центрального Федерального Округа, сравнимо с Германией**, месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации, кВт-ч/м<sup>2</sup> приведены в таблице 10.

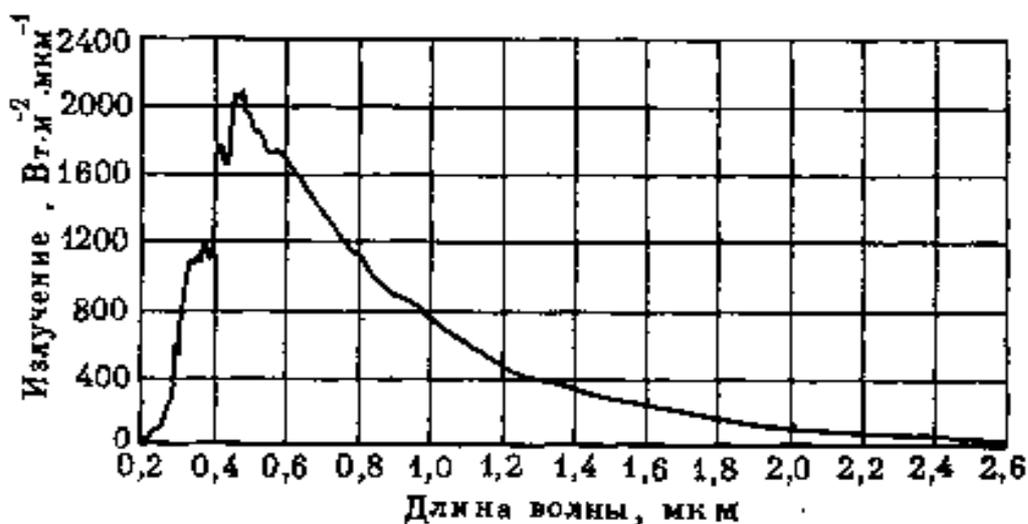


Рис. 6. График частотной зависимости удельной мощности излучения.

Таблица 10

Москва, широта 55.7°	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
Горизонтальная панель	16.4	34.6	79.4	111.2	161.4	166.7	166.3	130.1	82.9	41.4	18.6	11.7	1020.7
Вертикальная панель	21.3	57.9	104.9	93.5	108.2	100.8	108.8	103.6	86.5	58.1	38.7	25.8	908.3
Наклон панели - 40.0°	20.6	53.0	108.4	127.6	166.3	163.0	167.7	145.0	104.6	60.7	34.8	22.0	1173.7
Вращение вокруг полярной оси	21.7	62.3	132.9	161.4	228.0	227.8	224.8	189.2	126.5	71.6	42.2	26.0	1514.3



Рис. 7. Карта интенсивности солнечного излучения на территории России

### 3.3.1. Способы получения электричества и тепла из солнечного излучения

- **Преобразование солнечной энергии в электричество с помощью тепловых машин:** паровые машины (поршневые или турбинные),

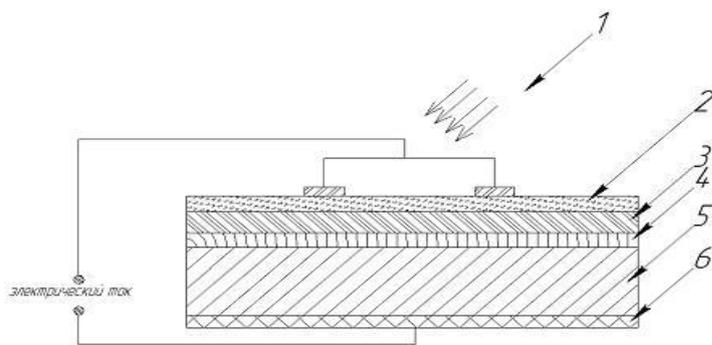
использующие водяной пар, углекислый газ, пропан-бутан, фреоны; двигатель Стирлинга и т. д.

- **Гелиотермальная энергетика** — нагревание поверхности, поглощающей солнечные лучи, и последующее распределение и использование тепла (фокусирование солнечного излучения на сосуде с водой для последующего использования нагретой воды в отоплении или в паровых электрогенераторах).
- **Термовоздушные электростанции** (преобразование солнечной энергии в энергию воздушного потока, направляемого на турбину турбогенератора).
- **Солнечные азростатные электростанции** (генерация водяного пара внутри баллона азростата за счет нагрева солнечным излучением поверхности азростата, покрытой селективно-поглощающим покрытием). Преимущество — запаса пара в баллоне достаточно для работы электростанции в темное время суток и в ненастную погоду.
- **Солнечные фотоэлементы.**



Рис. 8. Продолжительность солнечного сияния в год.

Структура фотоэлемента показана на рис. 9:



- 1 - солнечное излучение (фотоны);
- 2 - наружный контакт;
- 3 - отрицательно заряженный слой;
- 4 - слой утечки;
- 5 - положительно заряженный слой;
- 6 - внутренний контакт.

Рис. 9. Структура полупроводникового фотоэлемента.

Значение установившейся фото-ЭДС при освещении перехода излучением постоянной интенсивности описывается уравнением вольт - амперной характеристики (ВАХ)

где  $I_s$ - ток насыщения,

$I_{ph}$  - фототок

$$U = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I_{ph} - I}{I_s} + 1 \right)$$

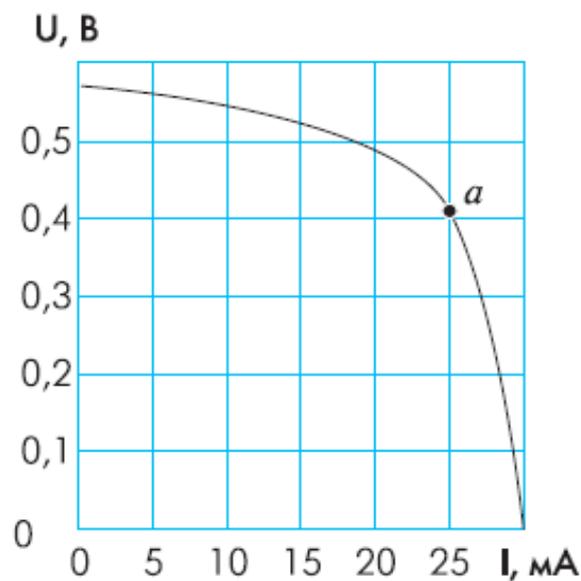


Рис. 10. Вольт – амперная характеристика р - n перехода.

Эквивалентная схема фотоэлемента соответствующая уравнению ВАХ включает источник тока, р-п-переход и нагрузку. р-п-переход шунтирует нагрузку и при увеличении напряжения ток через него быстро возрастает.

В нагрузку (сопротивление R) отбирается ток I.

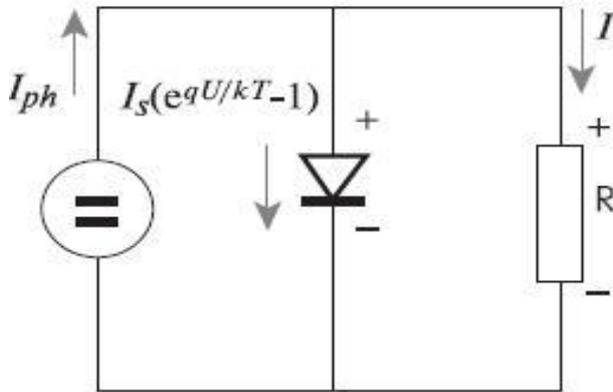


Рис. 11. Эквивалентная схема солнечного элемента.

Мощность, выделяемая в нагрузке, ток р-п-перехода и фототок определяются по формулам

$$P = I_{ph}U = xI_{кз}U_{хх} \quad I_{p-n} = I_s [e^{qU/kT} - 1] \quad I_{ph} = SqN_oQ$$

где  $x$  - коэффициент формы или коэффициент заполнения ВАХ;  $S$  - площадь фотоэлемента;

$Q$  - коэффициент сбора, безразмерный множитель ( $<1$ ), показывающий, какая доля всех созданных светом электронно-дырочных пар ( $SN_0$ ) собирается р-п-переходом.

Одним из основных параметров фотоэлемента является его коэффициент полезного действия (кпд)

$$\eta_{\max} = \frac{\text{выходная мощность}}{\text{входная мощность}} = \frac{kU_{хх}I_{кз}}{\text{входная мощность}}$$

Написанное выражение относится к случаю, когда выходная мощность выражается в виде электрической энергии, где  $U_{хх}$  и  $I_{кз}$  представляют собой напряжение разомкнутой цепи (э. д. с.) и ток короткого замыкания, а входная мощность определяется мощностью солнечного излучения в конкретном регионе. Коэффициент  $k$  лежит в пределах от 0,25 до 1 и зависит от выбора внешней нагрузки.

Все фотоэлектрические элементы представлены четырьмя поколениями (см. также рис. 3.9):

- **Первое** составляют монокристаллические кремниевые элементы, способные генерировать электрическую энергию от источника излучения, длина волны которого совпадает с таковой солнечного света. Элементы подобного типа – основная технология, применяемая в производстве коммерческих солнечных батарей: ей принадлежит 86% рынка земных фотоэлектрических элементов.

- **Второе** поколение основано на использовании тонких эпитаксиальных полупроводниковых батарей. Существует два класса эпитаксиальных фотогальванических элементов: космические и земные. Космические эффективны на 28-30%, но стоимость одного ватта производимой ими энергии выше, чем у тонкопленочных конкурентов (земных фотоэлементов). КПД последних не превышает 5-7%. Ряд технологий и полупроводниковых материалов в настоящее время рассматриваются в плане эффективности их применения в создании солнечных элементов: аморфный кремний, микрокристаллический кремний, теллурид кадмия, а также создание тонких Ga-As-пленок для космической индустрии (с потенциальным КПД до 37%) - все это сейчас на стадии разработ-ки. Фотоэлектрические элементы второго поколения занимают лишь малую часть рынка применяемых на Земле батарей, но примерно 90% космического принадлежит именно им.

- **Третье** поколение фотогальванических элементов значительно отличается от предыдущих двух. Оно представлено квантовыми точками (фрагментами проводника или полупроводника, ограниченными по всем трём пространственным измерениям, содержащими электроны; они настолько малы, что осуществимы квантовые эффекты) и устройствами со встроенными углеродными нанотрубками. Их КПД, по мнению ученых, к моменту начала широкомасштабного производства достигнет 45%. Данное поколение фотоэлектрических элементов помимо упомянутых включает еще и фото-электрохимические, нанокристаллические и полимерные солнечные батареи, применение которых будет осуществимо только на земной поверхности. Все представители третьего поколения пока находятся на этапе разработки или испытаний.

*Не существующее на данный момент четвертое поколение солнечных батарей предположительно будет представлено композитными фотогальваническими элементами, в которых будут сочетаться полимеры и наночастицы, образующие один монослой.* В дальнейшем эти тонкие слои могут быть совмещены с образованием полноценных, более эффективных и экономичных солнечных батарей, что будет достигнуто за счет следующего эффекта, кстати, частично уже используемого NASA в проекте по исследованию Марса: первым слоем фотоэлемента будет тот, что превращает в электроток разные типы света, вторым – преоб-

разующий в электроэнергию свет прошедший и не уловившийся в первом, а последний предназначен для инфракрасных лучей. Таким образом, будет достигнуто использование почти полного спектра улавливаемого излучения.

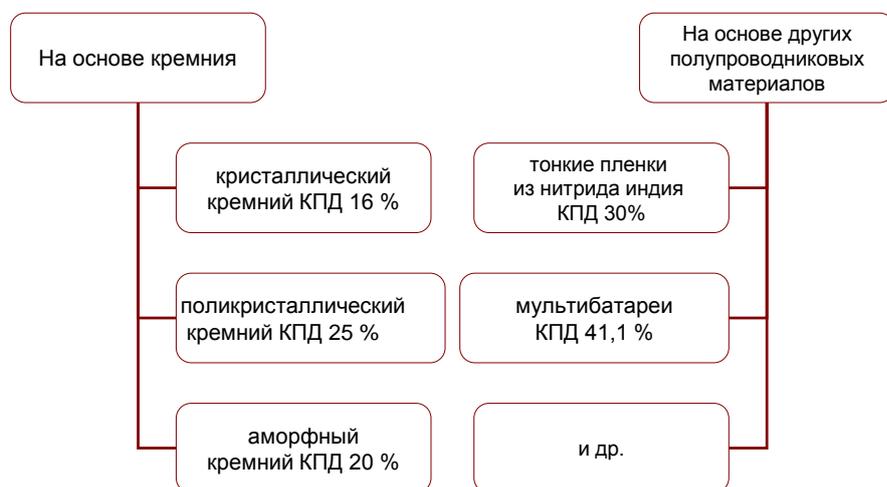


Рис. 12. Виды солнечных фотоэлементов.



Солнечная батарея (модуль, панель) представляет собой фотоэлектрический генератор, принцип действия которого основан на фотоэлектрическом эффекте. Солнечные батареи соединяют в цепи последовательно и/или параллельно для получения необходимых параметров по току

и напряжению.

- Срок службы солнечной батареи более 25 лет;
- типичный КПД солнечной батареи 14% - напряжение любой пластинки кремниевого элемента: без нагрузки 0.6 В, под нагрузкой 0.5 В(при инсоляции 1 кВт/м<sup>2</sup>);



- кремний - второй по распространённости элемент во вселенной в то же время всего 2% чистого кремния идёт на солнечную энергетику - мировая нехватка солнечного кремния оценивается в 10-15 тысяч тонн в год;

- за год в России изготавливается примерно 5 - 6 МВт солнечных батарей, а продаётся на внутреннем рынке не более 150 кВт.

***Представленные на рынке солнечные батареи можно условно поделить на несколько классов:***

- Маломощные (доли Ватта) солнечные батареи, используемые для зарядки сотовых телефонов, КПК и другой подобной электроники. Они характеризуются малой площадью фотопластин и относительно высокой ценой.

- Универсальные солнечные батареи, изготовленные для питания широкого круга потребителей в полевых условиях. Импортные отличаются весьма неплохим качеством изготовления и дизайном, наличием дополнительных переходников, часто приемлемой ценой. Отечественные могут быть как заводского изготовления так и полусерийные. Цена и качество может варьировать в весьма широких пределах. Поэтому при покупке нужно рассматривать каждый вариант отдельно. Этот класс солнечных батарей зачастую наиболее приемлем для туристов.

- Панели солнечных элементов. Обычно это набор фотопластин, закрепленных на подложке. Фактически, они являются заготовкой для построения более «продвинутых» и удобных для конечного потребителя устройств на их основе.

Наиболее распространённые в странах СНГ являются солнечные батареи типа БСК-1, БСК-2, Электроника МЧ/1. Эти батареи выпускают или ранее выпускали многие радиоэлектронные заводы. Иногда встречаются в продаже также импортные, в основном китайские и корейские, солнечные батареи, с параметрами сравнимыми с батареями типов БСК-1, БСК-2, Электроника МЧ/1. Эти солнечные батареи при хорошем солнечном освещении могут обеспечить зарядный ток аккумулятора в пределах 35-50 миллиампер. Следовательно, с помощью широко распространённых солнечных батарей можно обеспечить заряд маломощных аккумуляторов имеющих емкость не более 0,45 А/ч, что приемлемо для широко распространённых аккумуляторов типа ЦНК-0,45. Необходимо также учитывать, что в середине лета, в июле, световой период, в который батарея эффективно отдаёт энергию, обычно длится не более 7-9 часов. Наиболее эффективное время для работы солнечной батареи с 10 до 17 часов. После этого времени ток солнечных батарей падает. Падает ток, генерируемый солнечной батареей в облачную погоду. Некоторая ориентировка солнечных батарей относительно положения Солнца, помогает увеличить генерируемый ими ток.

В зависимости от состава потребителей электроэнергии и питания их только от солнечных батарей примерная структура солнечной электростанции отображена на рис. 13.

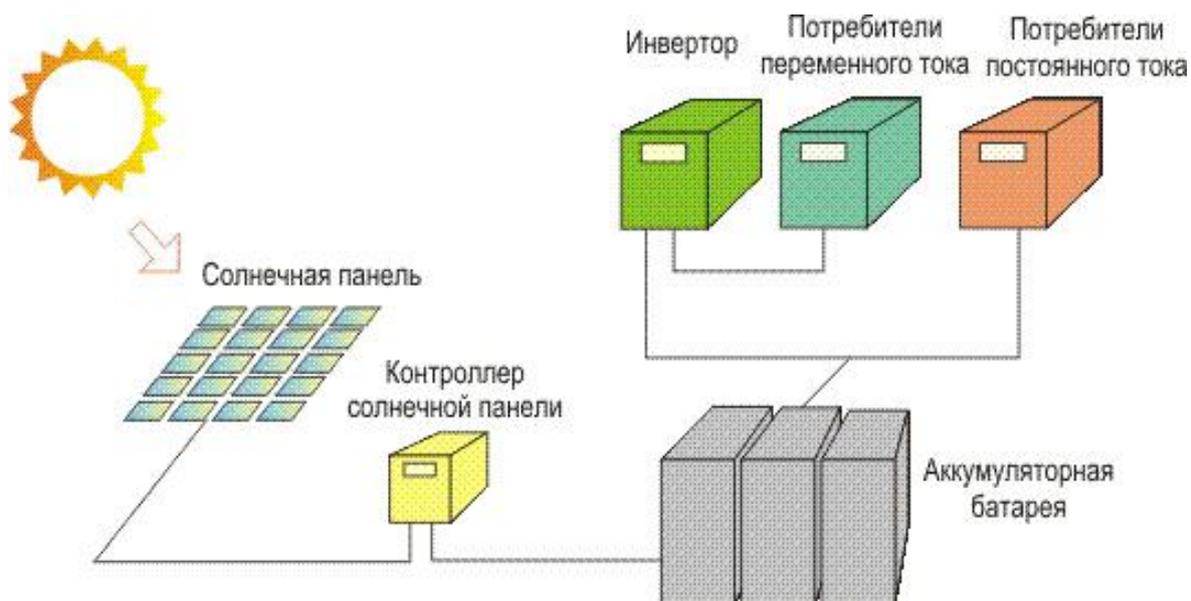


Рис. 13. Структура солнечной электростанции.

### 3.3.2. Схемы работы солнечной электростанции

На практике используются четыре основные схемы работы солнечной электростанции:

Автономная солнечная батарея с аккумуляторами;

Солнечная батарея (с аккумуляторами) и коммутация с сетью;

Солнечная батарея (с аккумуляторами) и резервный дизель-(бензо-)генератор.

Гибридная автономная система – солнце-ветер.

**Автономная фотоэлектрическая система** полностью независима от сетей централизованного электроснабжения. За исключением некоторых специальных применений, в которых энергия от солнечных батарей напрямую используется потребителями (например, водоподъемные установки, солнечная вентиляция и т.п.), все автономные системы должны иметь в своем составе аккумуляторные батареи. Энергия от аккумуляторов используется во время недостаточного прихода солнечной радиации или когда нагрузка превышает генерацию солнечных батарей. Такие системы электроснабжения можно использовать для удаленного жилого дома. Исходные данные для проектирования:

- Суточное потребление энергии 3 кВт\*ч (среднестатистические данные по России);
- Приход солнечной радиации - 4 кВт\*ч/м<sup>2</sup> в день (средний приход солнечной радиации для европейской части России с весны по осень);
- Максимальная пиковая мощность нагрузки - 3 кВт (можно одновременно включить стиральную машину и холодильник);
- Для освещения используются только компактные люминесцентные или светодиодные лампы переменного тока;
- В пиковые часы (максимальная нагрузка, например, когда включены стиральная машина, электрокипятильник, утюг и т.п.) для предотвращения быстрого разряда АБ включается бензиновый или дизельный электрогенератор.

Генератор также будет включаться при пасмурной погоде, если АБ разряжается до нижнего допустимого напряжения. Возможно включение генератора, как в ручном режиме, так и полностью в автоматическом. В последнем случае система также должна включать модуль автоматического запуска и останова генератора, а сам генератор должен быть немного доработан для возможности подключения системы автоматики.

При работе солнечной батареи (с аккумуляторами) с использованием электрической сети централизованного электроснабжения как резервного источника питания (рис. 14) автоматическое включение резерва (АВР) позволяет переключить питание объекта при отсутствии солнца и полном разряде аккумуляторов на электросеть. Поэтому излишки, генерируемые солнечными батареями могут направляться в нагрузку или сеть (для этого необходимы специальные инверторы, которые могут работать параллельно с сетью, их часто называют "гибридными"). Некоторые модели таких инверторов с зарядными устройствам могут давать приоритет для заряда аккумуляторов от источника постоянного тока (например, солнечного контроллера), тем самым снижая потребление энергии от сети для заряда аккумуляторов. Эта же схема может использоваться и наоборот – солнечная батарея, как резервный источник питания. В этом случае АВР переключает потребителя на аккумуляторные батареи при потере питания от электросети. Существует разновидность батарейной соединенной с сетью системы, в которой вместо контроллеров заряда солнечных батарей применяются сетевые фотоэлектрические инверторы, соединенных к выходу блока бесперебойного питания (ББП). Такую возможность имеют всего несколько моделей ББП, но общая эффективность системы за счет применения сетевых фотоэлектрических инверторов может быть намного выше, чем при применении контроллеров заряда аккумуляторной батареи (АБ).

В некоторых случаях возможно использование простейшей из всех систем **безаккумуляторной соединенной с сетью фотоэлектрической системы**. Она состоит из солнечных батарей (или ветроустановки, или

микроГЭС) и специального инвертора, подключенного к сети. В такой системе нет аккумуляторов, поэтому они не могут использоваться в качестве резервных систем. Когда сеть пропадает, то и выработка электроэнергии солнечными батареями также прекращается. Это может быть ограничением такой системы, но основное ее преимущество - высокая эффективность, низкая цена (за счет отсутствия аккумуляторов и менее дорогого сетевого инвертора) и высокая надежность.



Рис. 14. Солнечная электростанция (с аккумуляторами) с использованием электрической сети как резервного источника питания.

В качестве резервного источника питания солнечной электростанции может использоваться любой автономный источник электроэнергии, например, дизель-генератор (рис. 15) или ветрогенератор (рис.16) соизмеримой мощности. При этом в случае отсутствия солнца и разряде аккумуляторных батарей происходит автоматический запуск резервного генератора с подзарядкой аккумуляторной станции. Если необходимо минимизировать время работы жидкотопливного электрогенератора с целью сохранения топлива, солнечная фотоэлектрическая система электроснабжения будет состоять из элементов со следующими параметрами:

- пиковая мощность солнечной батареи равна 1000 Вт (выработка до 5 кВт\*ч сутки);
- минимальная номинальная мощность инвертора - 3 кВт с возможностью кратковременной нагрузки до 6 кВт, входное напряжение 24 или 48 В;
- аккумуляторная батарея общей емкостью 800 Ач (при напряжении 12 В), что позволяет запастись до 4,5 кВт\*ч электроэнергии при 50% разряде АБ);

- контроллер заряда на ток до 40 - 50 А (при напряжении 24 В);
- дизель или бензогенератор мощностью 3 - 5 кВт;
- зарядное устройство для заряда АБ от бензогенератора на ток до 150 А (может быть встроено в инвертор), кабели и коммутационная аппаратура (выключатели, автоматы, разъемы, электроштыты и т.п.).

Возможно также подключение ветрогенератора к системе солнечной электростанции через гибридный контроллер или с помощью отдельного контроллера для ВЭУ.

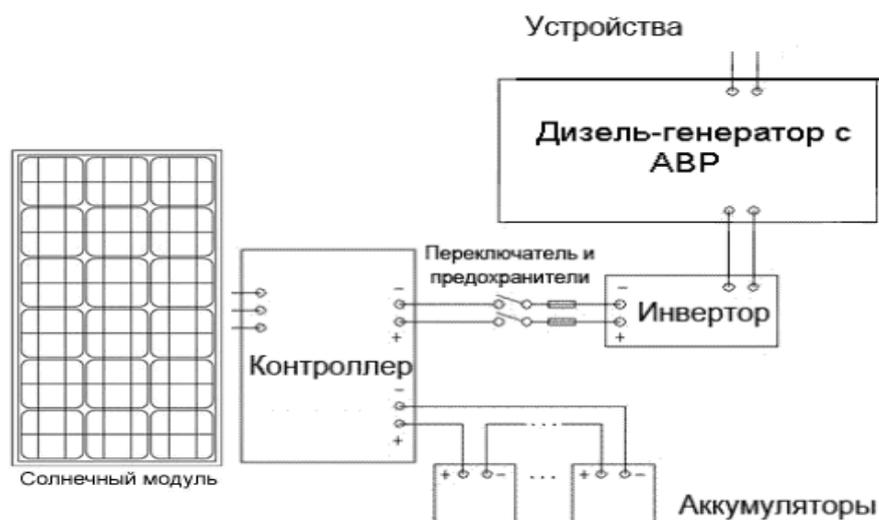


Рис. 15. Солнечная батарея (с аккумуляторами) и резервный дизель-(бензо-)генератор.

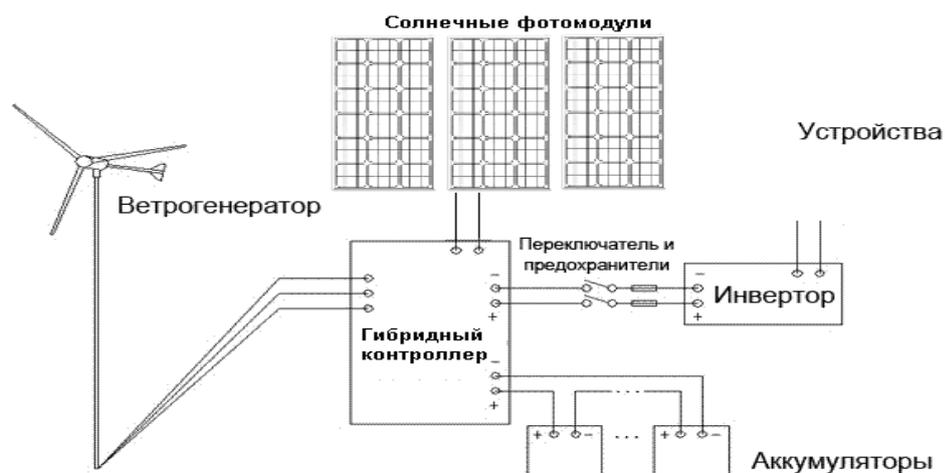


Рис. 16. Гибридная автономная система – солнце-ветер.

Для того, чтобы использовать солнечную энергию для питания ваших потребителей, одной солнечной батареи недостаточно. Кроме солнечной батареи нужно еще несколько составляющих. Типичный состав комплекта показан на рис. 17.

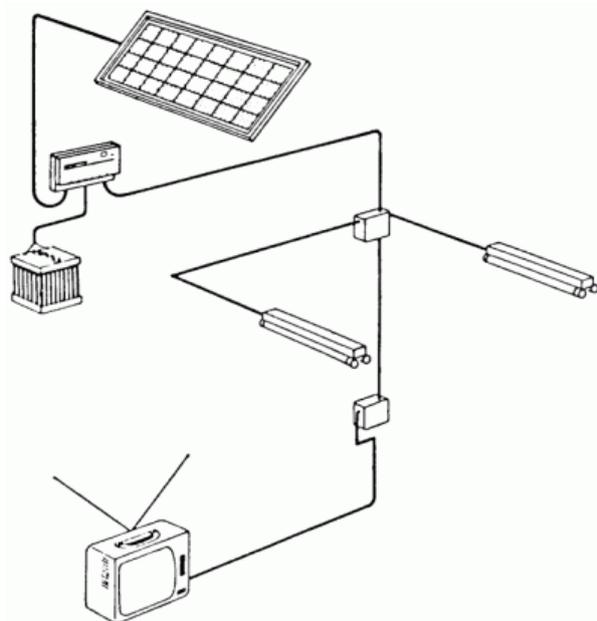


Рис. 17. Фотоэлектрический комплект для нагрузки постоянного тока 12В:

- фотоэлектрическая батарея;
- контроллер заряда аккумуляторной батареи;
- аккумуляторная батарея;
- провода, коннекторы, предохранители, автоматы защиты;
- если необходимо питать нагрузку 220В переменного тока - еще инвертор.

Мощность солнечной батареи выбирается в зависимости от мощности потребителей энергии. Емкость аккумуляторов подбирается, в общем случае, под солнечную батарею. Контроллер заряда нужно также подбирать под модуль, а также, если в контроллере есть контроль разряда, то нужно, чтобы ток нагрузки не превышал допустимый ток разряда контроллера. Поскольку контроллер преобразует токи и напряжения, то проще подбирать контроллер по мощности, а не по току. Для нагрузки переменного тока 220В необходим инвертор, мощность которого выбирается по максимальной мощности нагрузки с учетом пиков потребления.

Провод от солнечной батареи до контроллера должен быть специальный. Так как провод находится на солнце и подвержен воздействию окружающей среды, то нужен провод в двойной изоляции, стойкой к действию ультрафиолетового излучения. Длина его должна быть как можно меньше. В зависимости от длины и тока выбирается сечение, причем расчет идет не по допустимому максимальному току, а по допустимому падению напряжения. Падение напряжения при максимальном токе не должно превышать 1,5-2В (для 12В систем), иначе модуль не сможет эффективно заряжать аккумуляторы. Чем выше напряжение в системе, тем меньшее сечение провода необходимо. Для внутренней проводки можно применять любой провод, для этого предназначенный, например, ПВ-3 или аналогичный. Сечение также выбирается исходя из токов и длины провода, падение напряжение в самой дальней точке при максимальном токе не должно пре-

вышать 5%, максимум 10%. Между АБ и остальной схемой необходимо обязательно ставить защитный автомат или предохранитель. Его параметры выбираются по максимальному току нагрузки, с учетом пиковых ее значений. Для защитного заземления можно использовать провод сечением 6-10 мм<sup>2</sup>.

### **Библиографический список**

а) основная литература:

1. Андреев С.В. Солнечные электростанции - М.: Наука 2002.
2. Рубан С.С. Нетрадиционные источники энергии - М.: Энергия, 2003.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: Госэнергонадзор, 2012.
4. Расчет ресурсов ветровой энергетики. Под ред. В.И. Виссарионова. М.: Издательство МЭИ, 1997, 32 с.
5. Справочник-каталог «Оборудование нетрадиционной и малой энергетики». М: АО «ВИЭН», 2000, 167 с.

б) дополнительная литература:

1. Алексеев В.В., Чекарев К.В. Солнечная энергетика. - М.: Знание, 1991.- 64 с.
2. Володин В.Е., Хазановский П.И. "Энергия, век двадцать первый". – М.: Знание, 1998
3. Солнечная энергетика: Пер. с англ. и франц./ Под ред. Ю.Н. Маковского и М.М. Колтуна. - М.: Мир, 1979. - 390с.
4. Андреев В.М., Грихлес В.А., Румянцев. В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. - Л.: Наука, 1989, - 360 с.
5. Атласы ветрового и солнечного климатов России. СПб: Издательство им. А.И. Воейкова, 1997, 173 с.
6. Зубарев В.В., Минин В.А., Степанов И.Р. Использование энергии ветра в районах Севера. М.: Наука, 1989, 208 с.

7. ГОСТ 13109 – 97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: ИПК Издательство стандартов. 1998 г.

8. Сиротин Ю. А. Качество энергоснабжения и энергопотребления в разбалансированной трехфазной системе /Ю.А. Сиротин // Электрика. - 2009. - №6. - С. 22-27; 2009. - №7. С. 15-21. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nait.ru/journals>.

9. Сиротин Ю. А. Мощность разбаланса и пульсации мгновенной мощности при симметричном напряжении / Ю. А. Сиротин // Электрика. - 2009.- № 11. - С. 22-27. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nait.ru/journals>.

10. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. М.: ЭНАС, 2009.

11. Могиленко А.В. Эффективность электросетевых компаний. Экспертная система сравнения // Новости ЭлектроТехники. – 2008. – № 2(50). – С. 162–164.

12. ГОСТ Р 51595-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Общие технические условия. М.: Госстандарт России. 2000.

13. Бутузов В.А., Брянцева Е.В., Бутузов В.В. Гелиоустановка горячего водоснабжения с двойным контуром // Промышленная энергетика. 2008. № 4.

14. Атласы ветрового и солнечного климатов России. СПб: Издательство им. А.И.Воейкова, 1997, 173 с.

15. Расчет ресурсов ветровой энергетике. Под ред. В.И.Виссарионова. М.: Издательство МЭИ, 1997, 32 с.

16. Справочник-каталог «Оборудование нетрадиционной и малой энергетике». М: АО «ВИЭН», 2000, 167 с.