

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емец Валерий Сергеевич  
Должность: Директор филиала  
Дата подписания: 19.10.2023 15:20:06  
Уникальный программный ключ:  
f2b8a1573c931f1098cfe699d1debd94fcff35d7

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Рязанский институт (филиал)

Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Механико-технологические дисциплины»

**Е. И. Лопатин**

## **НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Учебное пособие

Рязань  
2019

**УДК 621.31(075.8)**

**ББК 40.76я73**

**Л77**

**Лопатин, Е. И.**

**Л77** Учебное пособие для студентов очной и заочной формы обучения направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» – Рязань: Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2019. – 74 с.

Учебное пособие по самостоятельной работе для студентов направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

В учебном пособии представлены предложения по самостоятельному изучению по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии».

Печатается по решению методического совета Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

**УДК 621.31(075.8)**

**ББК 40.76я73**

© Е. И. Лопатин, 2019

© Рязанский институт (филиал)

Московского политехнического  
университета, 2019

## Содержание

Введение .....	4
1 Источники информации и самостоятельная работа студента с ними .....	5
1.1 Работа студента с книжным фондом библиотек .....	5
1.2 Оформление ссылок на литературу и Интернет-ресурсы .....	9
2 Требования к организации СРС при подготовке к занятиям по дисциплине «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии» .....	12
3 Темы самостоятельных работ студентов .....	14
3.1 Тема самостоятельных работ студентов: Перспективы использования возобновляемых источников энергии. Коммерческие потери электроэнергии .....	14
3.2 Тема самостоятельных работ студентов: Ветроэнергетика .....	26
3.3 Тема самостоятельных работ студентов: Солнечная энергетика .....	36
3.3.1 Способы получения электричества и тепла из солнечного излучения ....	41
3.3.2 Схемы работы солнечной электростанции .....	46
3.4 Тема самостоятельных работ студентов: Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии .....	51
Заключение .....	71
Библиографический список .....	73

## **Введение**

Самостоятельная работа по дисциплине «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии» регламентирована учебным планом по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 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 зачётам 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.

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

## **1.1 Работа студента с книжным фондом библиотек**

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 студентов 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 (таблица 1).

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

Таблица 1 – Термины и определения (по ГОСТ Р 51237–98)

№	Термин	Определение
1	Ветер	Движение воздуха относительно земной поверхности, вызванное неравномерным распределением атмосферного давления и характеризующееся скоростью и направлением.
	Ветроэнергетика	Отрасль энергетики, связанная с разработкой методов и средств преобразования энергии ветра в механическую, тепловую или электрическую энергию
3	Ветро-агрегат (ВА)	Система, состоящая из ветродвигателя, системы передачи мощности и приводимой ими в движение машины (электромашинного генератора, насоса, компрессора и т.п.)
4	Сетевой ветроэлектрический агрегат	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.
5	Автономный ветроэлектрический агрегат	ВА с электромашинным генератором, предназначенный для электроснабжения потребителей, не имеющих связи с электрической сетью.
6	Ветроэнергетическая установка (ВЭУ)	Комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в другие виды энергии (механическую, тепловую, электрическую и др.)
7	Ветро-механическая установка	ВЭУ, предназначенная для преобразования ветровой энергии в механическую для привода различных машин (насос, компрессор и т.д.).
8	Ветро-тепловая установка	ВЭУ, предназначенная для непосредственного преобразования ветровой энергии в тепловую.
9	Ветроэлектрическая установка	ВЭУ, предназначенная для преобразования ветровой энергии в электрическую с помощью системы генерирования электроэнергии.
10	Гибридные ВЭУ	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.

Продолжение таблицы 1

№	Термин	Определение
11	Ветроэлектрическая станция (ВЭС)	Электростанция, состоящая из двух и более ветроэлектрических установок, предназначенная для преобразования энергии ветра в электрическую энергию и передачу ее потребителю.
12	Ветродвигатель (ВД)	Устройство для преобразования ветровой энергии в механическую энергию вращения ветроколеса.
13	Горизонтально-осевой ВД	ВД, у которого ось вращения ветроколеса расположена ветра.
14	Вертикально-осевой ВД	ВД, у которого ось вращения ветроколеса расположена параллельно или почти параллельно вектору скорости ветра.
15	Ветроколесо (ВК)	Лопастная система ветродвигателя, воспринимающая аэродинамические нагрузки от ветрового потока и преобразующая энергию ветра в механическую энергию вращения ветроколеса.
16	Диаметр ВК	Диаметр окружности, описываемый наиболее удаленными от оси вращения ВК частями лопастей.
17	Ометаемая площадь ВК	Геометрическая проекция площади ВК на плоскость, перпендикулярную вектору скорости ветра.
18	Лопасть ВК	Составная часть ВК, создающая вращающий момент.
19	Головка (гондола) ВД	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	Система передачи мощности (СПМ)	Комплекс устройств для передачи мощности от вала ветроколеса к валу соответствующей машины ветроагрегата с повышением или без повышения частоты вращения вала этой машины
21	Система генерирования электроэнергии (СГЭЭ)	Электромашинный генератор и комплекс устройств (преобразователь, аккумулятор и т. д.) для подключения к потребителю со стандартными параметрами электроэнергии.
22	Система ориентации ВД	Комплекс устройств горизонтально-осевого ВД, предназначенный для установки оси вращения ВК в соответствии с направлением ветра в определенных пределах в каждый момент времени.

Продолжение таблицы 1

№	Термин	Определение
23	Система регулирования ВД	Комплекс устройств, обеспечивающий регулирование в требуемых пределах частоты вращения и нагрузки ВД при изменении скорости ветра в рабочем диапазоне.
24	Средняя скорость ветра	Комплекс устройств, обеспечивающий регулирование в требуемых пределах частоты вращения и нагрузки ВД при изменении скорости ветра в рабочем диапазоне. Примечание . средняя скорость ветра может определяться за минуту, час, сутки, месяц, год и др.
25	Среднегодовая скорость ветра	Средняя скорость ветра за год в конкретной местности, определяемая для заданной высоты над уровнем земной поверхности.
26	Скорость срагивания с места	Минимальная скорость ветра, при которой ветроколесо начинает вращение без нагрузки. Минимальная скорость ветра, при
27	Расчетная скорость ветра	Минимальная скорость ветра, при которой обеспечивается вращение ВА с номинальной частотой вращения с нулевой производительностью (холостой ход).
28	Расчетная скорость ветра	Минимальная скорость ветра, при которой обеспечивается вращение ВА с номинальной частотой вращения с нулевой производительностью (холостой ход).
29	Максимальная рабочая скорость ветра	Скорость ветра, при которой расчетная прочность ВА позволяет производить электроэнергию без повреждений.
30	Буревая расчетная скорость ветра	Максимальная скорость ветра, которую может выдержать остановленный ВА без разрушений.
31	Производительность ВА	Зависимость объема продукции, производимого ВА за единицу времени, от средней скорости ветра.
32	Установленная мощность ВА	Паспортная мощность машины на выходном валу ВА.
33	Номинальная мощность ВА	Максимальное значение выходной мощности, на которую рассчитан ВА в длительном режиме работы.
34	Общий КПД ВА	Отношение производимой ВА полезной энергии к полной энергии ветра, проходящей через ометаемую площадь ветроколеса.



Продолжение таблицы 1

№	Термин	Определение
35	Коэффициент использования энергии ветра	Отношение величины механической энергии, развиваемой ВК к полной энергии ветра, проходящей через ометаемую площадь ветроколеса.
36	Число часов (коэффициент) использования номинальной мощности	Отношение производительности ВА за расчетный период времени к номинальной мощности ВА.

В пособии приняты следующие сокращения.

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

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:

- 1) ГОСТ 7.1–2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления;
- 2) ГОСТ 7.82–2001 Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления;

3) ГОСТ Р 7.0.5–2008 Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;

4) 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.

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.

2. Герасименко, А. А. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – 3-е изд. перераб. – КНО-РУС, 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 напечатайте 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 объём 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/chto\\_proishodit\\_s\\_yazykom\\_s\\_egodnya](http://www.vedomosti.ru/lifestyle/news/1512663/chto_proishodit_s_yazykom_s_egodnya), свободный.»;

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>. (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 «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии»

В период подготовки к занятиям по дисциплине «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии» студенту необходимо научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учёбы и поведения. Чёткое 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 от 9 до 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 2 и 3.

Таблица 2 – Распределение часов аудиторных и внеаудиторных занятий по изучаемой дисциплине

Се- местр	Трудоём- кость зачетн. ед/час.	Лек- ции, час.	Прак- тич. за- нятия, час.	Лабора- торн. рабо- ты, час.	СР С, час.	Форма проме- жуточного контроля (экз./зачёт)
1	3/108	18	18		72	зачёт
Итого:	3/108	18	18		72	зачёт

Таблица 3 – Содержание занятий по дисциплине

№	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)										Объём учеб- ной работы, с примене- нием интер- активных методов, ч	Формы текущего контроля успевае- мости
	Раздел (тема) дисци- плины	Семестр	Неделя семестра	Лекции	Семинары	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / реф.		
1	Введение	1	1	-	-	2	-	-	6	-	1,5 / 75 %	Опрос
2	Ветроэнергети- ческие ресурсы		2	-	-	2	-	-	6	-	1,5 / 75 %	Опрос
3	Типы ветроуста- новок		3	-	-	2	-	-	6	-	1,5 / 75 %	Опрос
4	Установки, под- ключенные к		4	-	-	2	-	-	6	-	1,5 / 75 %	Опрос

	энергосетям											
5	Разработка проекта строительства ветроэлектрической установки	5	-	-	2	-	-	6	-	1,5 / 75 %	Опрос	
6	Разработка ветроэнергетического проекта	6	-	-	2	-	-	6	-	1,5 / 75 %	Опрос	
7	Сроки реализации ветроэнергетического проекта, вопросы обслуживания и безопасности	7	-	-	2	-	-	6	-	1,5 / 75 %	Опрос	
8	Солнечные батареи и солнечные панели	89	-	-	4	-	-	12	-	1,5 / 75 %	Опрос	
9	Классификация солнечных батарей	10	-	-	2	-	-	6	-	1,5 / 75 %	Опрос	
10	Фотоэлектрические системы электроснабжения	11 12 13	-	-	6	-	-	18	-	1,5 / 75 %	Опрос	
11	Сетевая фотоэлектрическая система электроснабжения с контроллером заряда постоянного тока.	14	-	-	2	-	-	6	-	1,5 / 75 %	Опрос	
12	Фотоэлектрическая система электроснабжения с сетевым инвертором на входе ББП	15 16	-	-	4	-	-	12	-	1,5 / 75 %	Опрос	
13	Online расчет фотоэлектрической системы	17 18	-	-	4	-	-	12	-	1,5 / 75 %	СРС	
все ГО		18			18			108	реф	26,5 / 73,6 %		

### 3 Темы самостоятельной работы студента

#### 3.1 Тема самостоятельных работ студентов: 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 экологически 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 её 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 мощ-

ной 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 HAW, 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 «ВетроТек» (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 гидроэлектростанциями, 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·ч/м<sup>2</sup> до 1900 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Для Московского региона годовая инсоляция одного квадратного метра горизонтальной площадки составляет около 1100 кВт·ч/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 4.

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 (сол-

нечной батарее) 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 счёт деградации кристалла кремния и неизбежный вывод о нецелесообразности использования солнечных батарей в нашем регионе.

Таблица 4 Справочные данные

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
Наклон солнечной панели – 40°	20,6	53	108,4	127,6	166,3	163	167,7	145	104,6	60,7	34,8	22	1173,7
Вращение солнечной панели вокруг полярной оси	21,7	62,3	132,9	161,4	228	227,8	224,8	189,2	126,5	71,6	42,2	26	1514,3

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. м<sup>2</sup>, 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 путём 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 пас-



мурные до 400 Вт/м<sup>2</sup>. В одном из вариантов конструкции 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 закалённое 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 подаётся в теплообменник, аккумулирующий теплоту.

В гелиосистемах производства фирмы «Прогресс-XXI» используется высокоэффективный вакуумный трубчатый солнечный коллектор (рисунок 1). Вакуумная тепловая труба автономна и состоит из сверхпрочного боросиликатного стекла. Внешняя трубка – прозрачная, а внутренняя имеет специальное селективное покрытие, которое обеспечивает максимальное поглощение теплоты при минимальном отражении.

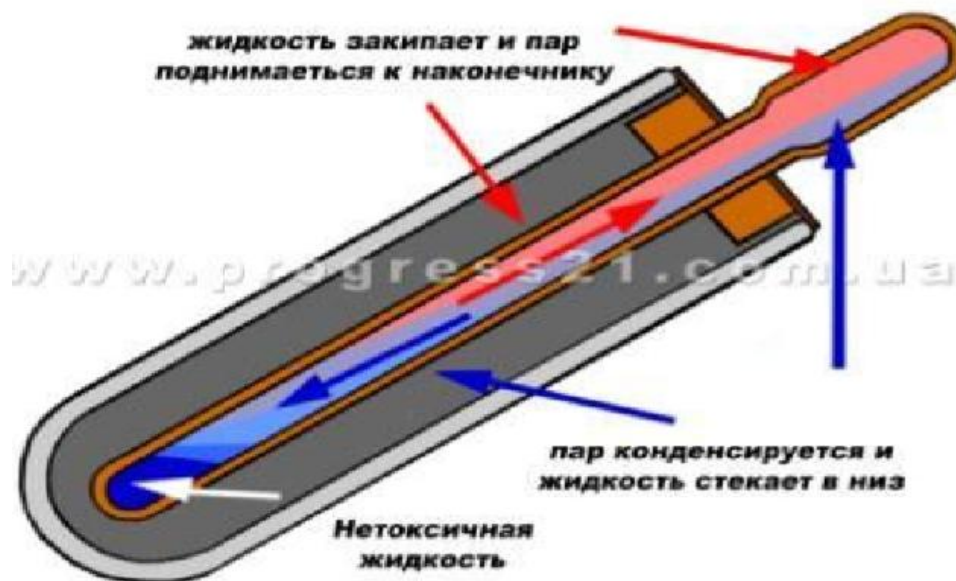


Рисунок 1– Вакуумная трубка

Для поддержания вакуума между внутренней и внешней трубками в солнечном водонагревателе «Прогресс-XXI» используется бариевый газопоглотитель, который СО, СО<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О и Н<sub>2</sub>, 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 трубы вакуумного солнечного во-

донагревателя. 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 °С. 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 °С. Вакуумные трубы круглые, благодаря этому количество солнечного излучения, которое попадает на гелиоколлектор остаётся 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 теплоты) 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 рисунке 2. Через солнечный коллектор циркулирует теплоноситель (жидкость). Теплоноситель нагревается в солнечном коллекторе энергией солнца и отдаёт затем тепловую энергию воде через теплообменник, смонтированный в бак-аккумулятор. В бак-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-дублиер. В случае понижения температуры воды в бак-аккумуляторе ниже

установленной (продолжительная пасмурная погода или малое количество часов солнечного сияния зимой) нагреватель дублёр автоматически включается и нагревает воду до заданной температуры.

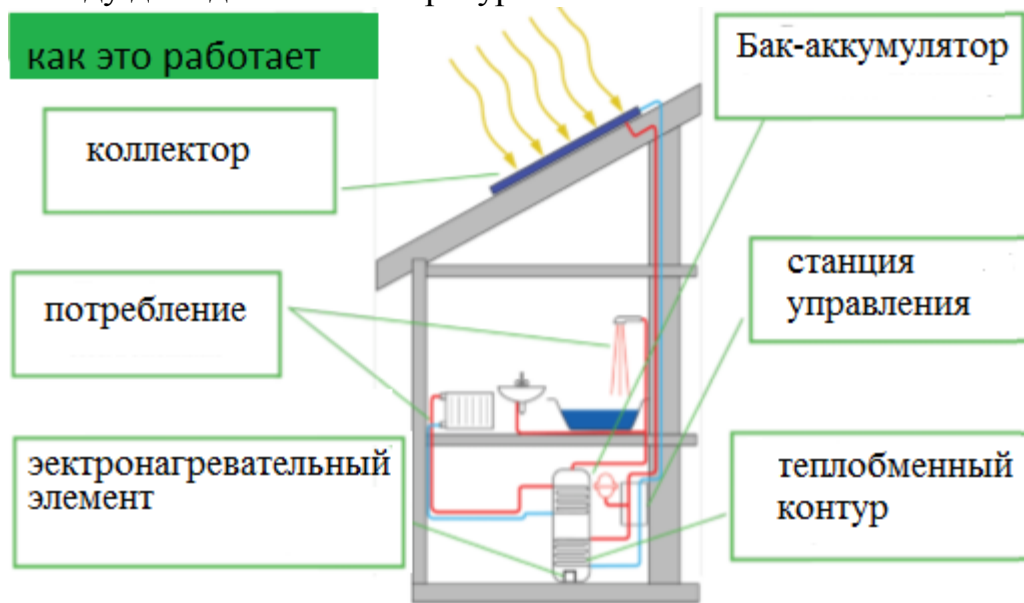


Рисунок 2 – Схема организации солнечной водонагревательной установки

Основное применение солнечных коллекторов в мире – для нагрева воды в системах горячего водоснабжения. Экономические выгоды приведены в таблице 5.

Таблица 5 Сравнительный анализ двух водонагревателей

Солнечный водонагреватель	Электрический водонагреватель
Расходы на содержание в год: 0-1000 руб.	Расходы на содержание в год: 2000-6000 руб.
Расходы на содержание за 10 лет: до 10000 руб.	Расходы на содержание за 10 лет: до 60000 руб.
Объем: 150-300 л.	Объем: 60-120 л
Срок службы: 15-30 лет	Срок службы: 10-15 лет
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

По данным таблицы 5 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 таблице 5 даны расходы на уста-

новку и содержание различных отопительных систем для хорошо теплоизолированного дома площадью менее 100 м<sup>2</sup> 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 таблицы 6 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 экономит за 10 лет около 300 тыс. руб., а за 20 лет 700 тыс. руб. без учёта затрат на техническое обслуживание, ремонт и инфляцию. Нужно отметить, 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 6 Сравнительные затраты теплоносителей

	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	300000	1,90	25200	47880	778800	1257600
Электрическая энергия	40000	1,80	25200	45360	493600	947200
Дрова	80000	0,70	25200	17640	256400	432800
Солнечные коллекторы	240000	0,60	25200	15120	391200	542400

Такой коллектор при правильной установке (на южную сторону под углом 50-60°, без затенения) за отопительный сезон обеспечивает около 2200 кВт·ч 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 ч) 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 учётом 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 таблице 7).

Таблица 7 – Причины коммерческих потери электроэнергии

Коммерческие потери электроэнергии	
Потери из-за недостатков энергосбытовой деятельности	Потери при востребовании оплаты за потребленную электроэнергию
<ul style="list-style-type: none"> <li>- потери при выставлении счетов;</li> <li>- потери из-за несоответствия дат снятия показаний расчетных счётчиков с расчетным периодом;</li> <li>- потери из-за расчётов потребленной электроэнергии абонентом на основе договоров без учётного электропотребления и др.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- задержки платежей;</li> <li>- недоплата или неполная оплата и др.</li> </ul>
Потери из-за ограничения потребляемой мощности	Хищение электроэнергии
<ul style="list-style-type: none"> <li>- неоплата мощности ограничения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- незаконное подключение к сетям электроснабжения;</li> <li>- мошенничество с приборами учета и др.</li> </ul>
Потери на истребование долгов, выявление и ликвидация хищения электроэнергии	Потери из-за нарушения качества электроэнергии
<ul style="list-style-type: none"> <li>- судебные расходы;</li> <li>- транспортные расходы и др.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- законный отказ от оплаты некачественной электроэнергии или уменьшение платежей;</li> <li>- затраты на ремонт электроустановок, локализацию и ликвидацию причин нарушения качества электроэнергии.</li> </ul>

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. Од-

нако финансовая ответственность за потери, созданные в этом случае потребителем, перекладывается на поставщиков электроэнергии.

Подключение несимметричных электрических нагрузок даже в синусоидальном режиме без компенсирующих устройств 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 расчёт 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 трёхмерными комплексными векторами с вещественными координатами)

$$U = \begin{bmatrix} \dot{U}_a \\ \dot{U}_b \\ \dot{U}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_a e^{j\Psi_a} \\ U_b e^{j\Psi_b} \\ U_c e^{j\Psi_c} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Известно, что скалярное произведение трёхмерных комплексных векторов (транспонированный вектор напряжения  $U$  на комплексно сопряженный вектор тока) в случае синусоидального режима позволяет определить полную комплексную мощность трехфазной электрической нагрузки

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (2)$$

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

$$P = P_a + P_b + P_c, \quad Q = Q_a + Q_b + Q_c. \quad (3)$$

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)



$$S_G = |\dot{S}_a + \dot{S}_b + \dot{S}_c|. \quad (4)$$

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

$$S = \sqrt{U_a^2 + U_b^2 + U_c^2} \cdot \sqrt{U_a^2 + U_b^2 + U_c^2}, \quad (5)$$

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 трёхмерных комплексных векторов с вещественными координатами позволяет определить мощность не симметрии нагрузки (мощность небаланса) [8]

$$D = U \cdot I, \quad (6)$$

Вектор D будет нулевым только при синусоидальном симметричном режиме и симметричной нагрузке (как произведение двух нулевых векторов), а при несимметричной нагрузке вектор D считают трёхмерным вектором реактивной (по определению векторного умножения) мощности небаланса (все слагаемые выражения (6) имеют размерность мощности), (7) а его модуль – 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]

$$|I|^2 \cdot |U|^2 = |U^m \cdot I^n| \cdot |U \cdot I|^2. \quad (8)$$

Следовательно

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

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 энерго-снабжающей 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

$$D_u = \dot{U}_N \cdot \dot{I}_N. \quad (11)$$

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 неотапливаемых 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 счётчиков; 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 учёта), 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 учёта 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 счётчиком 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 объём этих краж нельзя считать определяющим. Хищения электроэнергии имеют достаточно четкую тенденцию к росту, особенно в регионах с неблагополучным 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 объёма хищений электроэнергии, наличия «бесхозных потребителей», других рассмотренных выше факторов, но и от погрешности расчёта технических потерь электроэнергии. Чем более точными будут расчёты 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 четырёхлопастными 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 мельни-

цы 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  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$  при скорости ветра 3 м/с и  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$  при  $V = 5 \text{ м/с}$ . ТВ-8 обеспечивала в 3-3,5 раза большую производительность. К довоенному периоду относится также разработка ВЭУ с ветроколесами диаметром 8 и 12 м. 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 ветродизельная 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 ветроагрега-

тов мощностью 100250 Вт и водоподъёмных 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 её огромными по площади и слабо заселёнными северными территориями наибольшие перспективы имеют автономные ВЭУ, а также гибридные системы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Хотя энергия ветра известна человечеству многие тысячелетия её 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 энергоснабжения 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 счёт 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  $4\text{-}5 \cdot 10^{12}$  тонн условного топлива, а экономический потенциал нетрадиционных ВИЭ составляет около 30 % её 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 1/4 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. Ближе к земле ветер замедляется за счёт 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 (рисунок 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 мин<sup>-1</sup>. 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 достигает 75 м. Обычно это цилиндрические мачты, хотя применяются и решетчатые башни; основание (фундамент), предназначено для предотвращения падения установки при сильном ветре.



Автономные 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.

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 (рисунок 4). 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.

#### ЭНЕРГОРЕСУРСЫ РОССИИ

Ветровая энергия

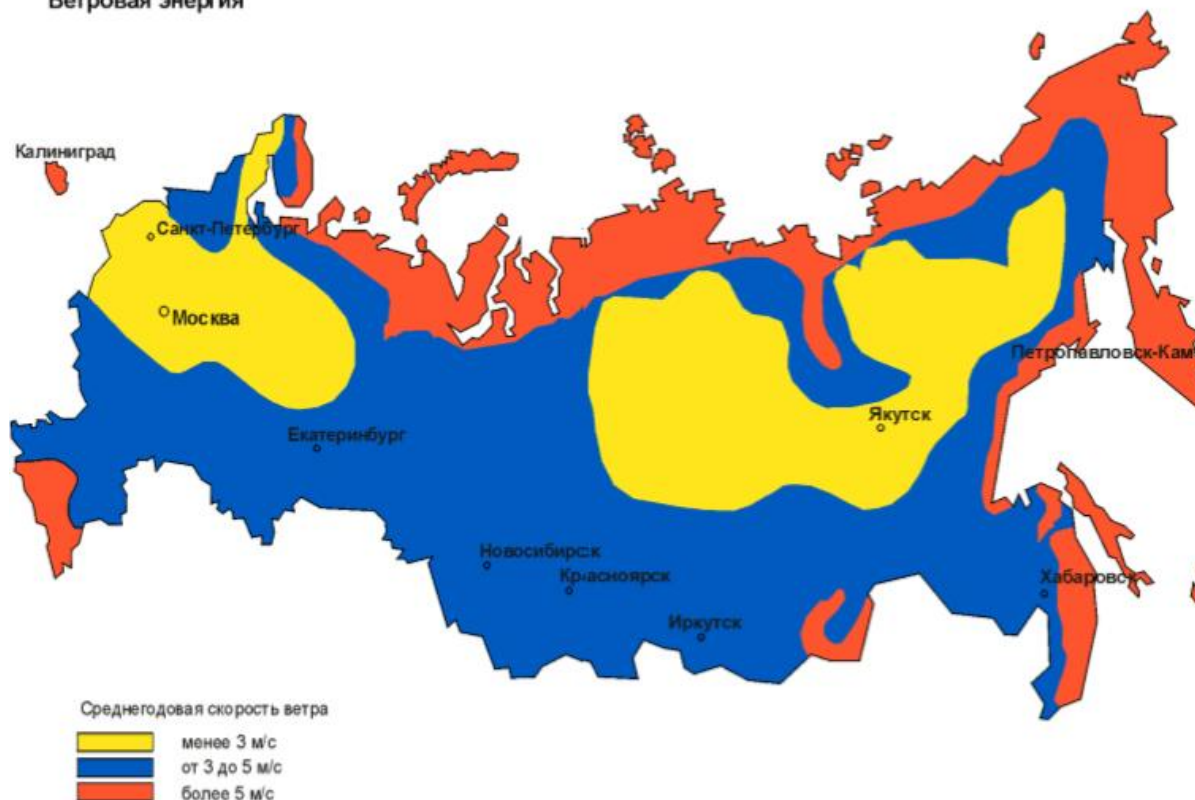


Рисунок 4 – Карта ветровых ресурсов

Использование режима отдельной 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 счёт 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 счёт 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 ветроустановке 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 СанФранциско, 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 расчёт 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

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3, \quad (12)$$

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

$$P_c = 1,17 A V_c^3, \quad (13)$$

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

$$P_{ВЭУ} = 1,17 A_K V_c^3 = 0,292 A_K V_c^3, \quad (14)$$

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

$$W = \frac{P \cdot T}{1000}, \quad (15)$$

где  $W$  – количество вырабатываемой энергии, кВт·ч;

$P$  – номинальная мощность, кВт;

$T$  – расчетное время работы ветроагрегата, ч.

Среднее количество энергии, которую ветроагрегат выработает за год находится по формуле

$$W_c = \frac{24 \cdot 365 \cdot P}{1000} = 2,56 \cdot V \cdot S, \quad (16)$$

где  $W_c$  – среднегодовая выработка энергии ветроагрегатом, кВт·ч/год;

$V$  – среднегодовая скорость ветра, м/с;

$S$  – площадь поверхности, ометаемой ветроколесом, м<sup>2</sup>.

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 –  $A_k = \pi d^2 k / 4 = 3,8 \text{ м}^2$ .

Среднегодовая скорость ветра для данного примера

$V_{CT} = 4,85 \text{ м/с}$ ;

$V_{3CT} = 114,1 \text{ м/с}^3$ .

Количество энергии, которую вырабатывает ветроагрегат за расчетный период времени

$W_{CT} = 2,56 \cdot 3,8 \cdot 114,1 = 1110 \text{ кВт·ч/год}$ .

Произведем оценку количества выработанной энергии.

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.

Пример использования ветроэлектрических систем в России – ветроэлектростанция «Заполярная» (г. Воркута), подключенная к централизованной сети энергоснабжения (таблица 8, 9, 10).

Таблица 8 – Параметры ветроэлектростанции «Заполярная» (г. Воркута)

Ветровые и климатические условия	
Среднегодовая температура наружного воздуха	минус 6,3 °С
Абсолютная минимальная температура наружного воздуха	минус 52 °С
Абсолютная максимальная температура наружного воздуха	плюс 35 °С
Средняя температура наиболее холодной пятидневки	минус 41 °С
Средняя температура наиболее холодных суток	минус 45 °С
Продолжительность периода со среднесуточной температурой ниже и равной	0 °С 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)	150 кг/м <sup>2</sup>
Скоростной напор ветра (IV район)	48 кг/м <sup>2</sup>
Зона по влажности воздуха	нормальная
Преобладающее направление	южное

Таблица 9 – Средние месячные скорости ветра на высоте 12 м (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	8,6	5,6

Таблица 10 – 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	автоматический запуск «по ветру» и включение ветроагрегатов в единую сеть энергосистемы;
Режим работы ВЭС – автономный	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

Продолжение таблицы 10

Проектировщики:	- институт «Ветроэнергопроект», г. Москва; - институт «ПечорНИИпроект», г. Воркута.
Заказчик	Воркутинские электрические сети АЭК "Коми-энерго
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 "Коми-энерго
Генплан	площадка ВЭС «Заполярная» прямоугольная 500x700 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	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 генератортрансформатор кабельной ЛЭП 6 кВ на шины распределительной подстанции ВЭС «Заполярная». С распределительной подстанции мощность ВЭС выдается по двум воздушнокабельным ЛЭП 6 кВ на шины подстанции 35/6 кВ «Усинская».
Начало проектирования	сентябрь 1992 г.
Ввод в эксплуатацию 9 и 10-го ветроагрегатов	конец 1996 г.

### 3.3 Тема самостоятельных работ студентов: 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 ( $T = \text{терра} = 10^{12}$ ).

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 электроннодырочные 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  $n$ -полупроводнике и электроны в  $p$ -полупроводнике) диффундируют к  $p-n$  переходу, подхватываются полем  $p-n$  перехода и выбрасываются в полупроводник, в котором они становятся основными носителями: электроны будут локализоваться в полупроводнике  $n$ -типа, а дырки – в полупроводнике  $p$ -типа. В результате полупроводник  $p$ -типа получает избыточный положительный заряд, а полупроводник  $n$ -типа – отрицательный. Между  $n$ - и  $p$ -областями фотоэлемента возникает разность потенциалов – фото-ЭДС, полярность которой соответствует «прямому» смещению  $p-n$  перехода, которое понижает высоту барьера и способствует инжекции дырок из  $p$ -области в  $n$ -область и электронов из  $n$ -области в  $p$ -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 растёт пропорционально логарифму интенсивности света

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 величины контактной разности потенциала *p-n* перехода.

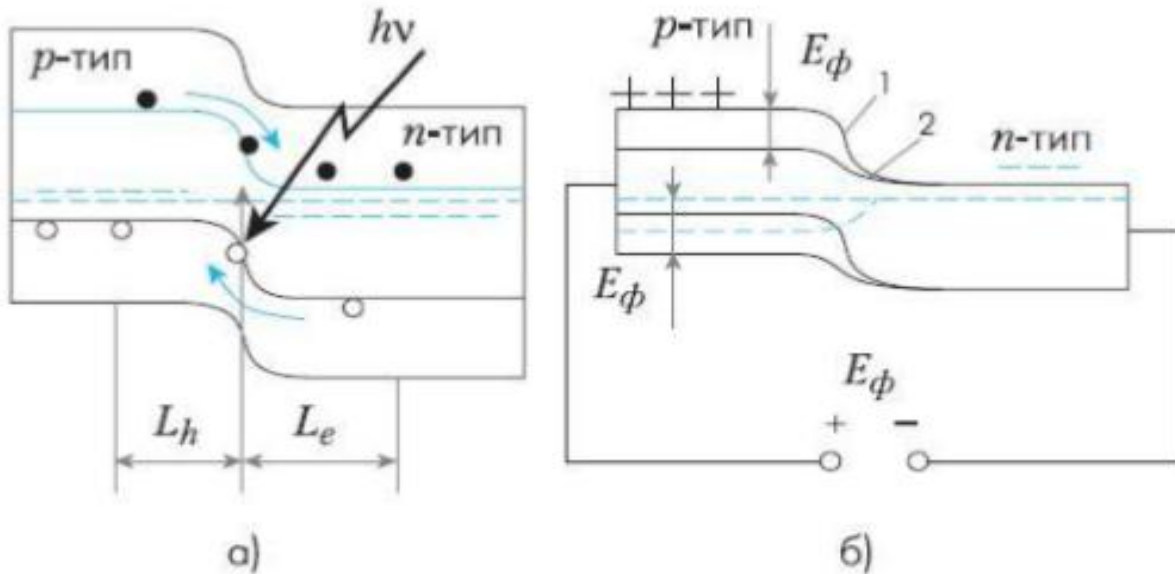
При очень большой интенсивности света, когда потенциальный барьер оказывается практически нулевым, значение фото-ЭДС выходит на «насыщение» и становится равной высоте барьера на неосвещенном *p-n* переходе. При засветке же прямым, а также сконцентрированным до 100-1000 крат солнечным излучением, значение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

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, причём 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 Физикотехническом 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 определяющим при высоких степенях концентрирования солнечного излучения вследствие существенного (до 1000 раз) снижения их площади.

Условия, при которых стоимость фотоэлементов не даёт 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 учётом данных о зависимости мощности удельного солнечного излучения от длины волны, графики которого показаны на рисунках 5 и 6), 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 %.



а – в начальный момент освещения; б – изменение зонной модели под действием постоянного освещения и возникновение фото-ЭДС

Рисунок 5 – Зонная модель разомкнутого p-n-перехода

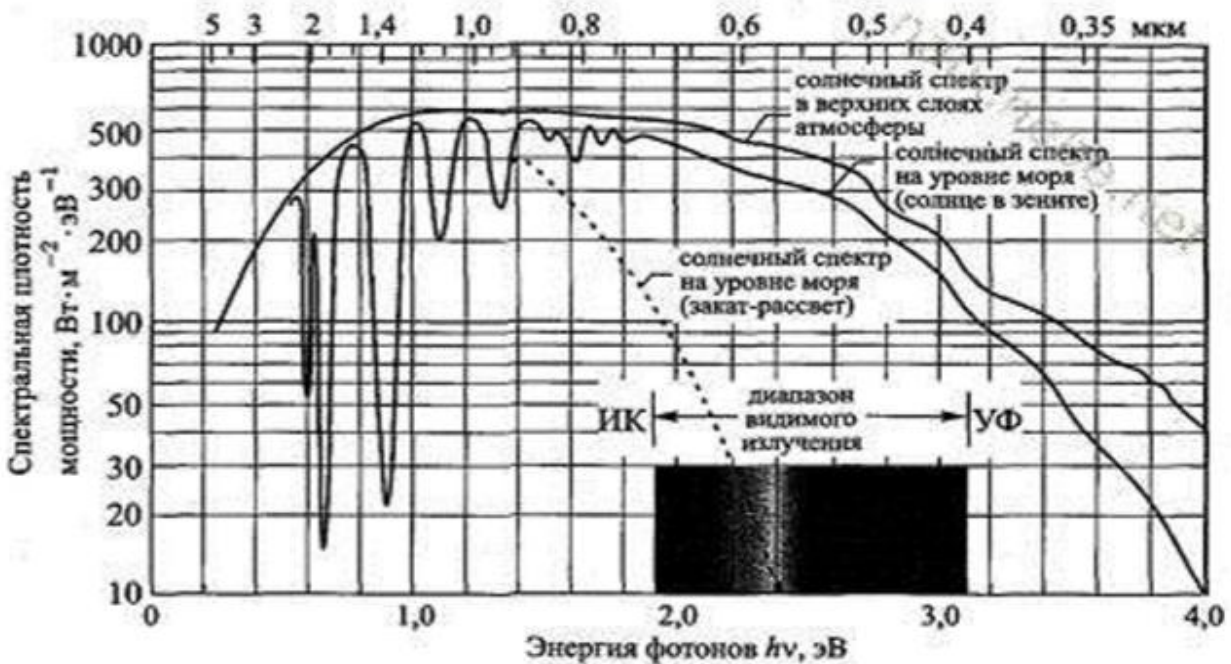


Рисунок 6 – Распределение интенсивности по спектру солнечного излучения

Посмотреть на карту солнечной инсоляции (количество солнечной энергии, попадающей на поверхность Земли) регионов России (рисунках 7-9) и убедиться, 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.

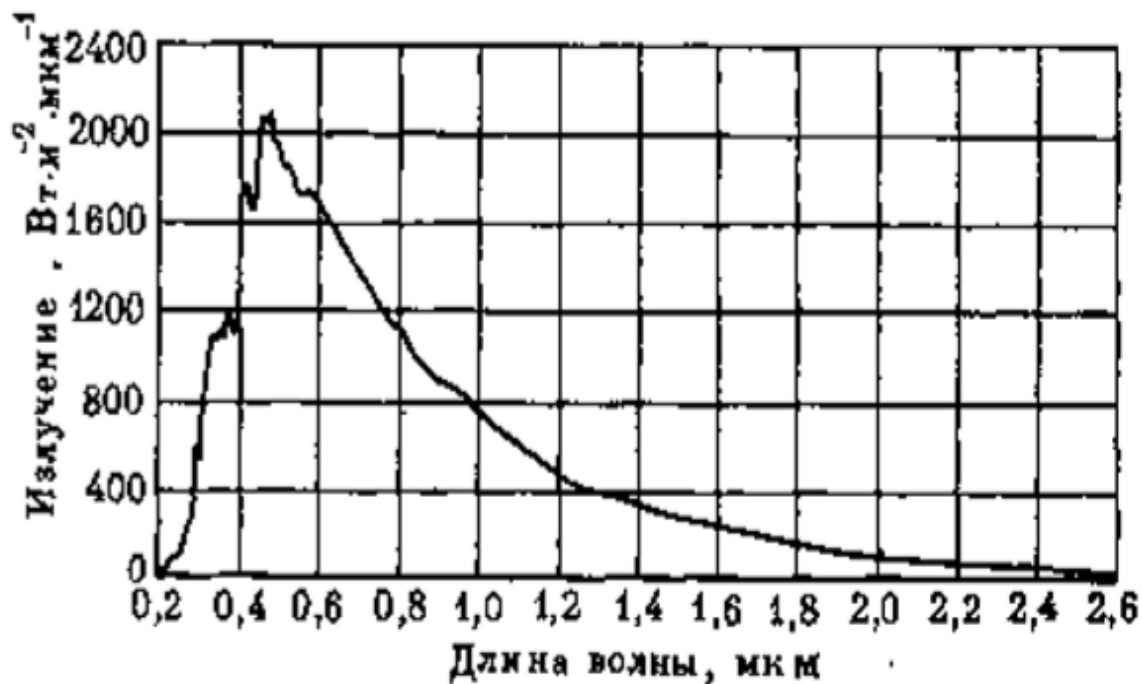


Рисунок 7 – График частотной зависимости удельной мощности излучения

Таблица 10 – График частотной зависимости удельной мощности излучения

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	1021
Вертикальная панель	21,3	57,9	105	93,5	108	101	109	104	86,5	58,1	38,7	25,8	908
Наклон панели – 40,0°	20,6	53	108,4	127,6	166,3	163	167,7	145	104,6	60,7	34,8	22	1174
Вращение вокруг полярной оси	21,7	62,3	132,9	161,4	228	227,8	224,8	189,2	126,5	71,6	42,2	26	1514,3





Рисунок 8 – Карта интенсивности солнечного излучения на территории России



Рисунок 9 – Продолжительность солнечного сияния в год

### 3.3.1 Способы получения электричества и теплоты из солнечного излучения

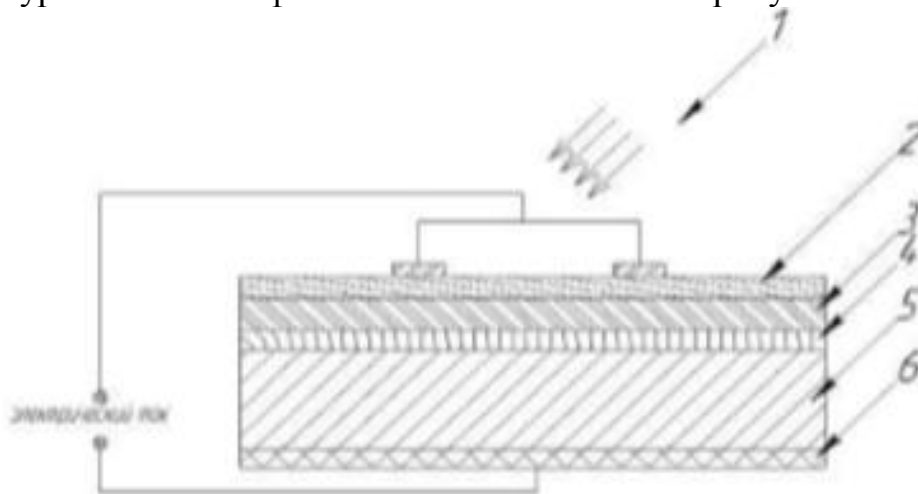
Преобразование солнечной энергии в электричество с помощью тепловых машин: паровые машины (поршневые или турбинные), использующие водяной пар, углекислый газ, пропан-бутан, фреоны; двигатель Стирлинга и т. д.

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 аэростатные электростанции (генерация водяного пара внутри баллона аэростата за счёт нагрева солнечным излучением поверхности аэростата, покрытой селективно-поглощающим покрытием). Преимущество – запаса пара в баллоне достаточно для работы электростанции в тёмное время суток и в ненастную погоду.

Структура солнечных фотоэлементов показана на рисунке 10.



1 – солнечное излучение (фотоны); 2 – наружный контакт; 3 – отрицательно заряженный слой; 4 – слой утечки; 5 – положительно заряженный слой; 6 – внутренний контакт  
Рисунок 10 – 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 (рисунки 10, 11).

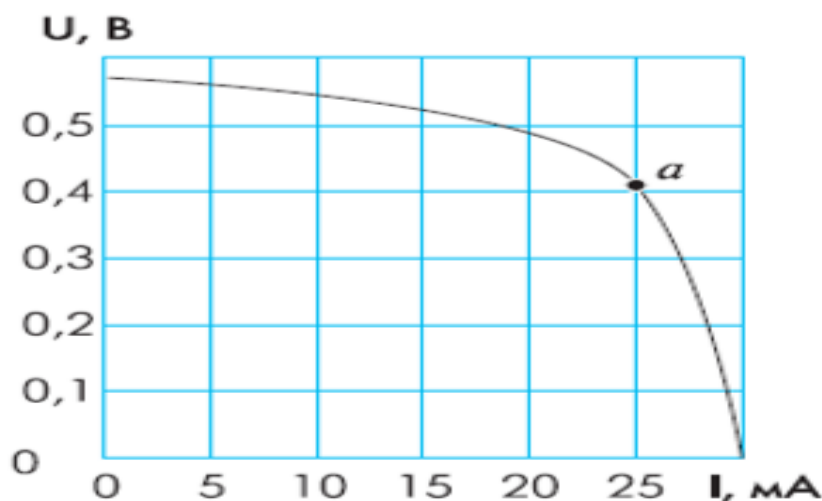


Рисунок 10 – Вольт-амперная характеристика  $p-n$  перехода

Эквивалентная схема фотоэлемента, соответствующая уравнению ВАХ включает источник тока,  $p-n$  переход и нагрузку.  $p-n$  переход шунтирует нагрузку и при увеличении напряжения ток через него быстро возрастает. В нагрузку (сопротивление  $R$ ) отбирается ток  $I$ .

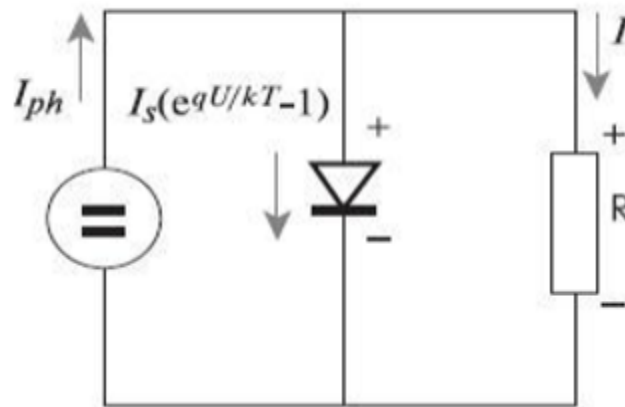


Рисунок 11 – Эквивалентная схема солнечного элемента

Все фотоэлектрические элементы представлены четырьмя поколениями (рисунок 12):

- первое составляют монокристаллические кремниевые элементы, способные генерировать электрическую энергию от источника излучения, длина волны которого совпадает с таковым 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, монокристаллический кремний, теллурид кадмия, а также создание тонких Ga-As-плёнок для космической индустрии (с потенциальным КПД до 37 %) – все это сейчас на стадии разработки. 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 фотоэлектрохимические, нано-

кристаллические и полимерные солнечные батареи, применение которых будет осуществимо только на земной поверхности. Все представители третьего поколения пока находятся на этапе разработки или испытаний.



Рисунок 12 – Виды солнечных фотоэлементов

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 счёт 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 – преобразующий 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.

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 тыс. т 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, закреплённых 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 мА. 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 ч. Наиболее эффективное время для работы солнечной батареи с 10 до 17 ч. 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 рисунок 13.

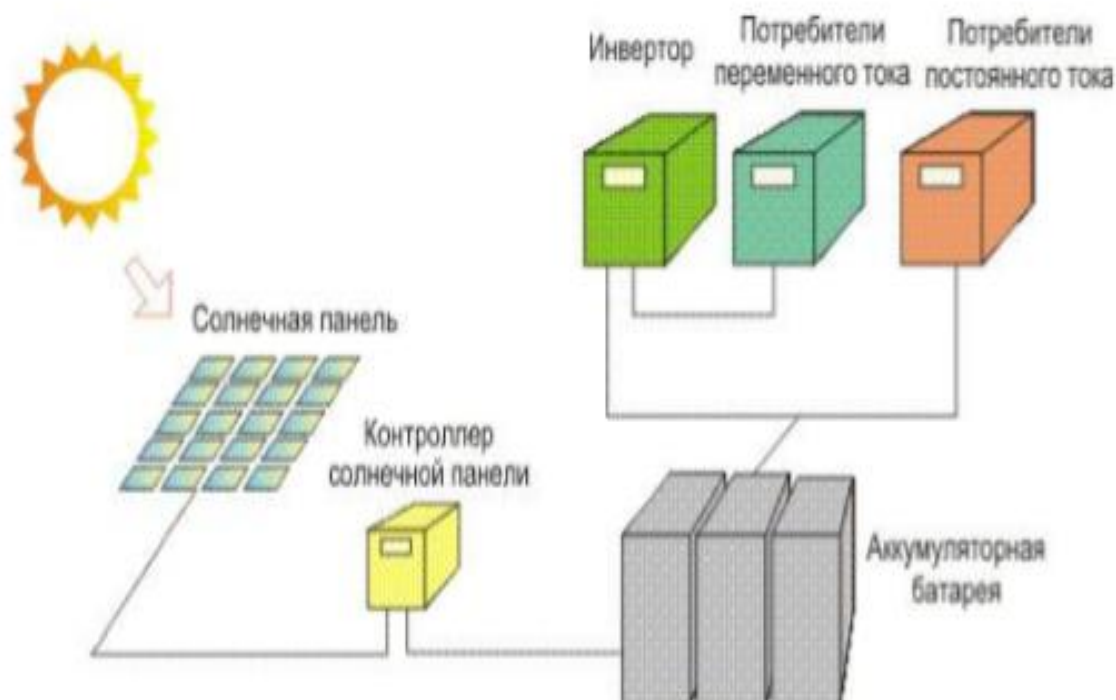


Рисунок 13 – Структура солнечной электростанции

### 3.3.2 Схемы работы солнечной электростанции

На практике используются четыре основные схемы работы солнечной электростанции:

- 1) автономная солнечная батарея с аккумуляторами;
- 2) солнечная батарея (с аккумуляторами) и коммутация с сетью;
- 3) солнечная батарея (с аккумуляторами) и резервный бензогенератор.

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 своём 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 –  $4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  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 (рисунок 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 устройствами 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 счёт 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 без аккумуляторной 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 счёт отсутствия аккумуляторов и менее дорогого сетевого инвертора) и высокая надёжность.

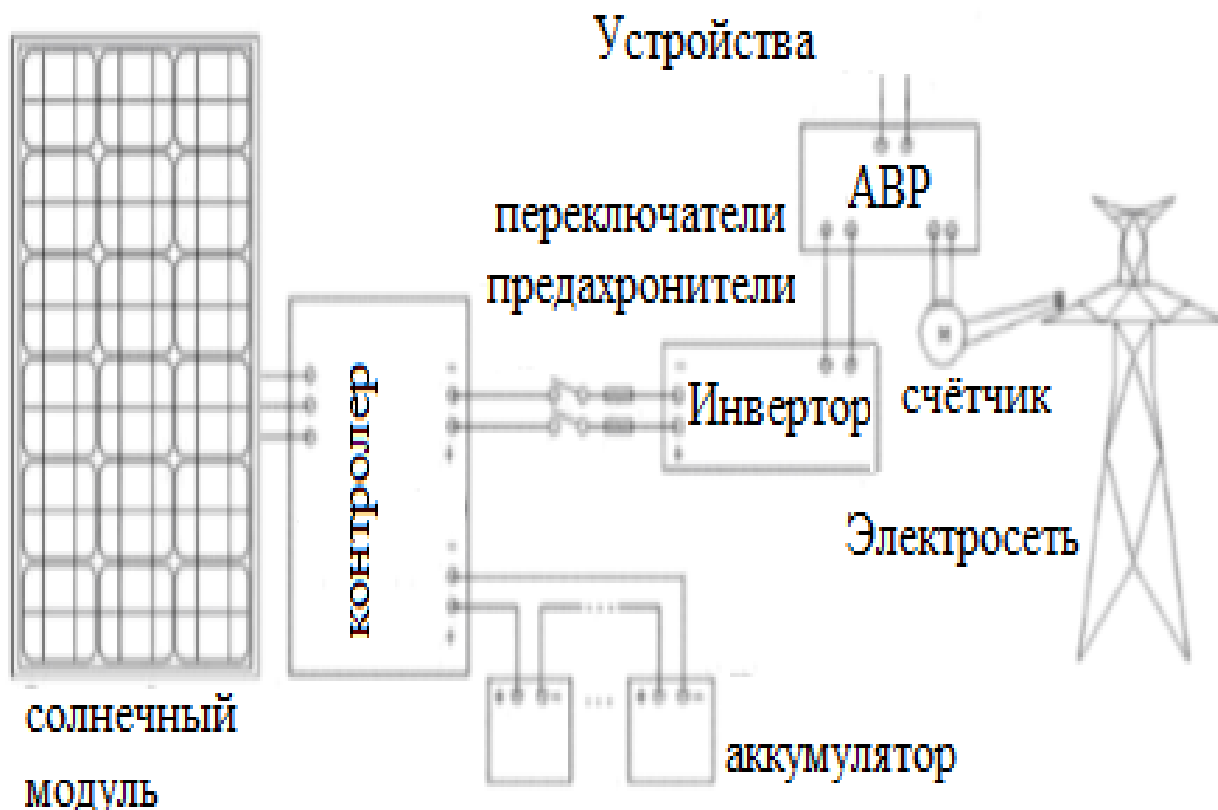


Рисунок 14 – Солнечная электростанция (с аккумуляторами) с использованием электрической сети как резервного источника питания

В качестве резервного источника питания солнечной электростанции может использоваться любой автономный источник электроэнергии, например, дизель-генератор (рисунок 15) или ветрогенератор (рисунок 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 А·ч (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, электрощиты и т.п.).



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

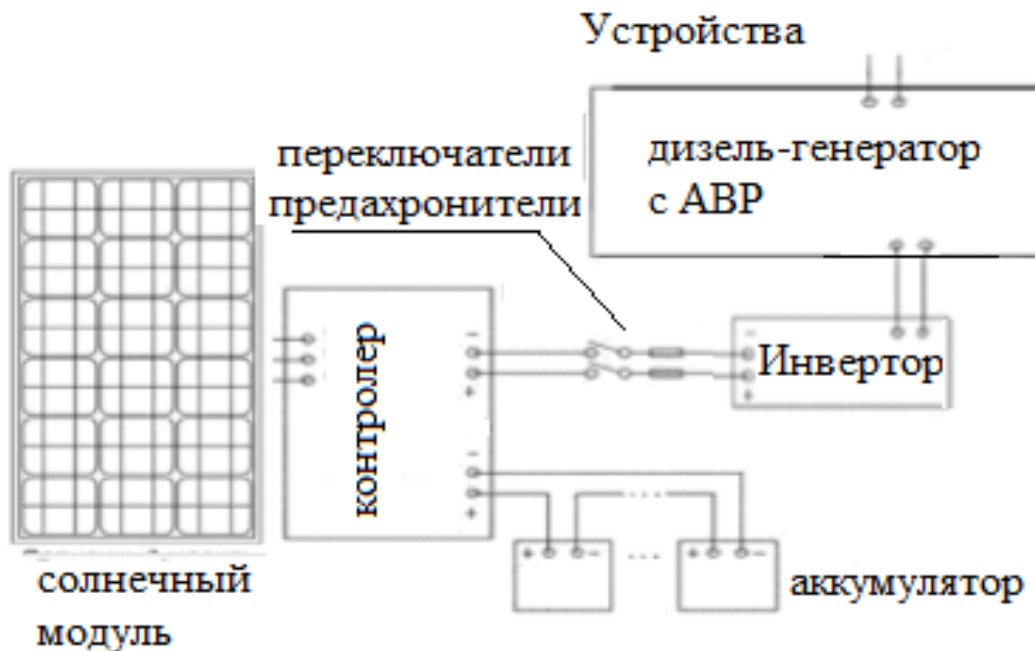


Рисунок 15 – Солнечная батарея (с аккумуляторами) и резервный дизель генератор

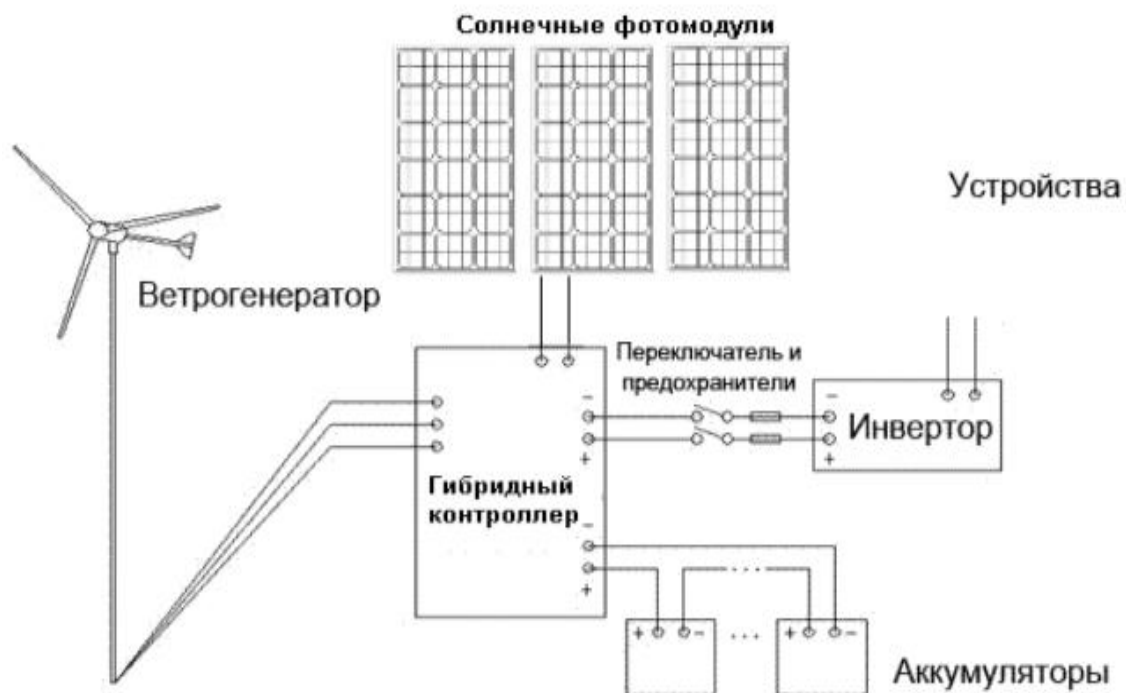
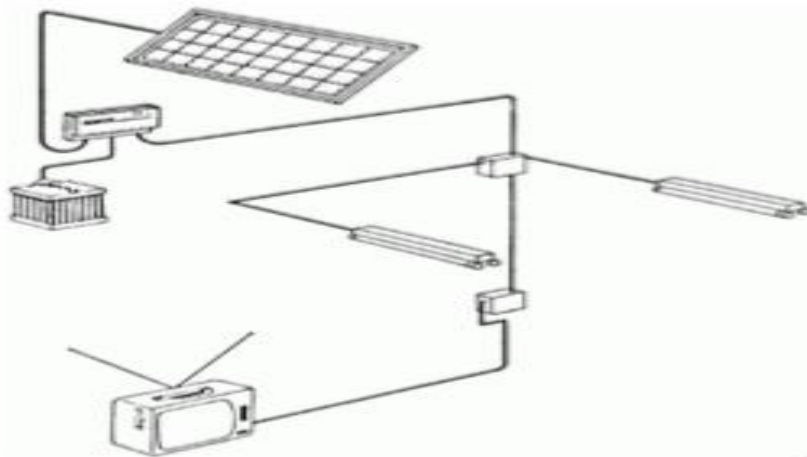


Рисунок 16 – Гибридная автономная система – солнце-ветер

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 рисунок 17.



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

Рисунок 17 – Фотоэлектрический комплект для нагрузки постоянного тока 12 В

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 220 В 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 1,5-2 В (для 12 В 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 напряжения в самой дальней точке при максимальном токе не должно превышать 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>.

### 3.4 Тема самостоятельных работ студентов: Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии

Возобновляемая, или регенеративная, «зелёная», энергия – энергия из энергетических ресурсов, которые являются возобновимыми, или неисчерпаемыми, по человеческим масштабам. Основной принцип использования возобновляемой энергии заключается в её извлечении из постоянно происходящих в окружающей среде процессов или возобновляемых органических ресурсов и предоставлении для технического применения. Возобновляемую энергию получают из природных ресурсов, таких как: солнечный свет, водные потоки, ветер, приливы и геотермальная теплота, которые являются возобновляемыми (пополняются естественным путём), а также из биотоплива древесины, растительного масла, этанола.

В 2015 году около 19,3 % мирового энергопотребления было удовлетворено из возобновляемых источников энергии (рисунок 9).



Рисунок 9 – Возобновляемая энергетика

В 2006 году около 18 % мирового потребления энергии было удовлетворено из возобновляемых источников энергии, причём 13 % из традиционной биомассы, таких, как сжигание древесины. В 2010 году 16,7 % мирового потребления энергии поступало из возобновляемых источников. В 2015 году этот показатель составил 19,3 %. Доля традиционной биомассы постепенно сокращается, в то время как доля современной возобновляемой энергии растёт.

С 2004 по 2013 годы доля электроэнергии, производимой в Евросоюзе из возобновляемых источников, выросла с 14 % до 25 %. В 2018 году в Германии из возобновляемых источников было произведено 38 % электроэнергии.

По прогнозу ИЭИ РАН и Центра энергетики Московской школы управления «Сколково», к 2040 г. ВИЭ обеспечат 35-50 % мирового производства электроэнергии и 19-25 % всего энергопотребления.

Гидроэлектроэнергия является крупнейшим источником возобновляемой энергии, обеспечивая 3,3 % мирового потребления энергии и 15,3 % мировой генерации электроэнергии в 2010 году. Использование энергии ветра растет примерно на 30 процентов в год, по всему миру с установленной мощностью 318 гигаватт (ГВт) в 2013 году, и широко используется в странах Европы, США и Китае. Производство фотоэлектрических панелей быстро нарастает, в 2008 году было произведено панелей общей мощностью 6,9 ГВт (6900 МВт), что почти в шесть раз больше уровня 2004 года. Солнечные электростанции популярны в Германии и Испании. Солнечные тепловые станции действуют в США и Испании, а крупнейшей из них является станция в пустыне Мохаве мощностью 354 МВт. Крупнейшей в мире геотермальной установкой является установка на гейзерах в Калифорнии с номинальной мощностью 750 МВт.

Бразилия проводит одну из крупнейших программ использования возобновляемых источников энергии в мире, связанную с производством топливного этанола из сахарного тростника. Этиловый спирт в настоящее время покрывает 18 % потребности страны в автомобильном топливе<sup>[11]</sup>. Топливный этанол также широко распространен в США.

Крупные несырьевые компании поддерживают использование возобновляемой энергии. Так, ИКЕА собирается к 2020 году полностью обеспечивать себя за счёт возобновляемой энергии. Apple — крупнейший владелец солнечных электростанций, и за счёт возобновляемых источников энергии работают все дата-центры компании. Доля возобновляемых источников в энергии, потребляемой Google, составляет 35 %. Инвестиции компании в возобновляемую энергетику превысили \$2 млрд (таблица 11).

Таблица 11 – Показатели альтернативной энергетики

Глобальные показатели возобновляемой энергии	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Ежегодные инвестиции в возобновляемую энергию (10 <sup>9</sup> доллар США)	130	160	211	257	244	232	270	286	241	280
Суммарные установленные мощности возобновляемой электроэнергии (ГВт)	1,140	1,230	1,320	1,360	1,470	1,578	1,712	1,849	2,017	2,195
Гидроэлектроэнергия (ГВт)	885	915	945	970	990	1,018	1,055	1,064	1,096	1,114
Ветроэнергетика (ГВт)	121	159	198	238	283	319	370	433	487	539
фотоэлектричество (ГВт)	16	23	40	70	100	138	177	227	303	402

Глобальные показатели возобновляемой энергии	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Нагрев воды тепловой энергией Солнца	130	160	185	232	255	373	406	435	456	472
Производство этанола (10 <sup>9</sup> литры)	67	76	86	86	83	87	94	98	99	106
Производство биодизеля (10 <sup>9</sup> литры)	12	17.8	18.5	21.4	22.5	26	29.7	30.3	30.8	31
Количество стран, имеющих цели развития возобновляемой энергии	79	89	98	118	138	144	164	173	176	179

Термоядерный синтез Солнца является источником большинства видов возобновляемой энергии, за исключением геотермической энергии и энергии приливов и отливов. По расчётам астрономов, оставшаяся продолжительность жизни Солнца составляет около пяти миллиардов лет, так что по человеческим масштабам возобновляемой энергии, происходящей от Солнца, истощение не грозит.

В строго физическом смысле энергия не возобновляется, а постоянно изымается из вышеназванных источников. Из солнечной энергии, прибывающей на Землю, лишь очень небольшая часть трансформируется в другие формы энергии, а большая часть просто уходит в космос.

Использованию постоянных процессов противопоставлена добыча ископаемых энергоносителей, таких как каменный уголь, нефть, природный газ или торф. В широком понимании они тоже являются возобновляемыми, но не по меркам человека, так как их образование требует сотен миллионов лет, а их использование проходит гораздо быстрее.

### Энергия ветра

Это отрасль энергетики, специализирующаяся на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую, тепловую и любую другую форму энергии для использования в народном хозяйстве. Преобразование происходит с помощью ветрогенератора (для получения электричества), ветряных мельниц (для получения механической энергии) и многих других видов агрегатов. Энергия ветра является следствием деятельности солнца, поэтому она относится к возобновляемым видам энергии.

Сегодня энергия ветра используется человеком всё активнее. По состоянию на 2015 год ветроэнергетика занимает в общем энергобалансе: Дании –

42 %; Португалии – 27 %; Испании – 20 %; Германии – 8,6 %. Перечисленные страны являются лидерами по получению электроэнергии из ветра. К данному списку стремятся примкнуть Индия, США, Китай. Ведущие государства мира строят планы по увеличению количества ветропарков. В Китае и некоторых странах ЕС принимаются законы об использовании возобновляемых источников энергии и повышении мощностей. Всё это способствует развитию ветроэнергетики. Использование энергии ветра является одним из самых перспективных направлений в современной энергетике. Наглядное сравнение: потенциал ветра более чем в 100 раз превышает потенциал всех рек Земли. Ветропарки бывают: Крупные. Обеспечивают электричеством города и промышленные предприятия. Небольшие. Вырабатывают электроэнергию для удалённых жилых районов, частных ферм. Набирает популярность офшорное строительство: ветроустановки возводятся прямо на воде, в 10-12 км от береговой линии океана. Такие парки приносят больше прибыли, чем традиционные. Связано это с тем, что скорость ветра над океаном в несколько раз выше, чем на суше. Достоинства Ветровая энергетика обладает рядом значимых преимуществ, таких как: Общедоступность. Ветер – возобновляемое «сырьё». Он будет существовать, пока есть солнце. Безопасность для природы и человека. Как и все альтернативные источники энергии, ветер экологически безопасен. Оборудование, преобразующее ветряную энергию, не создаёт выбросов в атмосферу, не является источником вредного излучения. Пути накопления, передачи и использования энергии ветра – экологичные. Производственная техника безопасна для человека, пока он использует её по прямому назначению, соблюдая при этом все правила безопасности.

Успешная конкурентоспособность. Ветряная энергия – хорошая альтернатива атомной. Эти отрасли борются за первенство в возобновляемой энергетике. Но АЭС несут серьёзную угрозу для человечества. В то же время ещё не зарегистрирован ни один случай неисправности ветряного энергокомплекса, сопровождающийся массовой смертностью рабочих и простых жителей. Обеспечение людей большим количеством рабочих мест.

Статистика зафиксировала, что уже в 2015 году отрасль обслуживает 1 млн человек. Развитие ветроэнергетики всё ещё продолжается, поэтому данная сфера народного хозяйства ежегодно предоставляет людям тысячи рабочих мест по всему миру. Это повышает процент занятости населения и благотворно влияет на экономику отдельного региона, всей страны и целого мира. Лёгкость в работе и управлении. Оборудование требует лишь периодических ТО. Ремонт турбин или их замена – задача средней сложности. Хорошо обученные специалисты без труда обеспечивают работу ветрогенераторов, их исправность. Для этого нужны лишь базовые навыки.

Перспективность ветроэнергетики находится только на середине своего пути. Потенциал данной отрасли не раскрыт на все 100 %, а значит – всё ещё впереди. Современные научно-технические открытия позволят повысить эффективность ветровой энергетике, сделать ее более прибыльной. Экономическая выгода. Любое предприятие в начале своей работы требует больших вло-

жений. И в отрасли ветроэнергетики расходы на оборудование стабильны, в то время как цены на электроэнергию увеличиваются. Следовательно, доходы производства постоянно растут. Все эти характеристики способствуют развитию и глобализации ветроэнергетики. Недостатки Ветроэнергетика не имеет каких-либо серьёзных недостатков, но и в этом аспекте есть проблемы: Высокий стартовый капитал. Запустить такой бизнес очень сложно, ведь закупка и монтаж оборудования требуют больших инвестиций.

### Выбор территории

Не все регионы Земли подходят для строительства ветроэнергетических комплексов. Подбор местности осуществляется на основе высокоточных расчётов. При этом учитываются: количество ветреных дней; скорость воздушных потоков; частота их изменения; прочее. Отсутствие точных прогнозов. Невозможно точно предсказать, что характеристики ветра в данной местности останутся стабильными на 10/20/100 лет. Сложно рассчитать, какое количество энергии будут вырабатывать ветрогенераторы. Люди не могут «приручить» ветер, поэтому говорить о стабильности в работе ветрокомплексов невозможно. Впрочем, это относится ко всем возобновляемым источникам энергии. Ложные теории Противники ветроэнергетики придумывают различные лжетеории: Шум, создаваемый ветрогенераторами, вредит экосистеме. Ветряные станции и правда издают шум, однако на расстоянии 30-40 метров он уже воспринимается как фон (естественный уровень шума), поэтому никакого ущерба экологии не наносит. Ветрогенераторы убивают птиц. Да, это действительно так. Однако от ветряных станций умирает столько же птиц, сколько от высоковольтных сетей и автомобилей. Вблизи ветряных комплексов портится сигнал ТВ. Оборудование никак не влияет на качество сигнала спутникового, цифрового и аналогового ТВ. Основная задача таких выдумок – привлечение большего количества людей на сторону традиционной энергетики, которая является более прибыльной для современных предпринимателей. Заключение Резкий скачок в развитии ветроэнергетики сделал жизнь человека проще. Энергия ветра используется на крупных промышленных предприятиях и в маленьких сельскохозяйственных комплексах. Именно эта отрасль энергетики является самой востребованной и перспективной.

Мощность ветрогенератора зависит от площади, заметаемой лопастями генератора. Например, турбины мощностью 3 МВт (V90) производства датской фирмы Vestas имеют общую высоту 115 м, высоту башни 70 м и диаметр лопастей 90 метров.

Наиболее перспективными местами для производства энергии из ветра являются прибрежные зоны. В море, на расстоянии 10-12 км от берега (а иногда и дальше), строятся офшорные ветряные электростанции. Башни ветрогенераторов устанавливаются на фундаменты из свай, забитых на глубину до 30 метров.



Ветряные генераторы практически не потребляют ископаемого топлива. Работа ветрогенератора мощностью 1 МВт за 20 лет эксплуатации позволяет сэкономить примерно 29 тыс. тонн угля или 92 тыс. баррелей нефти.

В перспективе планируется использование энергии ветра не посредством ветрогенераторов, а более нетрадиционным образом. В городе Масдар (ОАЭ) планируется строительство электростанции работающей на пьезоэффекте. Она будет представлять собой лес из полимерных стволов покрытых пьезоэлектрическими пластинами. Эти 55-м стволы будут изгибаться под действием ветра и генерировать ток.

## Гидроэнергия

На этих электростанциях, в качестве источника энергии используется потенциальная энергия водного потока, первоисточником которой является Солнце, испаряющее воду, которая затем выпадает на возвышенностях в виде осадков и стекает вниз, формируя реки. Гидроэлектростанции обычно строят на реках, сооружая плотины и водохранилища. Также возможно использование кинетической энергии водного потока на так называемых свободно поточных (бесплотинных) ГЭС.

### Особенности:

- себестоимость электроэнергии на ГЭС существенно ниже, чем на всех иных видах электростанций;
- генераторы ГЭС можно достаточно быстро включать и выключать в зависимости от потребления энергии;
- возобновляемый источник энергии;
- значительно меньшее воздействие на воздушную среду, чем другими видами электростанций;
- строительство ГЭС обычно более капиталоемкое;
- часто эффективные ГЭС более удалены от потребителей;
- водохранилища часто занимают значительные территории, изымая их из сельскохозяйственного оборота, но в то же время могут благоприятно влиять в других вопросах. Смягчается климат в прилегающем районе, накопление воды для орошения и т. д.;
- плотины зачастую изменяют характер рыбного хозяйства, поскольку перекрывают путь к нерестилищам проходным рыбам, однако часто благоприятствуют увеличению запасов рыбы в самом водохранилище и осуществлению рыбоводства.

### Типы ГЭС:

- плотинные;
- бесплотинные;
- малые;
- гидроаккумулирующие
- приливные;
- на океанских течениях;



- волновые;
- осмотические.

На 2010 год гидроэнергетика обеспечивает производство до 76 % возобновимой и до 16 % всей электроэнергии в мире, установленная гидроэнергетическая мощность достигает 1015 ГВт. Лидерами по выработке гидроэнергии на гражданина являются Норвегия, Исландия и Канада. Наиболее активное гидростроительство на начало 2000-х ведёт Китай, для которого гидроэнергия является основным потенциальным источником энергии, в этой же стране размещено до половины малых гидроэлектростанций мира.

### Энергия приливов и отливов

Электростанциями этого типа являются особого вида гидроэлектростанции, использующие энергию приливов, а фактически кинетическую энергию вращения Земли. Приливные электростанции строят на берегах морей, где гравитационные силы Луны и Солнца дважды в сутки изменяют уровень воды.

Приливы – это результат гравитационного взаимодействия Земли с Луной и Солнцем. Приливообразующая сила Луны в данной точке земной поверхности определяется как разность местного значения силы притяжения Луны и центробежной силы от вращения системы Земля–Луна вокруг общего центра тяжести.

В результате на поверхности Земли возникают приливные колебания уровня в огромных океанах планеты. Основные периоды этих колебаний – суточные продолжительностью около 24 ч и полусуточные – около 12 ч 25 мин.

Во время приливов и отливов перемещение водных масс образует приливные течения. Скорость этих течений в прибрежных проливах и между островами достигает примерно 5 м/с.

В открытом море подъем водной поверхности во время прилива не превышает 1 м. В устьях рек, проливах и постепенно суживающихся заливах приливы достигают значительно большей величины. Приливы в заливе Фанди (Атлантическое побережье Канады), наибольшие в мире, достигают высоты 17,3 м. В Европе высокие приливы происходят в устье реки Северн (Англия) – 14,5 м и на Атлантическом побережье Франции – 13,5 м.

В России наибольшие высоты приливов наблюдаются в Пенжинской губе (14,5 м) и Тугурском заливе Охотского моря (10 м), а также в Мезенском заливе Белого моря (10 м). На Мурманском побережье Баренцева моря высота прилива достигает 7,2 м.

На приливо-отливные явления существенное влияние оказывает ветер. Если ветер дует с моря, он нагоняет воду к берегу и высота прилива увеличивается. При ветре, дующем с суши, уровень прилива понижается.

Каждый год наиболее высокие приливы происходят тогда, когда Луна и Солнце находятся почти на одной линии. Их суммарное гравитационное взаимодействие увеличивает объем перемещаемой океанской воды.

Поднятую во время прилива на максимальную высоту воду можно отделить от моря плотиной. В результате образуется приливный бассейн.

Скорость приливного течения меняется во времени. Для устройства, работающего при прямом и обратном приливном течении, имеющем скорость  $U = 5$  м/с

Если перекрыть плотиной площадь залива  $S = 1000$  м<sup>2</sup>, можно получить среднюю мощность электростанции около 13 МВт.

Принцип действия приливных электростанций (ПЭС), работающих при приливе и отливе, заключается в следующем. В устье реки или заливе строится плотина. В корпусе плотины устанавливаются гидроагрегаты. За плотиной образуется приливный бассейн. Во время прилива вода вращает турбоагрегаты и наполняет приливный бассейн. При отливе поток воды возвращается из бассейна в море, вращая турбины в обратном направлении.

Экономически оправдано строительство ПЭС в районах с приливными колебаниями уровня моря не менее 4 м. Мощность ПЭС зависит от характера прилива, объема и площади приливного бассейна и числа установленных гидроагрегатов.

Эффективность ПЭС значительно повысилась в связи с созданием капсульных турбин, действующих при приливе и отливе. ПЭС двухстороннего действия может вырабатывать электроэнергию в течение 4-5 часов с перерывами в 1-2 часа четыре раза в сутки.

При совпадении времени прилива и отлива с периодом наибольшего потребления энергии ПЭС работает в турбинном режиме, а при совпадении времени прилива и отлива с наименьшим потреблением энергии турбины ПЭС или отключаются, или работают в насосном режиме, наполняя бассейн выше уровня прилива или откачивая воду из бассейна.

Использование энергии ПЭС затрудняется из-за неравномерности ее выработки. Для устранения этой неравномерности бассейн ПЭС можно разделить плотиной на два или три меньших бассейна, с поочередной коммутацией этих бассейнов через турбины с морем и между собой. Но эта мера полностью не исключает неравномерности выработки электроэнергии, обусловленной циклическостью приливов в течение полумесячного периода. Стоимость многобассейновых ПЭС очень высока, поэтому в настоящее время строят однобассейновые ПЭС. Мощность такой ПЭС вследствие изменения напора воды возрастает от нуля до некоторого максимального значения, а затем вновь снижается до нуля [2].

Для оптимизации выработки электроэнергии турбины ПЭС должны использоваться в нескольких режимах. Выбор режима зависит от необходимой в данный момент мощности, потребностей в энергии и возможностей других производителей электроэнергии. В основном используются следующие режимы.

Если ПЭС построена для обеспечения местных потребностей в электроэнергии, то необходимы страхующие энергоустановки, которые подключаются в период угасания приливов.

Если ПЭС включена в крупную энергосеть и является сравнительно небольшим источником энергии в масштабах сети, то ее работа приспособливается к потребителям энергосети.

Если требования к энергии ПЭС не связаны с временем суток, ее можно использовать в естественном режиме. Энергию можно использовать на нужды транспорта, зарядку аккумуляторов, производство водорода и т.п.

Мировые энергетические ресурсы приливной энергии оцениваются в 1 трлн. кВт·ч. Но использование этой энергии затрудняется в связи с ее пульсирующим характером.

В настоящее время в мире действуют промышленная ПЭС Ранс во Франции (240 МВт), опытные ПЭС Аннаполис в Канаде (20 МВт) и Кислогубская в России (0,4 МВт). Также построены три опытных ПЭС в Китае и одна в Корее. Проектирование промышленных ПЭС ведется во многих странах мира.

Первая ПЭС мощностью 240 МВт была пущена во Франции в 1966 г. Она расположена в устье реки Ранс, которая впадает в пролив Ла-Манш. Средняя высота приливов составляет 8,4 м. На реке была построена плотина длиной 0,8 км.

На станции установлены 24 капсульных гидроагрегата. Такой гидроагрегат позволяет осуществлять три прямых и три обратных режима работы: режим генератора, режим насоса и режим водопропускного отверстия. Строительство ПЭС Ранс оказалось в 2,5 раза дороже строительства ГЭС такой же мощности из-за защитных перемычек. Опыт эксплуатации такой ПЭС показал, что ее строительство экономически оправдано, так как себестоимость вырабатываемой электроэнергии ниже, чем на ГЭС.

Возможное воздействие приливных электростанций на окружающую среду может быть связано с увеличением амплитуды приливов на океанской стороне плотины. Это может приводить к затоплению суши и сооружений при высоких приливах или штормах и к попаданию соленой воды в устья рек и подземные водоносные слои. Водные сообщества организмов в приливной зоне могут пострадать в результате изменения уровня воды и усилившихся течений как за плотиной, так и перед ней. Прохождение через турбины также небезопасно для водных организмов.

Экологическая безопасность ПЭС была доказана исследованиями за рубежом и в России. Биологическая стабилизация водного сообщества организмов произошла через 10 лет и сохраняется благодаря водообмену с морем. Кроме того, наблюдается увеличение рыбной массы и урожая моллюсков на подводных плантациях.

На Кислогубской ПЭС проводились опытные пропуски промысловой рыбы через плотину. В результате ни одна из выловленных особей не получила повреждений. Установлено, что на капсульном гидроагрегате ПЭС гибнет всего 4-5 % биомассы планктона. Тогда как на гидроагрегате ГЭС – до 85 %.

Одним из основных экологических преимуществ ПЭС является отсутствие затопляемых земель, так как бассейн образуется естественным путем без затопления берегов.

Для получения энергии залив или устье реки перекрывают плотиной, в которой установлены гидроагрегаты, которые могут работать как в режиме генератора, так и в режиме насоса (для перекачки воды в водохранилище для последующей работы в отсутствие приливов и отливов). В последнем случае они называются гидроаккумулирующими электростанциями.

Преимуществами ПЭС является экологичность и низкая себестоимость производства энергии. Недостатками — высокая стоимость строительства и изменяющаяся в течение суток мощность, из-за чего ПЭС может работать только в единой энергосистеме с другими типами электростанций.

### Энергия волн

Волновые электростанции используют потенциальную энергию волн переносимую на поверхности океана. Мощность волнения оценивается в кВт/м. По сравнению с ветровой и солнечной энергией энергия волн обладает большей удельной мощностью. Несмотря на схожую природу с энергией приливов, отливов и океанских течений волновая энергия представляет собой отличный от них источник возобновляемой энергии.

### Энергия температурного градиента морской воды

Один из видов возобновляемой энергии, позволяющий получать электроэнергию, используя разницу температур на поверхности и глубине мирового океана.

### Энергия солнечного света

Данный вид энергетики основывается на преобразовании электромагнитного солнечного излучения в электрическую или тепловую энергию.

Солнечные электростанции используют энергию Солнца как напрямую (фотоэлектрические СЭС работающие на явлении внутреннего фотоэффекта), так и косвенно – используя кинетическую энергию пара.

Крупнейшая фотоэлектрическая СЭС Topaz Solar Farm имеет мощность 550 МВт. Находится в штате Калифорния, США.

К СЭС косвенного действия относятся:

- башенные – концентрирующие солнечный свет гелиостатами на центральной башне, наполненной соевым раствором;
- модульные – на этих СЭС теплоноситель, как правило масло, подводится к приемнику в фокусе каждого параболо-цилиндрического зеркального концентратора и затем передаёт тепло воде испаряя её;
- солнечные пруды – представляют собой небольшой бассейн глубиной в несколько метров, имеющий многослойную структуру. Верхний – конвективный слой – пресная вода; ниже расположен градиентный слой с увеличивающейся книзу концентрацией рассола; в самом низу слой крутого рассо-

ла. Дно и стенки покрыты чёрным материалом для поглощения тепла. Нагрев происходит в нижнем слое, так как рассол имеет более высокую по сравнению с водой плотность увеличивающуюся при нагреве из-за лучшей растворимости соли в горячей воде, конвективного перемешивания слоёв не происходит и рассол может нагреваться до 100 °С и более. В рассольную среду помещён трубчатый теплообменник по которому циркулирует легкокипящая жидкость (аммиак, фреон и др.) и испаряется при нагреве передавая кинетическую энергию паровой турбине.

### Геотермальная энергия

Электростанции данного типа представляют собой теплоэлектростанции использующие в качестве теплоносителяводу из горячих геотермальных источников. В связи с отсутствием необходимости нагрева воды ГеоТЭС являются в значительной степени более экологически чистыми нежели ТЭС. Строятся ГеоТЭС в вулканических районах, где на относительно небольших глубинах вода перегревается выше температуры кипения и просачивается к поверхности, иногда проявляясь в виде гейзеров. Доступ к подземным источникам осуществляется бурением скважин.

### Биоэнергетика

Данная отрасль энергетики специализируется на производстве энергии из биотоплива. Применяется в производстве, как электрической энергии, так и тепловой.

### Биотопливо первого поколения

Биотопливо – топливо из биологического сырья, получаемое, как правило, в результате переработки биологических отходов. Существуют также проекты разной степени проработанности, направленные на получение биотоплива из целлюлозы и различного типа органических отходов, но эти технологии находятся в ранней стадии разработки или коммерциализации. Различают:

- твёрдое биотопливо (лес энергетический: дрова, брикеты, топливные гранулы, щепы, солома, лузга), торф;
- жидкое биотопливо (для двигателей внутреннего сгорания, например, биоэтанол, биометанол, биобутанол, диметиловый эфир, биодизель);
- газообразное (биогаз, биоводород, метан).

### Биотопливо второго поколения

Биотопливо второго поколения – разнообразные виды топлива, получаемые различными методами пиролизабиомассы, или прочие виды топлива, помимо метанола, этанола, биодизеля получаемые из источников сырья «второго

поколения». Быстрый пиролиз позволяет превратить биомассу в жидкость, которую легче и дешевле транспортировать, хранить и использовать. Из жидкости можно произвести автомобильное топливо, или топливо для электростанций.

Источниками сырья для биотоплива второго поколения являются лигноцеллюлозные соединения, остающиеся после того, как пригодные для использования в пищевой промышленности части биологического сырья удаляются. Использование биомассы для производства биотоплива второго поколения направлено на сокращение количества использованной земли, пригодной для ведения сельского хозяйства. К растениям – источникам сырья второго поколения относятся:

- водоросли – простые живые организмы, приспособленные к росту и размножению в загрязнённой или солёной воде (содержат до двухсот раз больше масла, чем источники первого поколения, таких как соевые бобы);

- рыжик (растение) – растущий в ротации с пшеницей и другими зерновыми культурами;

- *Jatropha curcas* или Ятрофа – растущее в засушливых почвах, с содержанием масла от 27 до 40 % в зависимости от вида.

Из биотоплив второго поколения, продающихся на рынке, наиболее известны BioOil производства канадской компании Dynamotive и SunDiesel германской компании CHOREN Industries GmbH.

По оценкам Германского Энергетического Агентства (Deutsche Energie-Agentur GmbH) (при ныне существующих технологиях) производство топлива пиролизом биомассы может покрыть 20 % потребностей Германии в автомобильном топливе. К 2030 году, с развитием технологий, пиролиз биомассы может обеспечить 35 % германского потребления автомобильного топлива. Себестоимость производства составит менее €0,80 за литр топлива.

Создана «Пиролизная сеть» (Pyrolysis Network (PyNe)) – исследовательская организация, объединяющая исследователей из 15 стран Европы, США и Канады.

Весьма перспективно также использование жидких продуктов пиролиза древесины хвойных пород. Например, смесь 70 % живичного скипидара, 25 % метанола и 5 % ацетона, то есть фракций сухой перегонки смолистой древесины сосны, с успехом может применяться в качестве замены бензина марки А-80. Причём для перегонки применяются отходы дереводобычи: сучья, пень, кора. Выход топливных фракций достигает 100 килограммов с тонны отходов.

### Биотопливо третьего поколения

Биотопливо третьего поколения – топлива, полученные из водорослей.

Департамент Энергетики США с 1978 года по 1996 года исследовал водоросли с высоким содержанием масла по программе «Aquatic Species Program». Исследователи пришли к выводу, что Калифорния, Гавайи и Нью-Мексико пригодны для промышленного производства водорослей в открытых

прудах. В течение 6 лет водоросли выращивались в прудах площадью 1000 м<sup>2</sup>. Пруд в Нью-Мексико показал высокую эффективность в захвате CO<sub>2</sub>. Урожайность составила более 50 граммов водорослей с 1 м<sup>2</sup> в день. 200 тысяч гектаров прудов могут производить топливо, достаточное для годового потребления 5 % автомобилей США. 200 тысяч гектаров – это менее 0,1 % земель США, пригодных для выращивания водорослей. У технологии ещё остаётся множество проблем. Например, водоросли любят высокую температуру (для их производства хорошо подходит пустынный климат), однако требуется дополнительная температурная регуляция, защищающая выращиваемую культуру от ночных понижений температуры («похолоданий»). В конце 1990-х годов технология не была запущена в промышленное производство в связи с относительно низкой стоимостью нефти на рынке.

Кроме выращивания водорослей в открытых прудах существуют технологии выращивания водорослей в малых биореакторах, расположенных вблизи электростанций. Сбросное тепло ТЭЦ способно покрыть до 77 % потребностей в тепле, необходимого для выращивания водорослей. Данная технология выращивания культуры водорослей защищена от суточных колебаний температуры, не требует жаркого пустынного климата – то есть может быть применена практически на любой действующей ТЭЦ.

Критики развития биотопливной индустрии заявляют, что растущий спрос на биотопливо вынуждает сельхозпроизводителей сокращать посевные площади под продовольственными культурами и перераспределять их в пользу топливных. Например, при производстве этанола из кормовой кукурузы, барда используется для производства комбикорма для скота и птицы. При производстве биодизеля из сои или рапса жмых используется для производства комбикорма для скота. То есть производство биотоплива создаёт ещё одну стадию переработки сельскохозяйственного сырья.

На данный момент существует достаточно большое количество мер поддержки ВИЭ. Некоторые из них уже зарекомендовали себя как эффективные и понятные участникам рынка. Среди таких мер стоит более подробно рассмотреть:

- зелёные сертификаты;
- возмещение стоимости технологического присоединения;
- тарифы на подключение;
- система чистого измерения.

### Зелёные сертификаты

Под зелёными сертификатами понимаются сертификаты, подтверждающие генерацию определённого объёма электроэнергии на основе ВИЭ. Данные сертификаты получают только квалифицированные соответствующим органом производители. Как правило, зелёный сертификат подтверждает генерацию 1 МВт·ч, хотя данная величина может быть и другой. Зелёный сертификат может быть продан либо вместе с произведённой электроэнергией, либо отдельно,

обеспечивая дополнительную поддержку производителя электроэнергии. Для отслеживания выпуска и принадлежности «зелёных сертификатов» используются специальные программно-технические средства (WREGIS, M-RETS, NEPOOL GIS). В соответствии с некоторыми программами сертификаты можно накапливать (для последующего использования в будущем), либо занимать (для исполнения обязательств в текущем году). Движущей силой механизма обращения зелёных сертификатов является необходимость выполнения компаниями обязательств, взятых на себя самостоятельно или наложенных правительством. В зарубежной литературе «зелёные сертификаты» известны также как: Renewable Energy Certificates (RECs), Green tags, Renewable Energy Credits.

### Возмещение стоимости технологического присоединения

Для повышения инвестиционной привлекательности проектов на основе ВИЭ государственными органами может предусматриваться механизм частичной или полной компенсации стоимости технологического присоединения генераторов на основе возобновляемых источников к сети. На сегодняшний день только в Китае сетевые организации полностью принимают на себя все затраты на технологическое присоединение.

#### Фиксированные тарифы на энергию ВИЭ

Накопленный в мире опыт позволяет говорить о фиксированных тарифах как о самых успешных мерах по стимулированию развития возобновляемых источников энергии. В основе данных мер поддержки ВИЭ лежат три основных фактора:

- гарантия подключения к сети;
- долгосрочный контракт на покупку всей произведённой ВИЭ электроэнергии;
- гарантия покупки произведённой электроэнергии по фиксированной цене.

Фиксированные тарифы на энергию ВИЭ могут отличаться не только для разных источников возобновляемой энергии, но и в зависимости от установленной мощности ВИЭ. Одним из вариантов системы поддержки на основе фиксированных тарифов является использование фиксированной надбавки к рыночной цене энергии ВИЭ. Как правило, надбавка к цене произведённой электроэнергии или фиксированный тариф выплачиваются в течение достаточно продолжительного периода (10-20 лет), тем самым гарантируя возврат вложенных в проект инвестиций и получение прибыли.

#### Система чистого измерения

Данная мера поддержки предусматривает возможность измерения отданного в сеть электричества и дальнейшее использование этой величины во взаиморасчётах с электроснабжающей организацией. В соответствии с «системой чистого измерения» владелец ВИЭ получает розничный кредит на величину, равную или большую выработанной электроэнергии. В соответствии с законо-



дательством, во многих странах электроснабжающие организации обязаны предоставлять потребителям возможность осуществления чистого измерения.

### Экологические проблемы биоэнергетики

Биоэнергетические установки способствуют снижению загрязнения окружающей среды всевозможными отходами. Анаэробная ферментация является не только эффективным средством использования отходов животноводства, но и обеспечивает экологическую чистоту, так как в процессе перегнивания погибают болезнетворные микроорганизмы. Кроме того, образуются высококачественные удобрения.

Городские стоки, отходы при рубке леса и деревообрабатывающей промышленности представляют собой источники загрязнения природной среды. В то же время они являются сырьем для получения энергии, удобрений и ценных химических веществ. Поэтому развитие биоэнергетики эффективно в экологическом отношении.

Но использование биомассы для получения энергии имеет и негативные последствия. Прямое сжигание древесины дает большое количество твердых частиц органических компонентов, окиси углерода и других газов. По концентрации некоторых загрязняющих веществ продукты сгорания древесины превосходят продукты сгорания нефти и ее производных. Основные опасности, связанные с увеличением использования биомассы в качестве топлива, заключаются в уничтожении лесов, эрозии почвы, замены урожаев, идущих в пищу, «урожаями» топлива.

На городских свалках ежегодно скапливаются сотни тысяч тонн бытовых отходов. Удельный годовой выход ТБО на одного жителя современного города составляет 250-700 кг. В развитых странах эта величина ежегодно возрастает на 4-5 %. По количеству бытовых отходов лидирующие позиции занимает США. Большую часть ТБО этой страны составляют упаковочные материалы.

По качественному составу ТБО подразделяют на: бумагу (картон); пищевые отходы; дерево; черные и цветные металлы; текстиль; кости; стекло; кожу и резину; полимерные материалы и т.п. К опасным ТБО относятся: батарейки и аккумуляторы, электроприборы, лаки, краски и косметика, удобрения и ядохимикаты, бытовая химия, медицинские отходы, приборы, содержащие ртуть.

Бытовые отходы характеризуются многокомпонентностью и неоднородностью состава, малой плотностью и нестабильностью (способностью к загниванию). Разлагаясь, они отравляют воздух, почву, подземные воды и представляют серьезную опасность для окружающей среды и человека.

Во всем мире переработка и утилизация ТБО становится все более острой проблемой. Главным образом это касается крупных городов, где ежегодно скапливается млн. кубометров всевозможного мусора. В России ежегодно образуется 120 миллионов кубометров ТБО. Проблема утилизации такого количества отходов с одной стороны является экологической, а с другой – связана с решением сложных технических и экономических вопросов.

В нашей стране, как и во всем мире, используются три направления утилизации ТБО:

- 1) переработка на специально оборудованных полигонах по технологии твердофазного метаногенеза с получением биогаза;
- 2) компостирование;
- 3) сжигание в специальных мусоросжигательных установках.

В настоящее время ТБО городов как правило вывозятся на полигоны для захоронения с расчетом на их последующую минерализацию. Желательно, чтобы перед захоронением ТБО прессовали. Это не только снижает объем материала, но и удаляет воду, стабилизируя на некоторое время состояние отходов. Доступ кислорода в плотную массу затруднен, а недостаток влаги затрудняет активную деятельность микроорганизмов.

Полигоны размещаются за пределами населенных пунктов. Это природоохранные сооружения, которые в какой-то степени защищают от загрязнения атмосферу, почву и грунтовые воды, а также препятствуют распространению болезнетворных организмов. Ежегодно под полигоны занимают тысячи гектаров пригодных для использования земель.

Для полигона выбирают ровную местность, чтобы исключить возможность смыва атмосферными осадками части отходов и загрязнения ими прилегающих земельных площадей и водоёмов. Санитарно-защитная зона между полигоном и жилой застройкой должна быть не менее 100 м.

В результате микробиологических процессов, проходящих в отходах на полигонах, образуется биогаз. Содержание метана в биогазе достигает 44-66 %. Он обладает значительным энергетическим потенциалом и может быть использован в качестве топлива.

В настоящее время в мире эксплуатируют большое количество установок по извлечению и использованию биогаза, получаемого в результате анаэробного разложения органических веществ на полигонах по захоронению городских отходов. Выделение биогаза начинается через три месяца после захоронения и продолжается в течении 15-20 лет.

На полигоны вывозят 90-95 % твердых бытовых отходов. Существует ряд проблем, связанных с захоронением ТБО:

- 1) вымывание веществ и загрязнение грунтовых вод;
- 2) образование метана;
- 3) просадка грунта.

Вода, проходя через отходы, образует ядовитый фильтрат, в котором, кроме разлагающихся органических веществ, присутствуют железо, свинец, цинк, ртуть и другие металлы, а также различные химикаты. Этот ядовитый раствор может попасть в подземные водоносные горизонты, а оттуда вредные вещества могут попасть в питьевую воду.

Метан и углекислый газ, выделяющиеся при анаэробном разложении органических веществ, могут ухудшить состояние атмосферного воздуха. Кроме того, процесс гниения сопровождается распространением запаха на расстоянии более 1 км.

С течением времени по мере разложения отходы проседают и образуются неглубокие впадины. В них скапливается вода и весь участок превращается в болото с ядовитой водой.

Таким образом, полигоны, действуя в течении десятилетий, наносят огромный экологический и социальный ущерб природной среде.

Вторым направлением утилизации ТБО является переработка в органическое удобрение (компост). Можно компостировать до 60 % общей массы бытовых отходов. Процесс компостирования осуществляется во вращающихся биотермических барабанах диаметром до 4-х метров и длиной до 30-60 м.

Окисление и разложение органической массы бытовых отходов происходит в результате жизнедеятельности аэробных микроорганизмов при температуре около 70 °С. Конечным продуктом переработки является компост, который используется в качестве удобрения.

Трудность реализации этого метода заключается в предварительной сортировке ТБО. Поэтому возникает необходимость строительства завода по сортировке отходов для разделения и сбора вторичного сырья (бумага, черные и цветные металлы, стекло и т. п.) [1].

В зависимости от состава отходов в результате технологического процесса выделяются вредные вещества: пыль, окись углерода, толуол, углеводороды, бензол, диоксины, фураны и другие вредные вещества. Особо опасны тяжелые металлы, содержащиеся в ТБО. При биотермическом процессе они целиком переходят в компост. При внесении в почву такого компоста происходит ее загрязнение тяжелыми металлами. В конечном итоге они попадают в сельхозпродукты, выращенные с использованием такого компоста.

Следовательно, биотермическое компостирование можно применять в поселках сельской местности, где нет промышленных предприятий, способствующих появлению в бытовых отходах тяжелых металлов. Причем компост желателно использовать для выращивания цветов и технических культур, а не растительной пищевой продукции. Для городских бытовых отходов такой способ малопригоден.

В экономически развитых странах все больше количество ТБО перерабатывается промышленными способами. Наиболее эффективным из них является термический. Он позволяет почти в 10 раз снизить объём отходов, вывозимых на свалку. Не сгоревший остаток уже не содержит органических веществ. В настоящее время отдаётся предпочтение мусоросжигающим установкам, которые не только сжигают отходы, но и вырабатывают энергию. Согласно концепции «энергетического баланса», которая предложена рабочей группой Всемирного энергетического совета, полученная энергия должна покрывать энергетические затраты на переработку ТБО.

По мнению специалистов, уже в ближайшее время, сжигание ТБО с выработкой тепловой и электрической энергии будет основным способом переработки отходов. Это, прежде всего, касается тех стран, которые имеют небольшую территорию и где введены ограничения на захоронение отходов.

В мировой практике применяется больше десятка технологий сжигания ТБО. По оценке Всероссийского теплотехнического института, (ВТИ), вырабатываемая при их реализации тепловая энергия может быть эффективно использована в трёх случаях: 1) при сжигании ТБО на колосниковых решетках; 2) при сжигании в топках с псевдосжиженным (кипящем) слоем; 3) в процессе высокотемпературного сжигания.

Самой распространенной технологией является сжигание на колосниках в слоевой топке. По этой технологии работают большинство зарубежных мусоросжигательных заводов, в том числе и отечественные мусоросжигательные заводы.

Сжигание отходов в топках с псевдосжиженным слоем широко применяется в Японии. В Европе такие заводы используют в Испании, Германии и Франции. В США работают заводы по сжиганию отходов в циркулирующем псевдосжиженном слое.

Но эти технологии не решают проблему утилизации твердых остатков (шлаков и летучей золы). Если шлак можно использовать в строительстве, то золу требуется захоранивать на специально оборудованных полигонах, так как она адсорбирует тяжелые металлы и различные токсичные вещества.

Комбинированные технологии сжигания отходов при высокой температуре дают возможность обезвредить золу и шлак. Например, комбинированная технология немецкой фирмы «Сименс» под названием «Пиролиз – высокотемпературное сжигание», является практически безвредной и почти полностью безотходной.

Первый крупномасштабный завод, работающий по такой технологии, был построен в городе Вюрте (Германия). Эта технология сочетает в себе низкотемпературный пиролиз (обработку отходов без доступа кислорода) с их последующим сжиганием при высокой температуре.

Комбинированная технология фирмы «Сименс» имеет следующие преимущества:

- 1) из ТБО получают материалы, которые можно использовать без дальнейшей обработки;
- 2) выходящие из установки газы имеют высокую степень очистки;
- 3) выделяемое при сжигании тепло можно использовать для производства электроэнергии и централизованного теплоснабжения или направлять на технологические нужды.

Технология высокотемпературной переработки ТБО, не имеющая аналогов в мировой практике, разработана группой российских ученых – металлургов «Алгон». Технологический процесс отличается высоким температурным режимом. Основной агрегат этой технологии – барботажная печь со шлаковой ванной, в которой в шламовом расплаве, продуваемом кислородосодержащим дутьем, сжигаются отходы.

Отходы загружают в печь без предварительной сортировки и подготовки. Процесс сжигания происходит в шлаковой ванне при температуре 1450-1550 °С. Выделяющееся из ванны газы дожигаются над поверхностью

расплава воздухом или кислородосодержащим дутьем. После полного дожигания они поступают в котел – утилизатор. Крупная пыль, уловленная газоочисткой, возвращается в печь. Мелкая уловленная пыль представляет собой концентрат тяжелых металлов, которые можно извлечь на предприятиях цветной металлургии. Шлак из печи поступает на переработку. Он экологически безопасен и может быть использован для производства строительных материалов, минеральных волокон, наполнителя для дорожных покрытий.

В мире разрабатывается плазменный метод сжигания ТБО. Технологическая схема этого метода включает в себя плазмогенератор (агрегат для газификации) и другое вспомогательное оборудование. Тепловая энергия в газогенератор подводится с помощью дуговых плазмотронов струйного типа плазмoeлектродной системы, обеспечивающих расплавление непиролизуемых компонентов и жидкое удаление шлака. По мнению разработчиков, этот метод дает возможность проводить глубокую переработку ТБО с получением синтез газа, имеющего теплоту сгорания 11-13 тыс. кДж/м<sup>3</sup>. Шлак может гранулироваться и использоваться в строительстве.

Осуществление процесса плазменной газификации требует определенной подготовки бытового мусора. Способ плазменного сжигания является очень дорогостоящим по капитальным затратам и эксплуатационным расходам. Он энергоёмок и технически сложен. Пока данная технология существует в виде опытного научного оборудования.

Экологическое воздействие мусоросжигательных заводов в основном связаны с загрязнением атмосферы мелкодисперсной пылью – оксидами серы и азота, фуранами и диоксинами, которые образуются при сжигании полимерных материалов, содержащих хлор, и являются токсичными. Серьезные проблемы также связаны с захоронением золы, которая по весу составляет до 30 % от исходного веса отходов. Для безопасного захоронения золы используют специальные хранилища.

На мусоросжигательных заводах применяют многоступенчатую систему газоочистки с использованием карбамида, щелочного реагента и активированного угля. Дополнительно, дымовые газы очищаются от золы и газообразных компонентов в рукавном фильтре. Очищенные дымовые газы направляются дымососом в дымовую трубу.

Кроме топочного устройства в состав каждой технологической линии входят: котел – утилизатор, циклон, распылительный абсорбер, узел подачи реагентов для улавливания диоксинов, фуранов и ртути, рукавный фильтр и дымосос.

К недостаткам мусоросжигательных заводов следует отнести низкие параметры пара. На отечественных мусоросжигательных заводах они равны  $p = 16$  ата,  $t = 240$  °С, при паропроизводительности 15-35 т/ч. Удельные показатели по выработке электроэнергии существенно ниже по сравнению с ТЭС. Это объясняется следующими свойствами ТБО: кусковое топливо, низкая температура плавления золы и коррозионные свойства дымовых газов.

Одним из способов решения проблемы сбыта низко потенциального пара, полученного при сжигании ТБО, является совместная работа мусоросжигательного завода в единой системе теплоснабжения. Основным источником тепла в этой системе являются установки, работающие на энергетическом топливе и подключенные к крупным потребителям тепла. В этом случае установки, сжигающие ТБО, подают пар или тепловую воду в общую сеть, а основное количество тепла производят паровые котлы, работающие на энергетическом топливе.

В России впервые такую схему предполагалось реализовать в г. Челябинске. Предусматривалась работа завода, сжигающего ТБО в единой системе с Челябинской ТЭЦ-2. Предполагалось, что потребителями низкопотенциального пара будут предприятия Тракторозаводского района. При необходимости излишки пара будут направляться на ТЭЦ-2 для собственных нужд.

Как показывает зарубежный опыт, реализация такой схемы не везде возможна. Поэтому большее распространение находят установки, сжигающие ТБО, с выработкой электроэнергии. Она является более востребованной по сравнению с тепловой.

Эффективность выработки электроэнергии существенно зависит от начальных параметров пара. Поэтому, для эффективного преобразования энергии ТБО в электрическую, прежде всего, необходимо повысить параметры пара. Следует отметить, что большая часть мусоросжигательных заводов из-за низкой надежности оборудования и несбалансированности цен на отпускаемую энергию и себестоимость ее производства пока убыточны и используются всего на 20-50 % проектной мощности.

## Заключение

В период подготовки к занятиям по дисциплине «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии» студенту необходимо научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учёбы и поведения.

Чёткое 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 от 9 до 10 ч своего времени, т. е. при шести часах аудиторных занятий самостоятельной работе необходимо отводить 3-4 ч.

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, закрепить 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

Планирование самостоятельной работы должно быть связано со структурой и содержанием дисциплины, а также с распределением часов аудиторных и внеаудиторных занятий по изучаемой дисциплине.

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 эксплу-

атации электроэнергетических и электротехнических объектов. Овладевают программными средствами для решения профессиональных задач в области электроэнергетики.



## Библиографический список

### а) основная литература:

Васильева, Т. Н. Использование программного обеспечения для оценки мероприятий по повышению надежности воздушных линий / Т. Н. Васильева, Е. И. Лопатин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. № 6. – С. 22-24.

2. Лопатин, Е. И. Оценка организационно-технических мероприятий повышения надежности электроснабжения / Е. И. Лопатин // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2011, №1. – часть 1. – С. 221-224.

3. Лопатин, Е. И. Анализ надежности электрооборудования распределительных сетей напряжением 0,38-10 кВ / Е. И. Лопатин // Сельский механизатор. – 2011. № 6. – С. 30-31.

4. Васильева, Т. Н. Использование программного обеспечения для оценки организационно-технических мероприятий повышения надежности электроснабжения / Т. Н. Васильева, Е. И. Лопатин // Вестник РГАТУ. – 2011. № 2. – С. 56-58.

5. Васильева, Т. Н. Анализ причин отказов электрического оборудования распределительных сетей 0,38-10 кВ / Т. Н. Васильева, Е. И. Лопатин // Вестник РГАТУ. – 2011. № 3. – С. 64-66.

6. Васильева, Т. Н. Надежность и техническое обслуживание электроэнергетических систем в сельском хозяйстве: [монография]. / Рязань: Т. Н. Васильева; рец. А. С. Красников; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования ФГБОУ «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева». – Рязань, 2013. – 194 с.: табл., рис. – Библиогр.: с. 185-192. - ISBN 978-5-98660-138-0.

### б) дополнительная литература:

1. Васильева, Т. Н. Надёжность счётчиков электрической энергии при их эксплуатации / Т. Н. Васильева, Е. И. Лопатин // Вестник РГАТУ. – 2012. № 1. – С. 58-61.

2. Васильева, Т. Н. Надёжность электрооборудования и систем электроснабжения: монография / Т. Н. Васильева. – М.: Горячая линия - Телеком, 2017. – 132 с.

3. Степанов, В. М., Шпиганович, А. А. Основные направления развития и обеспечения надежности систем электроснабжения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015 N12-2. – С. 3-12.

4. Степанов, В. М., Базыль, И. М. Имитационное и физическое моделирование систем электроснабжения для повышения надёжности их работы // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015 N12-2. – С. 139-142.

Учебное издание

**Лопатин Евгений Игоревич**

**НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Учебное пособие

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Тираж 5 экз.  
Рязанский институт (филиал) Университета машиностроения  
390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, 26/53