

Д.А. Макеева
Д.А. Козырь

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Д.А. Макеева, Д.А. Козырь

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Учебное пособие
для обучающихся образовательных учреждений
высшего образования

Севастополь
СевГУ
2024

УДК 620.92(075.8)
ББК 31.15я73
М156

Р е ц е н з е н т ы :

В. И. Братчун – д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов
ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

А. Х. Петренко – д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых
ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»

Макеева, Д. А.

М156 Ресурсосберегающие источники энергии : учебное пособие для обучающихся образовательных учреждений высшего образования / Д. А. Макеева, Д. А. Козырь ; Севастопольский государственный университет, кафедра «Радиоэкология и экологическая безопасность». – Севастополь : СевГУ, 2024. – 138 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 978-5-6051288-4-7.

Разработано в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и основной образовательной программы направлений подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование, 20.03.02 «Природообустройство и водопользование».

УДК 620.92(075.8)
ББК 31.15я73

Рекомендовано Ученым советом Института ядерной энергии и промышленности ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» в качестве учебного пособия для обучающихся образовательных учреждений высшего образования, протокол № 6 от 29 января 2024 г.

ISBN 978-5-6051288-4-7



© Макеева Д. А., Козырь Д. А., 2024
© ФГАОУ ВО Севастопольский
государственный университет», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ	7
1.1. Энергия, её источники и классификация.....	7
1.2. Параметры использования возобновляемых источников энергии	12
1.3. Классификация возобновляемых источников энергии.	14
1.4. Вопросы и задания для самопроверки и контроля усвоения знаний ..	18
2. ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА	23
2.1. Солнечная энергетика.....	23
2.2. Ресурсы солнечной энергии	25
2.3. Основные направления использования солнечной энергии	25
2.4. Фотоэлектрический способ	27
2.5. Фототермический способ	32
2.5.1. Классификация и принцип действия солнечных коллекторов	34
2.6. Системы аккумулирования тепловой энергии	45
2.7. Вопросы и задания для самопроверки и контроля усвоения знаний....	49
3. ЭНЕРГИЯ ВЕТРА	54
3.1. Ветроэнергетика	54
3.2. Принцип преобразования энергии ветра	56
3.3. Классификация ветрогенераторов по оси вращения.	58
3.4. Новейшие разработки в области ветроэнергетики	65
3.5. Вопросы и задания для самопроверки и контроля усвоения знаний....	78
4. ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ	83
4.1. Энергия тепла Земли.....	83
4.2. Основные типы ресурсов геотермальной энергии и способы использования геотермальной энергии	86
4.3. Принцип работы геотермальной станции.....	89
4.4. Тепловой насос	91
4.5. Вопросы и задания для самопроверки и контроля усвоения знаний.	100
5. ЭНЕРГИЯ ОКЕАНА	103
5.1. Энергетические ресурсы Мирового океана.....	103
5.2. Энергия приливов, течений. Принцип преобразования энергии	106
5.3. Энергия волн. Принцип преобразования энергии	107

5.4. Температурный градиент. Принцип преобразования энергии.....	110
5.5. Вопросы и задания для самопроверки и контроля усвоения знаний..	111
6. БИОЭНЕРГЕТИКА	113
6.1. Энергия биомасы.....	113
6.2. Особенности различных видов растительного сырья	119
6.3. Вопросы и задания для самопроверки и контроля усвоения знаний	121
7. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ.....	124
7.1. Экологические последствия развития солнечной энергетики	124
7.2. Влияние ветроэнергетики на природную среду.....	125
7.3. Влияние геотермальной энергетики на природную среду.....	127
7.4. Экологические последствия использования энергии океана	128
7.5. Экологическая характеристика использования биоэнергетических установок.....	130
7.6. Вопросы для самопроверки.....	131
Заключение	132
Список сокращений.....	133
Предметный указатель.....	134
Список использованной литературы.....	135

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие составлено в соответствии с учебными планами ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» по направлениям подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование», 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» и является необходимым для освоения курсов «Экологический анализ ресурсосберегающих источников энергии», «Техноэкология».

Учебное пособие разработано в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование» (приказ Минобрнауки России от 07.08.2020 N 894) и Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» (приказ Минобрнауки России от 26.05.2020 N 685).

В учебном пособии рассматриваются аспекты нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Целью учебного пособия является: изучение возможностей применения ресурсосберегающих источников энергии в системах энергоснабжения промышленных предприятий; систем преобразования солнечной радиации в электрическую и тепловую энергию, использование энергии ветра, морских течений и теплового градиента температур для получения электрической энергии; возможностей применения биомассы и твердых бытовых отходов для производства электрической и тепловой энергии.

В учебном пособии рассматриваются следующие вопросы:

- состояние и перспективы развития ресурсосберегающих источников энергии, экологические проблемы их использования;
- мировая политика в области нетрадиционной энергетики;

- физические основы преобразования солнечной энергии в тепловую и электрическую;
- конструкции и схемы систем солнечного тепло- и электроснабжения;
- классификация и устройство ветроэнергетических установок;
- основы использования энергии морских волн и течений;
- способы использования геотермальной энергии в системах теплоснабжения;
- возможности применения биомассы и твердых бытовых отходов как энергетического топлива.

Изучение материала учебного пособия позволит:

- анализировать необходимую потребность в энергетических ресурсах;
- оценивать энергетические ресурсы возобновляемых источников;
- проводить анализ условий использования возобновляемой энергии;
- осуществлять научно обоснованный выбор энергетических установок путем согласования режимов поступления и потребления возобновляемой энергии;
- выбирать рациональное сочетание потребляемых энергетических ресурсов в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Знания и умения, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются обучающимися при изучении последующих дисциплин, прохождении учебной или производственной практики, прохождении государственной итоговой аттестации и в профессиональной деятельности.

В данном учебном пособии авторами представлена в удобной для изучения форме информация о принципах использования ресурсосберегающих источников энергии, современных технологиях, достижениях, тенденциях, собственных разработках в данной области. Учебное пособие содержит теоретическую часть, а также задания и вопросы для самопроверки.

1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ

1.1. Энергия, её источники и классификация

Энергия (греч. *ἐνεργία* – действие, деятельность) – общая количественная мера различных форм движения материи, мера перехода движения материи из одних форм в другие. Энергия является мерой способности объекта совершать работу.

Известно много видов энергии. Например, тепловая, механическая, электрическая, энергия излучения, химическая, ядерная, энергия массы.

Существует пять основных источников энергии в пределах планеты Земля:

- 1) солнечное излучение;
- 2) гравитационные взаимодействия (энергия притяжения Луны);
- 3) геотермальные процессы (тепловая энергия ядра Земли);
- 4) ядерные реакции;
- 5) химические реакции.

Возникновение, существование и развитие различных форм жизни на Земле обусловлено наличием солнечного излучения. Вклад Солнца в энергетический баланс Земли в 5 тыс. раз превышает вклад остальных вместе взятых источников энергии. Энергия солнечного излучения на Земле в результате естественных процессов преобразуется в различные виды энергоресурсов: продукты фотосинтеза и термической переработки (биомасса, торф, бурый уголь, сланцы, антрацит, нефть, природный газ), движение воздушных масс (ветер), движение воды (реки, океанические течения), электростатическое поле Земли (молнии и другие электростатические разряды атмосферы). Гравитационные взаимодействия на Земле проявляются в виде перемещения значительных масс воды, которые приводят к океаническим и морским приливам и отливам. Геотермальные процессы обусловлены наличием происходящих с выделением тепла в ядре Земли химических и ядерных реакций. Они проявляются в виде нагрева земляного пласта, температура

которого увеличивается при приближении к ядру Земли, а также в виде нагрева подземных вод (например, гейзеры). Особым видом энергетических ресурсов являются расщепляющиеся с выделением энергии вещества (радиоактивные и химические), находящиеся в недрах нашей планеты. Эти вещества образовались на Земле с появлением планеты и при их использовании в дальнейшем самопроизвольно не восстановятся. Наибольшей энергоемкостью обладает ядерное топливо. При этом запасы его на Земле настолько велики, что их хватит человечеству минимум на несколько столетий. Классификация природных ресурсов приводится на рисунке 1.1.

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ													
НЕИСЧЕРПАЕМЫЕ				ИСЧЕРПАЕМЫЕ (НЕВОЗОБНОВИМЫЕ)						ПОТЕНЦИАЛЬНО ВОЗОБНОВИМЫЕ			
Энергия Солнца	Энергия ветра	Энергия приливов	Энергия текущей воды	Рудные полезные ископаемые			Нерудные полезные ископаемые			Чистый воздух	Пресная вода	Плодородные почвы	Растения и животные
				Железные руды	Свинцовые руды	Медные руды	Уголь	Газ	Нефть				

Рисунок 1.1 – Классификация природных ресурсов

Источники энергии подразделяются на возобновляемые и невозобновляемые (истощаемые).

Возобновляемые источники энергии – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих (период возникновения менее 100 лет) в окружающей среде потоков энергии (биотопливо, энергия ветра, гидроэнергия, геотермальная и гравитационная энергия).

Невозобновляемые источники энергии – это естественно образовавшиеся и накопившиеся в недрах планеты запасы веществ, способные

при определенных условиях высвободить заключённую в них энергию. Это все виды ископаемого топлива (торф, сланцы, уголь, нефть, газ), а также ядерная и химическая энергия. Энергия невозобновляемых источников в отличие от возобновляемых находится в природе в связанном состоянии и освобождается в результате целенаправленных действий человека.

В настоящее время исследователями доказана возможность возобновляемости углеводородов, поэтому отнесение их к категории «невозобновляемые» условно.

Источники энергии делят на два типа: традиционные и альтернативные. К первому относят полезные ископаемые (газ, нефть, уголь), второй – всё альтернативное им (солнце, вода, ветер). Ключевое отличие – это восстанавливаемость в природе. Традиционные источники исчерпаемые, соответственно, рано или поздно этот ресурс станет недоступным, альтернативные же бесконечны.

Возобновляемая энергетика – область хозяйствования, науки и техники, которая охватывает производство, передачу, преобразование, накопление и потребление электрической, тепловой и механической энергии за счет использования в качестве первичных энергоресурсов возобновляемых источников энергии.

В целом, все энергетические потоки возобновляемых источников энергии разделяются на две основные группы:

- прямая энергия солнечного излучения;
- вторичные проявления энергии солнечного излучения в виде энергии ветра, гидроэнергии, тепловой энергии окружающей среды, энергии биомассы и др.

ВИЭ классифицируют следующим образом:

- лучистая энергия Солнца;
- энергия ветра;
- гидроэнергия течений воды, волн, приливов;

- тепловая энергия окружающей среды (Земли, воздуха, морей и океанов);
- энергия биомассы;
- геотермальная энергия.

Возникновение энергии возобновляемых источников связано со следующим:

- термоядерными процессами на Солнце (тепловая и лучистая энергия Солнца, энергия ветра, энергия биомассы, гидроэнергия рек и волн, тепловая энергия окружающей среды, в том числе Земли, воздуха, морей и океанов);
- гравитационным взаимодействием Солнца, Земли и Луны (гидроэнергия приливов).

Геотермальную энергию также относят к возобновляемым видам энергии, хотя в данном случае тепловая энергия выделяется в результате протекания химических реакций и распада радиоактивных элементов, запасы которых имеют предел, то есть по своей сути она является невозобновляемым источником энергии. Солнце – специфический гидродинамический объект, температура недр которого настолько высока, что обеспечивает синтез водорода и гелия. Этот синтез высвобождает энергию в виде высокочастотного электромагнитного излучения, которое, излучаясь, постепенно доходит от недр Солнца до его поверхности.

Энергия, ежедневно излучаемая Солнцем, является источником жизни на Земле. Она поддерживает в газообразном состоянии земную атмосферу, постоянно нагревает сушу и водоёмы, даёт энергию ветрам и водотокам, морским течениям и волнам, обеспечивает жизнедеятельность животного и растительного мира. Часть солнечной энергии тратится на создание энергоресурсов в недрах Земли в виде каменного угля, торфа, нефти, природного газа и других ископаемых энергоресурсов. Материалом для образования горючих ископаемых были остатки растительности и живых организмов, что в результате долгосрочных процессов без доступа воздуха и под действием высокой температуры и давления превращались в торф, уголь и

нефть. Таким образом, в течение миллионов лет проходил процесс биохимического превращения солнечной энергии. Все это подчеркивает роль Солнца как основного первичного источника энергии на планете.

Вся энергетическая система Земли состоит из двух частей:

- динамический поток энергии, проходящий над поверхностью Земли;
- статический запас энергии, то есть органического топлива, ядерного и геотермальной энергии, находящейся под поверхностью Земли.

На поверхность Земли и на её атмосферу направлены следующие три энергетических потока со следующей мощностью:

- солнечное излучение 174 400 ТВт;
- гравитационная энергия планет 3 ТВт;
- тепловой поток изнутри Земли 30 ТВт.

Традиционные источники энергии – это источники, которые при сгорании выделяют в атмосферу углекислый газ (газ, нефть, уголь, гидроэнергетика), а также ядерная энергетика. Традиционные энергоресурсы – энергоресурсы, применяемые в качестве первичного источника энергии в современной традиционной энергетике, к ним относятся все невозобновляемые источники энергии и два вида возобновляемых – дрова и гидроэнергия крупных водотоков.

Ресурсосберегающие источники энергии являются возобновляемым ресурсом, которые заменяют собой традиционные источники энергии, функционирующие на нефти, добываемом природном газе и угле, которые при сгорании выделяют в атмосферу углекислый газ, способствующий росту парникового эффекта и глобальному потеплению. Причина поиска альтернативных источников энергии – потребность получать её из энергии возобновляемых или практически неисчерпаемых природных ресурсов и явлений. Во внимание принимается также экологичность и экономичность.

Условное топливо – единица учета топлива, которая применяется для сопоставления различных его видов и используется как энергетический эквивалент, характеризующий потенциальную энергоёмкость или размеры

запасов соответствующего энергоисточника. Основными единицами при определении удельных показателей энергетического потенциала являются килоджоуль (кДж), килокалория (ккал), киловатт-час (кВт·ч), килограмм условного топлива (кг у.т.), килограмм нефтяного эквивалента (кг н.э.). В единицах массы $1 \text{ кг у.т.} = 29,3 \text{ МДж} = 7000 \text{ ккал} = 8,14 \text{ кВт·ч}$.

Развитие возобновляемой энергетики не только уменьшает степень вредного воздействия на окружающую среду, но и способствует социально-экономическому развитию стран, обеспечивая новые рабочие места. Возобновляемая энергетика создала рабочие места для более чем 10 млн человек во всем мире. В частности, в 2017 г. по этой в сфере появилось дополнительно 500 тысяч новых рабочих мест. Больше всего людей занято в солнечной энергетике, а именно – 3,4 млн. На биоэнергетику приходится около 3 млн рабочих мест, из которых почти 2 млн – в сфере производства жидкого биотоплива. На гидроэлектростанциях нашли работу около 1,5 млн человек. 70% всех рабочих мест создано в США, Китае, Индии, Японии, Германии и Бразилии. Специалисты Международного агентства по возобновляемой энергетике IRENA прогнозируют, что к 2050 году в сфере производства «чистой» энергии будут работать 28 млн человек по всему миру.

1.2. Параметры использования возобновляемых источников энергии

При оценке возможности использования возобновляемых источников энергии необходимо представлять их принципиальные отличия от традиционных источников. Сравнение источников можно провести по следующим параметрам: регулируемость энергопотока, качество энергии, плотность энергии, воздействие на окружающую среду, безопасность.

Регулируемость энергопотока – это возможность управления подачей потока в утилизирующую установку. Прежде всего, необходимо понимать, что традиционные топлива (уголь, нефть, газ) являются аккумуляторами солнечной и геотермальной энергии, накопленной в них за миллионы лет. Потребность общества в энергии, как правило, не постоянно во времени. Например, в

электроэнергии потребность максимальна утром и вечером, минимальна ночью. Предприятия, использующие традиционные источники энергии (тепловые электростанции, котельные) могут легко подстраиваться под эти колебания спроса на энергию, регулируя расход топлива. Регулировать же подачу возобновляемых источников энергии (кроме биотоплива и гидроэнергии) невозможно. Именно по этой причине использование угля, нефти и газа стало традиционной энергетикой в XX столетии. Решить проблему регулирования энергопотока может функционирование мощных аккумуляторов энергии, которые бы накапливали уже преобразованную энергию и выдавали ее потребителю по мере необходимости.

Качество источника энергии – доля энергии, которая может быть преобразована в механическую работу. Распространенные и перспективные источники имеют следующие ориентировочные значения этого критерия: тепло сжигаемого топлива 30 - 45 %; электроэнергия – 95 %; энергия ветра – 30 %, гидроэнергия – 80 %; древесная масса – 35 %; тепловая энергия Солнца – 35 %; электрическая энергия Солнца – 10 - 5 %. Как видно, из возобновляемых источников самой эффективной по этому параметру является гидроэнергия.

Плотность энергии – это количество производимой энергии на 1 м² занимаемой энергоустановкой площади. Возобновляемые источники характеризуются низкой плотностью энергии – около 1 кВт/м². Для невозобновляемых источников она намного выше: паровых котлов – 100 кВт/м², ядерных реакторов – 1000 кВт/м². Из-за низкой плотности энергии возобновляемые источники перспективнее внедрять в сельской местности, где имеется больше свободных площадей.

Воздействие на окружающую среду (механическое и тепловое загрязнение) возобновляемых источников минимально, так как они используют потоки энергии, уже существующие в окружающем пространстве. По экологическим показателям возобновляемые источники намного эффективнее традиционных топлив.

Безопасность – это уровень процессов и явлений, воздействующих на человека без отрицательных последствий. Использование энергии возобновляемых источников намного безопаснее, чем, например, использование энергии органических топлив или радиоактивных элементов. Это обусловлено, прежде всего, низкой плотностью энергии возобновляемых источников.

1.3. Классификация возобновляемых источников энергии

Источники возобновляемой энергии:

- энергия ветра;
- гидроэнергия;
- энергия приливов и отливов;
- энергия волн;
- энергия солнечного света;
- геотермальная энергия;
- биоэнергетика.

Возобновляемая энергетика востребована к жизни двумя обстоятельствами:

- зависимостью большинства развитых стран от импорта топлива (в основном нефти);
- существенным отрицательным влиянием традиционной (топливной) энергетики на среду обитания человека и дикую природу.

Обеспеченность энергоресурсами является одним из основных показателей энергетической безопасности страны. Степень зависимости от импорта достаточно полно характеризуется показателем самообеспеченности ($K_{\text{соб}}$), который равен отношению энергии производимой в стране, к энергии, потребляемой в стране. Если этот коэффициент меньше единицы – страна зависит от импорта, если больше единицы – страна импортирует энергоресурсы. В таблице 1.1 приведены источники энергии, используемые человеком.

Таблица 1.1 – Источники энергии, используемые человеком

Способ использования	Энергия, используемая человеком	Первоначальный природный источник
Солнечные электростанции	Электромагнитное излучение Солнца	Солнечный ядерный синтез
Ветряные электростанции	Кинетическая энергия ветра	Солнечный ядерный синтез, движения Земли и Луны
Традиционные ГЭС Малые ГЭС	Движение воды в реках	Солнечный ядерный синтез
Приливные электростанции	Движение воды в океанах и морях	Движения Земли и Луны
Волновые электростанции	Энергия волн морей и океанов	Солнечный ядерный синтез, движения Земли и Луны
Геотермальные станции	Тепловая энергия горячих источников планеты	Внутренняя энергия Земли
Сжигание ископаемого топлива	Химическая энергия ископаемого топлива	Солнечный ядерный синтез в прошлом
Сжигание возобновляемого топлива традиционное нетрадиционное	Химическая энергия возобновляемого топлива	Солнечный ядерный синтез
Атомные электростанции	Тепло, выделяемое при ядерном распаде	Ядерный распад
Солнечные электростанции	Электромагнитное излучение Солнца	Солнечный ядерный синтез
Ветряные электростанции	Кинетическая энергия ветра	Солнечный ядерный синтез, движения Земли и Луны
Традиционные ГЭС Малые ГЭС	Движение воды в реках	Солнечный ядерный синтез
Приливные электростанции	Движение воды в океанах и морях	Движения Земли и Луны
Волновые электростанции	Энергия волн морей и океанов	Солнечный ядерный синтез, Движения Земли и Луны
Геотермальные станции	Тепловая энергия горячих источников планеты	Внутренняя энергия Земли
Сжигание ископаемого топлива	Химическая энергия ископаемого топлива	Солнечный ядерный синтез в прошлом
Сжигание возобновляемого топлива традиционное нетрадиционное	Химическая энергия возобновляемого топлива	Солнечный ядерный синтез
Атомные электростанции	Тепло, выделяемое при ядерном распаде	Ядерный распад

В таблицах 1.2 и 1.3 приводится качественная оценка истощаемых и возобновляемых топливных ресурсов, их достоинства и недостатки.

Таблица 1.2 – Качественная оценка истощаемых топливных ресурсов (уголь, нефть, газ, уран)

Преимущества	Недостатки
•высокая плотность энергии; •высокая степень освоения технологий от разведки запасов до потребления; •ориентация мирового хозяйства на использование ресурсов в качестве топлива и сырья; •развитая инфраструктура на всех стадиях: добыча, транспортировка, переработка и использование; •развитая структура подготовки научных и эксплуатационных кадров; •развитая структура производства оборудования и приборов; •развитая инфраструктура научных учреждений.	•истощаемость ресурсов; •глобальное влияние на изменение климата вследствие эмиссии CO₂ и теплового загрязнения; •загрязнение среды обитания человека отходами производства (жидкие, газообразные, твердые); •неравномерность распределения по земному шару – источник нестабильности; •угроза загрязнений среды обитания человека и пожаров при транспортировке и хранении; •потенциальная угроза аварий на АЭС с выбросом радиоактивных веществ; •изменение структуры земной коры.

Таблица 1.3 – Качественная оценка возобновляемых топливных ресурсов

Преимущества	Недостатки
•неистощаемость; •отсутствие дополнительной эмиссии углекислого газа; •отсутствие вредных выбросов; •сохранение теплового баланса планеты; •доступность использования (солнце, ветер) ; •возможность одновременного использования земли для хозяйственных и энергетических целей (ветростанции, тепловые насосы, бесплотинные ГЭС) ; •возможность использования земель, не приспособленных для хозяйственных целей (солнечные, ветровые установки и станции); •отсутствие потребности в воде (солнечные, ветровые электростанции).	•низкая плотность энергии; •необходимость использования концентраторов; •непостоянный, вероятностный характер поступления энергии (солнце, ветер, в меньшей степени ГЭС) ; •необходимость аккумуляирования •необходимость резервирования (солнечная, ветровая) ; •неразвитость промышленности и отсутствие инфраструктуры (для России) ; •затопление плодородных земель (большие ГЭС) ; •локальное изменение климата (большие ГЭС).

Ветроэнергетика.

В последнее время многие страны расширяют использование ветроэнергетических установок (ВЭУ). Больше всего их используют в странах

Западной Европы (Дания, Германия, Великобритания, Нидерланды), в США, в Индии, Китае. Дания получает 25 % энергии из ветра. В качестве оборудования используются автономные ветрогенераторы; ветрогенераторы, работающие параллельно с сетью.

Биотопливо.

Жидкое: биодизель, биоэтанол.

Твёрдое: древесные отходы и биомасса (щепа, гранулы (топливные пеллеты) из древесины, лузги, соломы и т. п., топливные брикеты).

Газообразное: биогаз, синтез-газ.

Гелиоэнергетика.

Солнечные электростанции (СЭС) работают более чем в 80-ти странах.

Солнечный коллектор, в том числе солнечный водонагреватель, используется как для нагрева воды для отопления, так и для производства электроэнергии. Также используются фотоэлектрические элементы и наномантенны.

Альтернативная гидроэнергетика.

Приливные электростанции (ПЭС) пока имеются лишь в нескольких странах – Франции, Великобритании, Канаде, России, Индии, Китае. Используются:

- волновые электростанции;
- мини- и микроГЭС (устанавливаются в основном на малых реках);
- аэроГЭС (конденсация влаги из атмосферы, в том числе из облаков) – работают опытные установки.

Геотермальная энергетика.

Используется как для нагрева воды для отопления, так и для производства электроэнергии. На геотермальных электростанциях вырабатывают немалую часть электроэнергии в странах Центральной Америки, на Филиппинах, в Исландии. Исландия также является примером страны, где термальные воды широко используются для обогрева, отопления. Используются тепловые электростанции (принцип отбора высокотемпературных грунтовых вод и

использования их в цикле) и грунтовые теплообменники (принцип отбора тепла от грунта посредством теплообмена).

Грозовая энергетика.

Грозовая энергетика – это способ использования энергии путём поимки и перенаправления энергии молний в электросеть. Компания Alternative Energy Holdings 11 октября 2006 года объявила о создании прототипа модели, которая может использовать энергию молнии. Предполагалось, что эта энергия окажется значительно дешевле энергии, полученной с помощью современных источников, окупаться такая установка будет за 4 - 7 лет. В настоящее время широкого применения не имеет.

1.4. Вопросы и задания для самопроверки и контроля усвоения знаний

Вопросы для самопроверки

1. Возобновляемые источники энергии.
2. Невозобновляемые источники энергии.
3. Возобновляемая энергетика.
4. Традиционные источники энергии.
5. Альтернативные источники энергии.
6. Условное топливо.
7. Особенности использования возобновляемых источников энергии.
8. Регулируемость энергопотока.
9. Качество источника энергии.
10. Плотность энергии.
11. Воздействие на окружающую среду традиционных источников энергии.
12. Потенциальные запасы источников энергии на Земле.
13. Классификация возобновляемых источников энергии.
14. Источники энергии, используемые человеком.
15. Оценка истощаемых топливных ресурсов.

16. Оценка возобновляемых топливных ресурсов.

Задания для самопроверки

Для закрепления материала и самопроверки полученных знаний рекомендуется выполнить следующие расчёты.

Расчёт потребления электроэнергии в квартире (в доме).

Для проведения расчета необходимо определить мощность бытовых приборов и их количество. Далее, необходимо выполнить оценку потребляемого количества энергии. Для каждого прибора необходимо указать примерное время работы. В качестве единицы времени использовать час. Расчёт проводить за месяц. Для контрольной сверки необходимо использовать данные расчётной книжки по коммунальным платежам (показания электрического счётчика).

Проанализировав электроприборы, для расчета потребления электроэнергии в квартире необходимо составить ориентировочную таблицу потребителей. В таблицу вводятся данные по потребителям в квартире, количество ламп, электроприборов и их работу за сутки и месяц. В таблице (ниже) указаны мощности приборов.

Потребление электроэнергии всех потребителей в таблице указано на основе тестирования и паспортных данных электроприборов.

Суммируя расход электроприемников применяем формулу:

$$W = P \cdot t \cdot T, \quad (1.1)$$

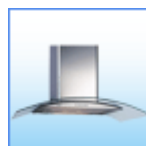
где W – расход электроэнергии (кВт, мощность); t – время работы бытового прибора в день, ч; T – время работы.

К сожалению, с точностью подсчитать расход бытовой электроэнергии очень трудно, так как некоторые приборы могут задействовать разные режимы работы с различными нагрузками, например, стиральная машина или холодильник.

Необходимо проставить данные, касающиеся количества и времени работы приборов, затем по формулам можно провести расчеты, по затратам

энергии. Сводная таблица (табл. 1.4) мощности и необходимых для работы и примерное время работы (для индивидуальных расчётов необходимо указать самостоятельно) отдельных бытовых приборов.

Таблица 1.4 – Таблица расхода электроэнергии бытовыми приборами

Бытовой прибор		Время работы (часов)	Потребление электроэнергии (кВт·ч)
	Телевизор	3 часа	0,5 кВт·ч
	Компьютер	12 часов	4 кВт·ч
	Утюг	2 часа	1 кВт·ч
	Микроволновая печь	1 час	1 кВт·ч
	Пылесос	2 часа	1 кВт·ч
	Мультиварка, пароварка	6 часов	1 кВт·ч
	«Вытяжка»	8 часов	1 кВт·ч
	Обогреватель	12 часов	6 кВт·ч
	Вытяжной вентилятор	12 часов	0.5 кВт·ч

Продолжение таблицы 1.4

	Фен	1 час	0.5 кВт·ч
	Домашний тепловентилятор	2 часа	5 кВт·ч
	Электроплита	4 часа	3 кВт·ч
	Электробритва	1 час	0.05 кВт·ч
	Водонагреватель	1 час (60-70 л)	1 кВт·ч
	Посудомоечная машина	1 час	2 кВт·ч
	Дрель	2 часа	0.5 кВт·ч
	Стиральная машина	2 часа	2 кВт·ч
	Газонокосилка	2 часа	1 кВт·ч
	Холодильник	24 часа	1 кВт·ч
	Морозильная камера	24 часа	1.2 кВт·ч

Окончание таблицы 1.4

	Электрический чайник	1 час	1 кВт·ч
	Лампочка мощностью 100 Вт	12 часов	1 кВт·ч
	Люминесцентная лампа (дневного света) 40 Вт	24 часа	1 кВт·ч

Для экономного пользования электроэнергией существуют калькуляторы энергопотребления, при помощи которых автоматически рассчитывается расход электроэнергии. Такая программа помогает оптимизировать расходы на электроснабжение, а также поможет тем, кто собирается применить автономную систему энергоснабжения и рассчитать ее мощность.

В итоге расчёта необходимо указать рассчитанное количество потребляемой электроэнергии в месяц и провести сравнение с показаниями электрического счётчика, внесёнными в расчётную книжку коммунальных платежей.

2. ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА

2.1. Солнечная энергетика

Солнечная энергия – это энергия, поступающая на Землю от Солнца в виде радиации и света и являющаяся основой жизни на планете. Из всех возобновляемых источников экологически чистая солнечная энергия наиболее доступна. Использование солнечной энергии эффективно на большинстве участков поверхности Земли.

Солнечная энергетика – техника и технологии, использующие солнечную энергию для получения электрической или тепловой энергии в любом удобном для применения в виде. Солнечная энергетика – одна из перспективных и прогрессирующих направлений использования энергии возобновляемых источников, преимуществом которого является возможность непосредственного преобразования энергии солнечной радиации в электрическую энергию и получение тепловой энергии.

Солнце – гигантское светило, имеющее диаметр 1392 тыс. км. Его масса ($2 \cdot 10^{30}$ кг) в 333 тыс. раз превышает массу Земли, а объём в 1,3 млн раз больше объёма Земли.

Химический состав Солнца: 81,76 % водорода, 18,14 % гелия и 0,1 % азота. Средняя плотность вещества Солнца равна 1400 кг/м^3 . Внутри Солнца происходят термоядерные реакции превращения водорода в гелий и каждую секунду 4 млрд кг материи преобразуется в энергию, излучаемую Солнцем в космическое пространство в виде электромагнитных волн различной длины.

Солнечная радиация – это неисчерпаемый возобновляемый источник экологически чистой энергии.

Среднегодовое количество солнечной энергии, поступающей за 1 день на 1 м^2 поверхности Земли, колеблется от 7, 2 МДж/ м^2 на севере до 21, 4 МДж/ м^2 в пустынях и тропиках.

Солнечная энергия может быть преобразована в тепловую, механическую и электрическую энергию, использована в химических и биологических процессах.

Солнечная энергия преобразуется в электрическую на солнечных электростанциях (СЭС), имеющих оборудование, предназначенное для улавливания солнечной энергии и ее последовательного преобразования в теплоту и электроэнергию. Для эффективной работы СЭС требуется аккумулятор теплоты и система автоматического управления.

Улавливание и преобразование солнечной энергии в теплоту осуществляется с помощью оптической системы отражателей и приемника сконцентрированной солнечной энергии, используемой для получения водяного пара или нагрева газообразного или жидкометаллического теплоносителя (рабочего тела).

Для размещения масштабных солнечных электростанций лучше всего подходят засушливые и пустынные зоны. Но использование автономных солнечных панелей и их комплексов возможно во всех широтах.

На поверхность самых больших пустынь мира общей площадью 20 млн км² (площадь Сахары 7 млн км²) за год поступает около $5 \cdot 10^{16}$ кВт·ч солнечной энергии. При эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую, равной 10 %, достаточно использовать всего 1 % территории пустынных зон для размещения СЭС, чтобы обеспечить современный мировой уровень энергопотребления.

Солнечное излучение - один из наиболее перспективных источников энергии будущего. В ясную погоду на 1 м² земной поверхности в среднем падает 1000 Вт световой энергии солнца. Солнечная энергия поступает на Землю неравномерно: в одной местности солнце светит 320 - 350 дней в году, в другой солнечные дни – редкость. Исходя из этого, прежде чем ставить солнечные батареи с целью выработки электричества, необходимо рассчитать эффективность применения данного метода в конкретных климатических условиях.

2.2. Ресурсы солнечной энергии

Солнце каждую секунду излучает 88,1024 кал эквивалентно $1,25 \cdot 10^{16}$ т у.т. или $1,02 \cdot 10^{20}$ кВт·ч. На Землю попадает только часть этой энергии – около $1 \cdot 10^{18}$ кВт·ч ($123 \cdot 10^{12}$ т у.п.) в год, что примерно в 100 раз превышает энергоресурсы всех разведанных горючих ископаемых Земли.

Величина энергии солнечной радиации в значительной степени зависит от астрономических и метеорологических факторов – высоты Солнца над горизонтом, продолжительности дня, облачности, влажности и прозрачности атмосферы. Плотность солнечного потока в космосе примерно равна $1,35$ кВт/м². Максимальная интенсивность солнечного излучения на поверхности Земли равна 1 кВт/м², однако продолжительность его составляет всего 1 - 2 часа в летние дни. Средняя интенсивность солнечного излучения в большинстве районов земного шара составляет 200 - 250 Вт/м².

2.3. Основные направления использования солнечной энергии

В последнее время солнечная энергетика достигла значительного развития благодаря созданию и внедрению новейших технологий, обеспечивающих повышение эффективности и снижение стоимости производства электрической и тепловой энергии. Важную роль играют эффективные методы стимулирования солнечной энергетики, которые введены во многих странах мира. Преимущества энергии солнечного излучения, как энергетического ресурса по сравнению с органическими видами топлива, заключаются в практической неисчерпаемости источника энергии, возможности использования энергии солнечной радиации на большинстве участков поверхности Земли и возможности непосредственного преобразования энергии солнечной радиации в тепловую и электрическую энергию.

Солнечные энергетические системы – это энергетические установки, которые превращают энергию солнечной радиации в другие виды энергии.

В зависимости от метода преобразования солнечные энергетические системы делятся на две основные группы: активные и пассивные:

– **активные солнечные технологии** основаны на использовании технологий преобразования энергии солнечной радиации в электрическую энергию и на получение тепловой энергии. В активных энергосистемах солнечная энергия воспринимается, накапливается и транспортируется в специальных устройствах;

– **пассивные солнечные технологии** основаны на выборе и использовании материалов с эффективными тепловыми характеристиками, выгодном расположении зданий относительно положения Солнца и прочее. В пассивных системах приёмником служат сами нагреваемые объекты.

В современной солнечной энергетике можно выделить два основных практических направления использования энергии солнечной радиации:

1) превращение солнечной энергии в электрическую энергию, в том числе:

– фотоэлектрический метод преобразования (электромагнитное излучение оптического диапазона Солнца преобразуется в электроэнергию постоянного тока);

– термодинамический метод преобразования (сконцентрированная солнечная энергия используется для получения пара, которая, вращая турбогенератор, производящий электроэнергию);

2) превращение солнечной энергии в тепловую энергию, в том числе:

– отопление;

– горячее водоснабжение;

– технологические процессы.

Наиболее распространенным методом получения электрической энергии является применение фотоэлектрического метода прямого солнечного преобразования энергии с использованием фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), которые в различных источниках называют фотоэлектрическими панелями (ФП), или солнечными элементами (СЭ), или фотоэлементами (ФЭ).

Преобразование солнечной энергии осуществляется двумя способами:

– **фотоэлектрическим** (прямое преобразование световой энергии в электрическую);

– **фототермическим** (преобразование световой энергии в тепловую, а затем, при необходимости, в электрическую).

2.4. Фотоэлектрический способ

Принцип действия солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ)

состоит в прямом преобразовании солнечного света в постоянный электрический ток. Энергия может использоваться как напрямую, так и запасаться в аккумуляторных батареях. Если требуется получить 220 Вт переменного тока, нужно использовать преобразователи - инверторы.

Солнечные батареи.

Энергия солнечной радиации может быть преобразована в постоянный электрический ток посредством солнечных батарей – устройств, состоящих из тонких пленок кремния или других полупроводниковых материалов. Преимущество фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) обусловлено отсутствием подвижных частей, их высокой надежностью и стабильностью. При этом срок их службы практически не ограничен. Они имеют малую массу, отличаются простотой обслуживания, эффективным использованием как прямой, так и рассеянной солнечной радиации. Модульный тип конструкций позволяет создавать установки практически любой мощности и делает их весьма перспективными. Недостатком ФЭП является высокая стоимость и низкий КПД (в настоящее время практически 10 - 12 %).

Фотоэлектрический эффект возникает в солнечном элементе при его освещении светом в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. В солнечном элементе из полупроводникового кремния толщиной 50 мкм поглощаются фотоны, и их энергия преобразуется в электрическую посредством р-п-соединения. На рисунке 2.1 представлена система автономного электроснабжения дома с фотоэлектрическим преобразователем энергии.

Солнечные батареи сохраняют работоспособность:

- при диапазоне температур от -50 до $+75$ °С;
- атмосферном давлении 84 - 106,7 кПа;

- относительной влажности до 100 %;
- интенсивности дождя до 5 мм/мин;
- снеговой, ветровой нагрузке до 2000 Па.

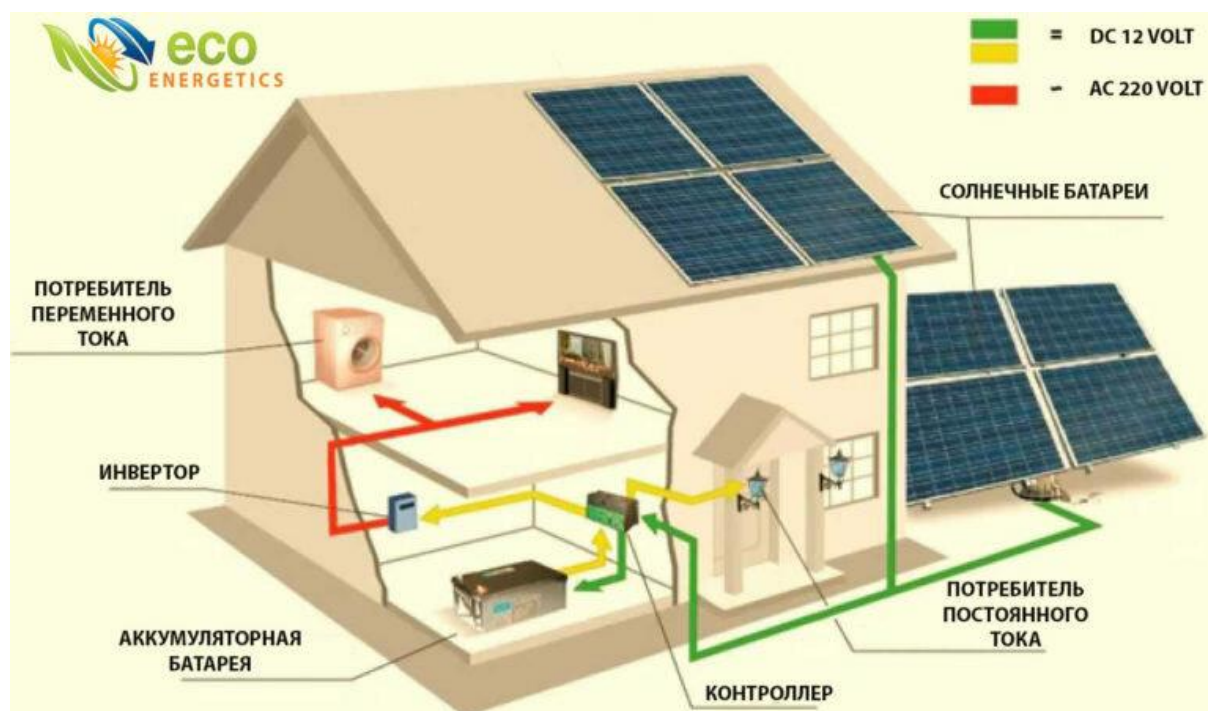


Рисунок 2.1 – Система с фотоэлектрическим преобразователем энергии

Автономные фотоэлектрические преобразователи предназначены для автономного энергоснабжения объекта – объектов, удаленных от основных линий электропередачи (в труднодоступных местах, куда затруднена или экономически невыгодна прокладка линий). Их мощность колеблется в пределах 0,01 - 100 кВт.

Фотоэлектрические станции, подключенные к электрическим сетям, отдают выработанную энергию в сеть, откуда она распределяется потребителям. Такие системы, установленные в городе, могут обеспечивать электричеством здание и компенсировать энергодефицит при пиковом энергопотреблении в полуденное время. Их мощность достигает нескольких МВт.

Резервные фотоэлектрические преобразователи подключаются к сетям централизованного электроснабжения и в случае отключения электроэнергии.

Принцип преобразования солнечной энергии в электричество.

В основе этого способа получения электричества лежит **солнечный свет**, (солнечное излучение, солнечная радиация, световой поток или поток элементарных частиц – фотонов). Так же как и движущийся воздушный поток, световой поток обладает энергией. На расстоянии в одну астрономическую единицу (149 597 870,66 км) от Солнца, на котором и располагается наша Земля, плотность потока солнечного излучения составляет 1360 Вт/м^2 . А пройдя через земную атмосферу, поток теряет свою интенсивность из-за отражения и поглощения, и у поверхности Земли уже равен $\sim 1000 \text{ Вт/м}^2$. Здесь и начинается работа по использованию энергии светового потока и преобразовании её в необходимую в быту энергию – электрическую (рисунок 2.2).

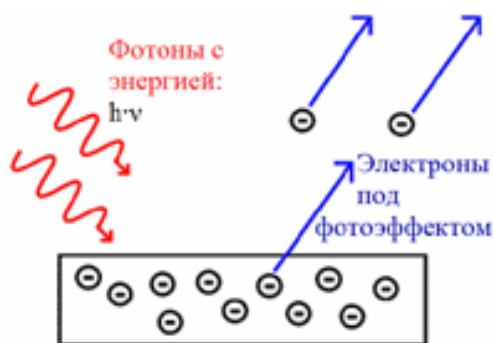


Рисунок 2.2 – Принцип преобразования солнечной энергии в электричество

Преобразование происходит на фотоэлектрическом преобразователе (ФЭП), который вырезан из кремниевого цилиндра (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Фотоэлектрический преобразователь

Фотоэффект – это явление вырывания электронов из атомов вещества под воздействием света.

В 1900 г. немецкий физик Макс Планк высказал гипотезу: свет излучается и поглощается отдельными порциями – **квантами** (или фотонами). Энергия каждого фотона определяется формулой $E = h \cdot \nu$, где h – постоянная Планка, равная $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, ν – частота фотона. Гипотеза Планка объяснила явление фотоэффекта, открытого в 1887 г. немецким ученым Генрихом Герцем и изученного экспериментально русским ученым Александром Григорьевичем Столетовым, который, путем обобщения полученных результатов, установил следующие **три закона фотоэффекта**:

1. При неизменном спектральном составе света сила тока насыщения прямо пропорциональна падающему на катод световому потоку.

2. Начальная кинетическая энергия вырванных светом электронов линейно растет с ростом частоты света и не зависит от его интенсивности.

3. Фотоэффект не возникает, если частота света меньше некоторой, характерной для каждого вещества, величины, называемой красной границей.

Теорию фотоэффекта развил немецкий ученый Альберт Эйнштейн в 1905 году, объяснив законы фотоэффекта с помощью квантовой теории света. Исходя из закона сохранения и превращения энергии, Эйнштейн записал уравнение для энергетического баланса при фотоэффекте:

$$h \cdot \nu = A + \frac{m \cdot v^2}{2}$$

где $h \cdot \nu$ – энергия фотона; A – работа выхода – минимальная работа, которую нужно совершить для выхода электрона из атома вещества.

Таким образом, получается, что частица света – фотон поглощается электроном, который приобретает дополнительную кинетическую энергию $\frac{1}{2}m \cdot v^2$ и совершает работу выхода из атома, что дает ему возможность свободно двигаться. А направленное движение электрических зарядов и есть электрический ток, или, правильнее говоря, в веществе возникает

электродвижущая сила – ЭДС. За уравнение для фотоэффекта в 1921 году Эйнштейну была присуждена Нобелевская премия.

Основным элементом солнечной батареи является ФЭП (полупроводниковый фотоэлемент), в котором осуществляется вентильный фотоэффект (ВФЭ). Он заключается в возникновении электродвижущей силы в р-п переходе под действием света. ВФЭ, или фотоэффекта в запирающем слое – явления, при котором электроны покидают пределы тела, переходя через поверхность раздела в другое твёрдое тело (полупроводник).

Полупроводники – это материалы, которые по своей удельной проводимости занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками и отличаются от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и различных видов излучения. Полупроводниками являются вещества, ширина запрещённой зоны которых составляет порядка нескольких электрон-вольт [эВ]. Ширина запрещенной зоны – это разность энергий электронов в кристалле полупроводника между нижним уровнем зоны проводимости и верхним уровнем валентной зоны полупроводника.

К числу полупроводников относятся многие химические элементы: германий, кремний, селен, теллур, мышьяк и другие, огромное количество сплавов и химических соединений (арсенид галлия и др.) Самым распространённым в природе полупроводником является кремний, составляющий около 30 % земной коры.

Кремний является основным материалом для солнечной энергетики благодаря его широкому распространению в природе, лёгкости, подходящей ширине для поглощения энергии солнечного света. Сегодня на рынке коммерческих систем наземного применения наиболее заметны кристаллические кремниевые (около 90 % мирового рынка) и тонкопленочные солнечные элементы (около 10 % рынка).

Ключевым элементом конструкции кристаллических кремниевых фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) является р-п-переход. В

упрощенном виде ФЭП можно представить в виде "бутерброда": он состоит из слоев кремния, легированных для получения р-п-перехода (рис. 2.4).

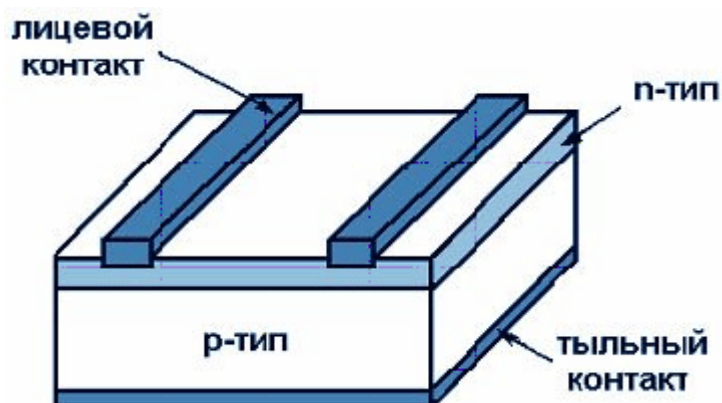


Рисунок 2.4 – Кремниевая пластина

Одним из главных свойств р-п-перехода является его способность быть энергетическим барьером для носителей тока, то есть пропускать их только в одном направлении. Именно на этом эффекте и базируется генерация электрического тока в солнечных элементах. Излучение, попадающее на поверхность элемента, генерирует в объёме полупроводника носители заряда с разным знаком – электроны (n) и «дырки» (p). Благодаря своим свойствам р-п-переход «разделяет» их, пропуская каждый тип только на "свою" половину, и хаотическидвигающиеся в объёме элемента носители заряда оказываются по разные стороны барьера, после чего могут быть переданы во внешнюю цепь для создания напряжения на нагрузке и электрического тока в замкнутой цепи, подключенной к солнечному элементу.

2.5. Фототермический способ

Использование солнечной энергии для получения тепловой энергии имеет древние традиции и очень широкий спектр применения. В результате разработки и применения современных технологий была создана новая отрасль – тепловая гелиоэнергетика, основой которой является использование устройств и оборудования, превращающих солнечную радиацию в тепловую энергию.

Тепловые процессы, использующие солнечную энергию: горячее водоснабжение и отопление, холодоснабжение, кондиционирование воздуха, получение пресной воды, сушка материалов и изделий и ряд других. Для реализации этих процессов разработана широкая гамма необходимых устройств и оборудования, производится их серийное производство.

Основным элементом гелиосистемы является солнечный коллектор, в котором происходит превращение энергии солнечной радиации в тепловую. Поэтому объемы внедрения таких систем высчитываются в квадратных метрах солнечных коллекторов, расчет ведется по общей площади и, при сравнительных расчетах между отдельными странами, по удельным величинам на одного жителя.

Тепловую энергию солнечного излучения можно использовать в жилых, общественных и промышленных зданиях, для сушки разнообразных продуктов и материалов, для использования в технологических процессах промышленности и сельского хозяйства. Применение в системах теплоснабжения оборудования солнечной тепловой энергетики является положительным с точки зрения экологии – количество вредных выбросов в атмосферу меньше величины, которая образовывалась бы при сгорании сэкономленного органического топлива.

В настоящее время солнечный водонагрев стал нормой практически во всех странах с теплым климатом, а разные меры по поощрению для улучшения состояния окружающей среды способствуют установке солнечных водонагревателей и во многих странах с более холодным климатом.

США эксплуатирует 10 млн м^2 коллекторов, что дает годовую экономию 1,5 млн т топлива. В Европе ежегодно вводится в действие 3 млн м^2 плоских коллекторов, что эквивалентно мощности 1,5 тыс. МВт. В Китае еще в 2009 году было установлено 140 млн м^2 солнечных коллекторов, а в 2020 году было установлено 300 млн м^2 . Базовые коллекторы в Китае дешевле западных на 80 %. Широко применяют солнечные водонагреватели в Израиле, где 95 % квартир оборудованы подобными системами. Испания, кроме мощных

фотоэлектрических систем, имеет большое количество солнечных водонагревательных систем. Многие усилия прикладывают к этому движению и в Австралии, где действуют разные стимулы и постановления. Основным способом использования солнечной энергии в Турции – горячий водонагрев плоскими солнечными водонагревателями.

Эффективно использовать солнечные водонагреватели могут не только домашние хозяйства. В промышленности также выгодно использовать нагрев воды солнечной энергией. Таким образом уменьшается зависимость от роста цен на энергоносители – солнечный водонагреватель дает быструю и существенную экономию энергии. Для обеспечения высокотемпературных процессов на производствах, использующих солнечные концентраторы, которые могут выдавать температуру в несколько сот градусов.

Наглядным примером реализации коллекторов является система ежедневного обеспечения горячей водой 24-этажного офиса Кук Джей в Сеуле (Южная Корея). Солнце обеспечивает 85 % энергии для нагрева воды.

2.5.1. Классификация и принцип действия солнечных коллекторов

Основным элементом систем активного теплоснабжения является солнечный коллектор. Солнечный коллектор – установка, использующая энергию солнечной радиации для нужд отопления и горячего водоснабжения. Различают несколько типов солнечных коллекторов: плоские, с концентраторами, промышленные, вакуумные и комбинированные. Для использования солнечного коллектора в условиях отрицательных температур перспективным является вакуумный коллектор, имеющий высокий КПД.

Солнечные коллекторы классифицируются по следующим признакам:

- по назначению – для горячего водоснабжения, отопления;
- по виду теплоносителя – жидкостные и воздушные;
- по сроку эксплуатации – сезонные и круглогодичные;
- по техническим решениям – одно-, двух- и многоконтурные.

В современных низкотемпературных системах теплоснабжения (до 100 °С), применяемых для превращения солнечной энергии в низкопотенциальную теплоту для горячего водоснабжения, отопления и других тепловых процессов, как правило, используют так называемый **плоский солнечный коллектор**, представляющий собой гелиопринимающий абсорбер, по которому циркулирует теплоноситель (рис. 2.5, 2.6). Солнечные коллекторы теплоизолированные с тыльной и остекленные с лицевой стороны. Эксплуатационные расходы на работу системы горячего водоснабжения минимальны, ведь электрическая энергия тратится только на работу циркуляционного насоса. Например, при необходимости общественного учреждения в 650 л/сутки горячей воды, годовая выработка тепловой энергии плоскими солнечными коллекторами составляет 8,7 МВт·ч (7,5 Гкал).



Рисунок 2.5 – Устройство солнечного коллектора

Под влиянием солнечного излучения (инфракрасной составляющей) в поглощающей панели происходит превращение солнечной энергии в тепловую, в результате чего жидкий теплоноситель, прогоняемый через трубки, отбирает полученную теплоту. Прозрачная изоляция и теплоизоляционный слой уменьшают потери тепловой энергии.

Простые в изготовлении солнечные коллекторы, как правило, используются в небольших водонагревательных установках. В больших установках с коллекторами большой площади теплоприемную пластину и раму со стеклом можно сделать независимыми друг от друга и, объединив эти элементы с помощью конструкционного материала, ввести их в структуру дома в виде элементов стены или крыши.



Рисунок 2.6 – Плоские солнечные коллекторы на крыше дома

В идеальном коллекторе всё падающее на него излучение должно превращаться в теплоту. На практике полезная теплота всегда меньше падающей солнечной радиации. Это обусловлено разными факторами и подробный анализ тепловых характеристик плоского коллектора сложен.

Одним из путей улучшения характеристик плоских коллекторов является создание вакуума между теплоприемной поверхностью и прозрачной изоляцией для уменьшения тепловых потерь. Чтобы при этом предотвратить разрушение прозрачной изоляции под действием атмосферного давления, между теплоприемником и стеклом можно вставить короткий распорный стержень. Такие же стержни можно использовать для закрепления теплоприемника относительно задней стенки на некотором расстоянии. Вакуум является лучшей изоляцией по сравнению с любым материалом хоть какой фактически вероятной

толщины. На рисунке 2.7 представлен принцип работы вакуумного солнечного коллектора.

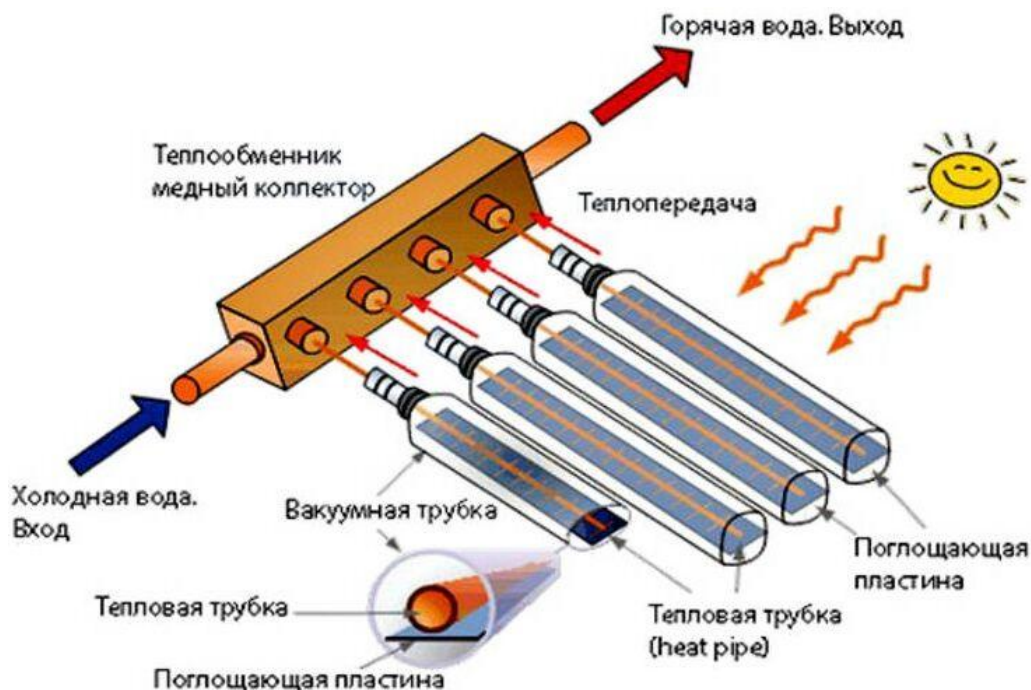


Рисунок 2.7 – Принцип работы вакуумного солнечного коллектора

За счет низкой степени черноты поглотительной поверхности уменьшаются потери излучения, а благодаря наличию вакуума между тепловоспринимающей стенкой и прозрачной изоляцией сводятся к минимуму конвективные утраты.

Основным конструктивным элементом солнечной установки является коллектор, в котором происходит улавливание солнечной энергии, её преобразование в теплоту и нагрев воды, воздуха или какого либо другого теплоносителя.

Различают два типа солнечных коллекторов – плоские (рис. 2.8) и фокусирующие (рис. 2.9).

В плоских коллекторах солнечная энергия поглощается без концентрации, а в фокусирующих – с концентрацией, т.е. с увеличением плотности поступающего потока радиации. Наиболее распространенным типом коллекторов в низкотемпературных гелиоустановках является плоский коллектор солнечной энергии (КСЭ). Его работа основана на принципе «горячего ящика». Для того чтобы изготовить плоский КСЭ, необходима прежде

всего лучепоглощающая поверхность, имеющая надежный контакт с рядом труб или каналов для движения нагреваемого теплоносителя. Совокупность плоской лучепоглощающей поверхности и труб (каналов) для теплоносителя образует единый конструктивный элемент – абсорбер. Для лучшего поглощения солнечной энергии верхняя поверхность абсорбера должна быть окрашена в черный цвет или должна иметь специальное поглощающее покрытие. Максимальная температура, до которой можно нагреть теплоноситель в плоском коллекторе, не превышает 100 °С.

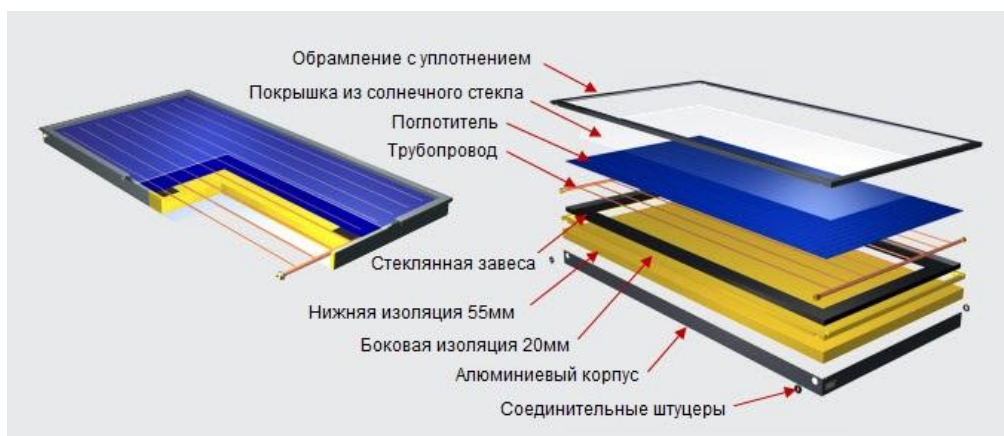


Рисунок 2.8 – Плоский солнечный коллектор

Абсорбер плоского коллектора солнечной энергии, как правило, изготавливается из металла с высокой теплопроводимостью, а именно из стали, алюминия и даже из меди.



Рисунок 2.9 – Фокусирующие солнечные коллекторы

При использовании концентраторов, т. е. оптических устройств типа зеркал или линз, достигается повышение плотности потока солнечной энергии. Это имеет место в фокусирующих коллекторах солнечной энергии, требующих специального механизма для слежения за Солнцем. Зеркала – плоские, параболические или парабо-цилиндрические – изготавливают из тонкого металлического листа или фольги или других материалов с высокой отражающей способностью; линзы – из стекла или пластмасс. Фокусирующие коллекторы обычно применяют там, где требуются высокие температуры (солнечные электростанции, печи, кухни и т. п. В системах теплоснабжения зданий они как правило не используются). На рисунке 2.10 представлена схема работы комплекса нагрева воды с помощью солнечного коллектора.

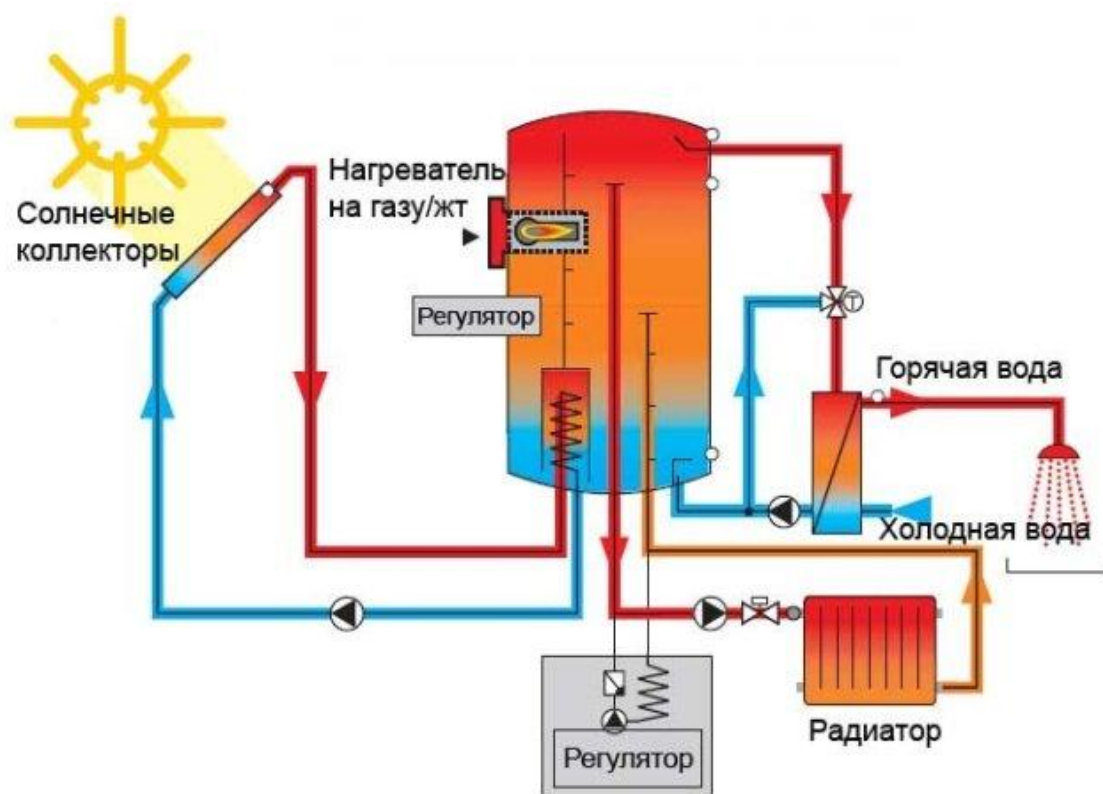


Рисунок 2.10 – Схема работы комплекса нагрева воды с помощью солнечного коллектора

Поглощает радиацию в солнечном коллекторе специальная поверхность, соединенная с медными трубками, по которым циркулирует теплоноситель. Теплоноситель, проходя по всей площади коллектора, нагревается и попадает в резервуар, где отдает тепло через теплообменник в бак-аккумулятор тепла.

Коллекторы и трубопроводы имеют хорошую теплоизоляцию, уменьшающие потери энергии. Вся эта конструкция находится в стеклянных вакуумированных трубках. Стекло обладает высокой степенью химической стойкости, теплостойкости и ударной прочности. В кольцеобразном пространстве между внутренней и наружной трубами создается вакуум для эффективного уменьшения потери тепла. Такие трубки функционируют в пасмурную погоду и при отрицательной температуре, они преобразуют прямые и рассеянные солнечные лучи в тепло. Благодаря этому коллектор сохраняет до 95% тепловой энергии.

Солнечный коллектор позволяет поддерживать положительную температуру в здании зимой и удовлетворять потребности в горячей воде летом, а кроме того экономить электроэнергию. Однако минимальная мощность гелиосистемы должна быть не ниже 100 Вт/м^2 . В зависимости от солнечной радиации и температуры окружающей среды КПД солнечного коллектора может быть от 20 до 65 %. При ярком солнце – до 650 Вт/м^2 , а в пасмурную погоду – порядка 10 Вт/м^2 .

Применение такой системы поможет сократить затраты на отопление на 30 %, на горячее водоснабжение – на 70 %. В климатических условиях средней полосы России солнечные водонагревательные установки могут эффективно использоваться в течение 6 - 7 месяцев в году (с марта по сентябрь) - в частных домах, мини-отелях, на базах отдыха, а также как резервный источник горячей воды в больницах, детских садах, на автомойках, АЗС и т.д. В летнее время солнечная установка из 2 - 3 м^2 солнечных коллекторов будет обеспечивать ежедневный нагрев 100 л воды до температуры не менее 45°C с вероятностью 70 - 80 %.

Солнечные установки коммунально-бытового назначения.

Сейчас во всем мире в эксплуатации находится более 5 млн солнечных водонагревательных установок, используемых в индивидуальных жилых домах, централизованных системах горячего водоснабжения жилых и общественных зданий, включая гостиницы, больницы, спортивно-оздоровительные учреждения

и т.п. (рис. 2.11). Налажено промышленное производство солнечных водонагревателей в таких странах, как Япония, Израиль, Кипр, США, Австралия, Индия, Франция, ЮАР и др.



Рисунок 2.11 – Солнечные коллекторы в конструктивной схеме здания

На отопление, горячее водоснабжение и кондиционирование воздуха в жилых, общественных и промышленных зданиях расходуется 30 - 35 % общего годового энергопотребления.

По принципу работы солнечные водонагревательные установки можно разделить на два типа: установки с естественной и принудительной циркуляцией теплоносителя. В последние годы всё больше производится пассивных водонагревателей, которые работают без насоса, а следовательно, не потребляют электроэнергию.

Непременным условием эффективной работы солнечной водонагревательной установки термосифонного типа является тепловая изоляция всех нагретых поверхностей – прежде всего бака-аккумулятора, подъемной и отпускнутой труб, патрубка для отвода горячей воды к водоразборным кранам или душу.

В условиях холодного климата в солнечном коллекторе следует использовать незамерзающий теплоноситель – смесь воды с этилен- или пропиленгликолем, глизантин (смесь воды с глицерином) и др.

Солнечные водонагревательные установки с естественной циркуляцией теплоносителя являются саморегулирующимися системами, и расход жидкости в них полностью определяется интенсивностью поступающего солнечного излучения, а также теплотехническими и гидравлическими характеристиками солнечного коллектора, бака-аккумулятора и соединительных трубопроводов.

Установки с принудительной циркуляцией теплоносителя целесообразно использовать для горячего водоснабжения крупных объектов. В них солнечный коллектор представляет собой большой массив модулей КСЭ. Эти установки имеют большую термопроизводительность, но, как правило, они довольно сложны.

Система солнечного теплоснабжения зданий.

Различают активные и пассивные системы солнечного теплоснабжения зданий. Характерным признаком активных систем является наличие коллектора солнечной энергии, аккумулятора теплоты, дополнительного источника энергии, трубопроводов, теплообменников, насосов или вентиляторов и устройств для автоматического контроля и управления. В пассивных системах роль солнечного коллектора и аккумулятора теплоты обычно выполняют сами ограждающие конструкции здания, а движение теплоносителя (воздуха) осуществляется за счет естественной конвекции без применения вентилятора.

Солнечный пруд.

СЭС на базе солнечных прудов значительно дешевле СЭС других типов, так как они не требуют зеркальных отражателей со сложной системой ориентации, однако их можно сооружать только в районах с жарким климатом (рис. 2.12, 2.13).

В солнечном пруду происходит одновременное улавливание и накапливание солнечной энергии в большом объеме жидкости. Обнаружено, что в некоторых естественных соленых озерах температура воды у дна может достигать 70 °С.



Рисунок 2.12 – Солнечный пруд



Рисунок 2.13 – Классификация солнечных прудов

Это обусловлено высокой концентрацией соли. В обычном водоеме поглощаемая солнечная энергия нагревает в основном поверхностный слой и эта теплота довольно быстро теряется, особенно в ночные часы и при холодной ненастной погоде из-за испарения воды и теплообмена с окружающим воздухом. Солнечная энергия, проникающая через всю массу жидкости в солнечном пруду, поглощается окрашенным в темный цвет дном и нагревает прилегающие слои жидкости, в результате чего температура ее может достигать

90 - 100 °С, в то время как температура поверхностного слоя остается на уровне 20 °С. Благодаря высокой теплоёмкости воды в солнечном пруду за летний сезон накапливается большое количество теплоты, и вследствие низких тепловых потерь падение температуры в нижнем слое в холодный период года происходит медленно, так что солнечный пруд служит сезонным аккумулятором энергии. Теплота к потребителю отводится из нижней зоны пруда (рис. 2.14).

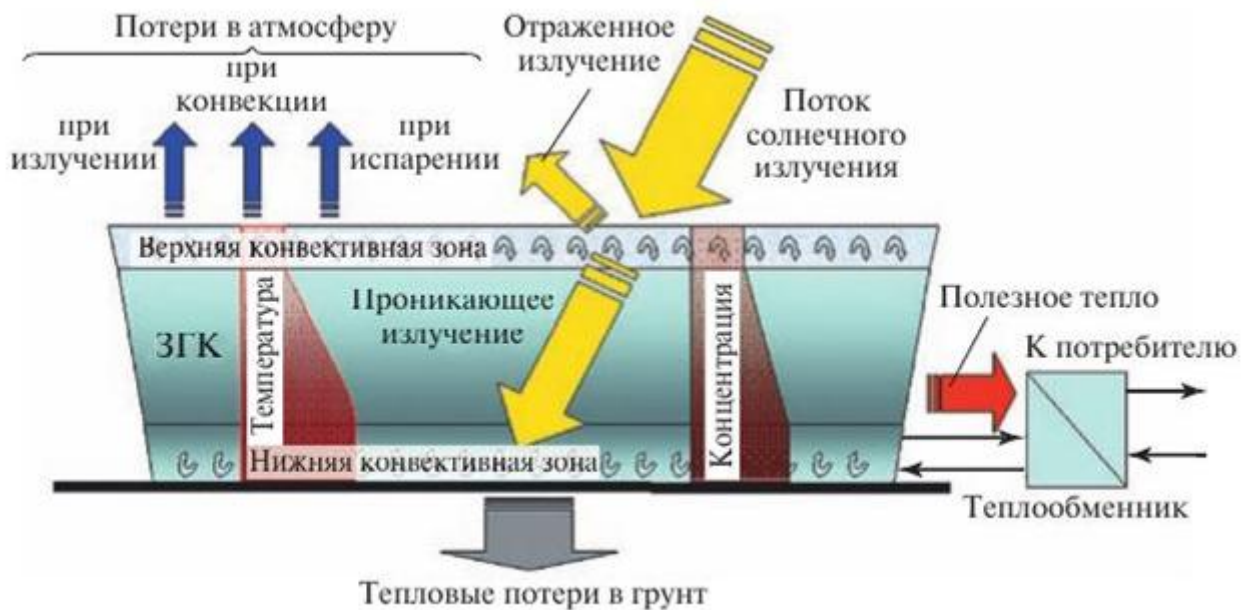


Рисунок 2.14 – Принцип работы солнечного пруда

Обычно глубина пруда составляет 1 - 3 м. На 1 м² площади пруда требуется 500 - 1000 кг поваренной соли, ее можно заменить хлоридом магния.

Наиболее крупный из существующих солнечных прудов находится в местечке Бейт-Ха-Арава в Израиле. Его площадь составляет 250 000 м². Он используется для производства электроэнергии. Электрическая мощность энергетической установки, работающей по циклу Ренкина, равна 5 МВт. Себестоимость 1 кВт×ч электроэнергии значительно ниже, чем на СЭС других типов.

Солнечные пруды могут быть использованы в гелиосистемах отопления и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий, для получения технологической теплоты, в системах конденсирования воздуха абсорбционного типа, для производства электроэнергии.

2.6. Системы аккумулирования тепловой энергии

Одной из ключевых проблем нетрадиционной, в первую очередь, солнечной энергетики является проблема теплового аккумулирования. Тепловые аккумуляторы эффективно используются в комплексе с ветроэлектрическими агрегатами, фотобатареями и в традиционной энергетике для снятия пиковых нагрузок.

Тепловое аккумулирование – это физический или химический процесс, посредством которого происходит накопление тепла в тепловом аккумуляторе энергии.

Тепловыми аккумуляторами (ТА) называют устройства, обеспечивающие протекание обратимых процессов накопления, хранения и отдачи тепловой энергии в соответствии с нуждами потребителя (рис. 2.15).

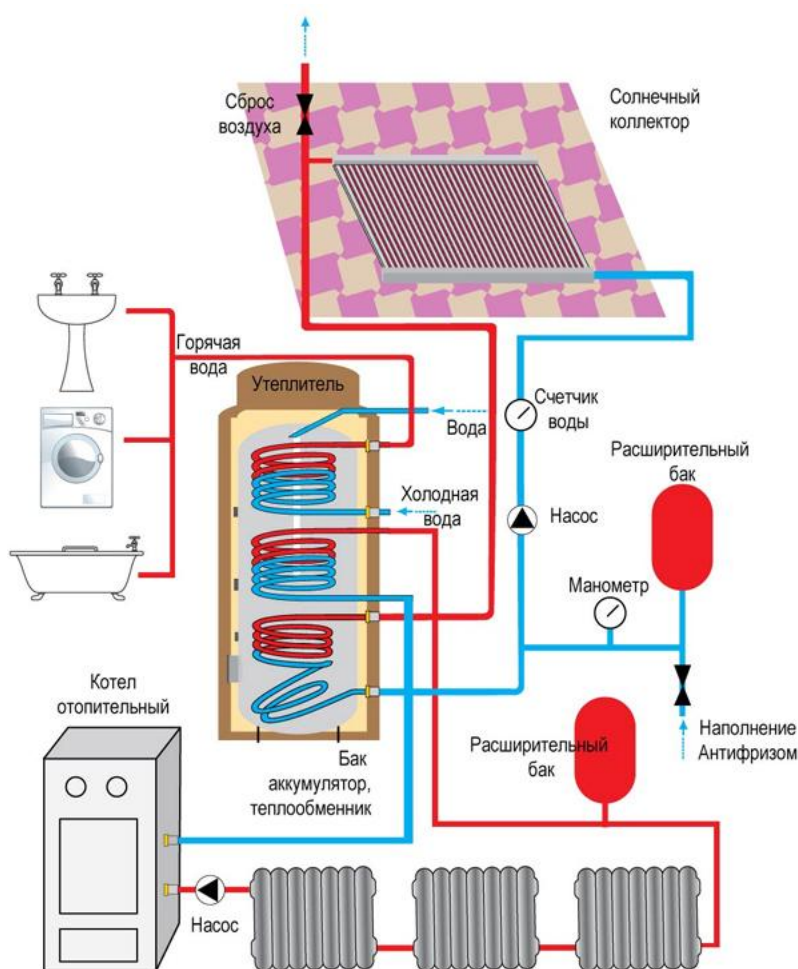


Рисунок 2.15 – Система отопления с тепловым аккумулятором

Аккумуляция тепла в различных энергосистемах ориентирована в первую очередь на отопление и горячее водоснабжение. Применение аккумуляторов тепла в водонагревательной системе позволяет приспособлять её к условиям спроса на горячую воду, изменяющегося в течение суток.

Применение различных способов накопления тепловой энергии при использовании солнечных энергетических установок позволяет также преодолеть проблему, обусловленную суточной периодичностью и непостоянством поступления солнечной энергии.

Например, солнечные энергетические установки, предназначенные для отопления помещений, поддерживают температуру теплоносителя на уровне 60 °С лишь около трех часов в сутки. Поскольку в подобных системах периоды потребления и получения энергии не совпадают, накапливать её необходимо в одни периоды суток, а использовать – в другие.

Эффективность теплового аккумулятора при прочих равных условиях определяется массой и объёмом теплоаккумулирующего материала (ТАМ), необходимого для обеспечения заданных параметров процесса.

Классификация аккумуляторов тепла.

Аккумуляторы можно классифицировать по различным параметрам.

1. По характеристике физико-химических процессов, протекающих в теплоаккумулирующих материалах (ТАМ):

- аккумуляторы ёмкостного типа, в которых используется теплоёмкость нагреваемого (охлаждаемого) аккумулялирующего материала без изменения его агрегатного состояния (природный камень, галька, вода, водные растворы солей и др.);

- аккумуляторы фазового перехода вещества, в которых используется теплота плавления (затвердевая) вещества;

- аккумуляторы энергии, основанные на выделении и поглощении теплоты при обратимых химических и фотохимических реакциях.

2. По природе аккумуляирования:

- теплоёмкостные (ТЕА);

- аккумуляторы с фазовым переходом (АФТ);
- термохимические аккумуляторы (ТХА).

3. По уровню рабочих температур:

- низкотемпературные (до 100 °С) ТА;
- среднетемпературные ТА (от 100 до 400 °С);
- высокотемпературные ТА (свыше 400 °С).

4. По продолжительности периода заряд-разряд ТА:

- краткосрочные (до 3-х суток);
- среднесрочные (до 1 месяца);
- межсезонные (до полугода).

На рисунке 2.16 приводится в схематичном виде классификация теплоаккумуляторов потребителей или группы мелких потребителей и децентрализованные для индивидуальных потребителей.



Рисунок 2.16 – Классификация теплоаккумуляторов

Выбор и конструирование ТА проводится с учетом параметров энергосистемы и потребителя тепловой энергии. Как правило, в нетрадиционной энергетике используются краткосрочные или среднесрочные низкотемпературные теплоемкостные аккумуляторы и аккумуляторы с фазовым переходом.

При рассмотрении характеристик аккумулирующих и теплообменных сред, применяемых в тепловом аккумуляторе, можно выделить такие основные разновидности теплового аккумулирования:

- прямое аккумулирование тепловой энергии – аккумулирующим и теплообменным веществом является одна и та же среда; аккумулирующая среда может быть твердой, жидкой, газообразной или двухфазной (жидкость + газ);

- косвенное аккумулирование – энергия аккумулируется посредством теплообмена (например, теплопроводностью через стенки резервуара) или в результате массообмена специальной теплообменной среды (в жидком, двухфазном или газообразном состоянии). Аккумулирующая среда может быть твердой, жидкой или газообразной, процесс может протекать без фазового перехода или с фазовым переходом (твердое тело – твердое тело, твердое тело – жидкость, жидкость – пар);

- полупрямое аккумулирование – процесс проходит, как во втором случае, за исключением того, что аккумулирующая емкость теплообменной среды играет наиболее важную роль;

- сорбционное аккумулирование – в этом случае используется способность некоторых аккумулирующих сред абсорбировать газы с выделением или поглощением тепла при десорбции газа. Передача энергии может происходить непосредственно в форме тепла или с помощью газа .

Для создания эффективных тепловых аккумуляторов необходимо решить такие первоочередные задачи:

- внедрение теплоаккумулирующих материалов с высокими удельными энергетическими характеристиками, большим ресурсом работы и широким диапазоном рабочих температур;

- выбор конструкционных материалов с высокими теплотехническими и коррозионностойкими характеристиками;

- создание оптимальных конструкций ТА в зависимости от функционального назначения, источника энергии и нужд потребителей.

При выборе рабочих веществ для тепловых аккумуляторов необходимо учитывать энергетические и эксплуатационные характеристики, как источника энергии, так и самого аккумулятора. Основными рабочими характеристиками ТАМов являются: удельная энергия, рабочий диапазон температур, стабильность и безопасность в работе, низкая коррозионная агрессивность, недефицитность и невысокая стоимость.

2.7. Вопросы и задания для самопроверки и контроля усвоения знаний

Вопросы для самопроверки

1. Ресурсы солнечной энергии.
2. Основные направления использования солнечной энергии.
3. Фотоэлектрический способ.
4. Фотоэффект.
5. Фототермический способ.
6. Классификация и принцип действия солнечных коллекторов.
7. Принцип работы вакуумного солнечного коллектора.
8. Плоский солнечный коллектор.
9. Фокусирующие солнечные коллекторы.
10. Схема работы комплекса нагрева воды с помощью солнечного коллектора.
11. Солнечные установки коммунально-бытового назначения.
12. Солнечный пруд.
13. Классификация солнечных прудов.
14. Принцип работы солнечного пруда.
15. Системы аккумулирования тепловой энергии.
16. Классификация аккумуляторов тепла.

Задания для самопроверки

Выполнить расчет количества плоских солнечных коллекторов, согласно своему варианту задания, используя расчетную схему.

Таблица 2.1 – Варианты заданий

Величины и единицы их измерения	Варианты заданий									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество людей в семье, чел.	2	3	4	5	4	3	2	5	6	4
Город проживания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Суточная потребность в воде, чел./сут	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30
Требуемая степень замещения традиционной энергетики, %	45	60	70	45	60	70	45	60	70	45
Ориентация коллектора	в/з	юв/ю	юг	в/з	юв/ю	юг	в/з	юв/ю	юг	в/з
Угол наклона коллектора, °	30/45	60	60	30/45	30/45	60	60	30/45	30/45	60

Решить прикладные задачи

Задача 1. Рассчитать количество трубок для вакуумного солнечного коллектора Атаба, исходя из следующих данных.

Необходимо обеспечить горячей водой семью из n человек, проживающих в N -ске, при среднесуточной потребности каждого из них V л. Средняя температура входящей воды составляет t_n °C, необходимая конечная температура – t_k °C; способность поглощения энергии солнца солнечным коллектором Атаба составляет Y %, площадь поглощения – S_{mp} м².

Расчет производится по следующему алгоритму:

1. Определяем объем емкостного нагревателя:

$$V_H = (X \cdot V_x) \cdot 1,5, \quad (2.1)$$

где V_H – объем емкостного коллектора, м^3 ; X – количество людей в семье, чел.;
 V_x – среднесуточная потребность в воде каждого члена семьи, $\text{м}^3/\text{чел}$

2. Определяем температурный перепад:

$$T_T = T_K - T_H, \quad (2.2)$$

где T_K – конечная температура воды, $^{\circ}\text{C}$; T_H – начальная температура воды, $^{\circ}\text{C}$.

3. Рассчитываем количество энергии, необходимой для нагревания нужного количества воды с учетом того, что для нагрева одного литра воды на один градус надо затратить энергию равную 1 Ккал.

$$G = V_H \cdot T_T. \quad (2.3)$$

Для перевода данной энергии в $\text{Квт} \cdot \text{ч}$ воспользуемся следующей формулой:

$$G_B = G / 859,8, \quad (2.4)$$

(1 $\text{Квт} \cdot \text{ч} = 859,8$ Ккал).

4. Определимся с количеством энергии, которое может поглощаться и преобразовываться в тепло солнечными коллекторами Aтаба.

4.1. Определяем среднемесячное значение солнечной радиации (G_x) для указанного города.

4.2. Рассчитываем количество энергии, способное аккумулироваться одной трубкой солнечного коллектора по формуле

$$G_{\text{тр}} = G_x \cdot Y \cdot S_{\text{тр}}, \quad (2.5)$$

где Y – количество солнечной энергии, способное поглощаться данной маркой коллектора, %; $S_{\text{тр}}$ – площадь поглощения вакуумной трубки данного коллектора, м^2 .

5. Определяем необходимое число трубок.

Таблица 2.2 – Варианты заданий

Величины и единицы их измерения	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество людей в семье, чел	2	3	4	5	4	3	2	5	6	4
Город проживания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Суточная потребность в воде, чел/сут	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30
$t_n, ^\circ\text{C}$	12	14	16	11	13	15	12	14	16	13
$t_k, ^\circ\text{C}$	55	60	57	59	62	65	64	63	58	60
$Y, \%$	80	79,5	79,3	80,2	81	78,9	79,2	80,5	80,8	82
$S_{\text{тр}}, \text{м}^2$	0,08	0,076	0,082	0,081	0,079	0,078	0,077	0,083	0,084	0,081

Задача 2. На солнечной электростанции башенного типа установлено n гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность $F_z \text{ м}^2$. Гелиостаты отражают солнечные лучи на приемник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещенность $H_{np} = 2,5 \text{ МВт/м}^2$. Коэффициент отражения гелиостата $R_z = 0,8$. коэффициент поглощения приемника $A_{np} = 0,95$. Максимальная облученность зеркала гелиостата $H_z = 600 \text{ Вт/м}^2$.

Определить площадь поверхности приемника F_{np} и тепловые потери в нем, вызванные излучением и конвекцией, если рабочая температура теплоносителя составляет $t \text{ } ^\circ\text{C}$. Степень черноты приемника $e_{np} = 0,95$. Конвективные потери вдвое меньше потерь от излучения.

Задача 2 посвящена использованию солнечной энергии на электростанции башенного типа с использованием гелиостатов, отправляющих солнечные лучи на приемник, в котором, в конечном счете, получают перегретый водяной пар для работы в паровой турбине.

Энергия, полученная приемником от солнца через гелиостаты (Вт), может быть определена по уравнению

$$Q = R_z \cdot A_{np} \cdot F_z \cdot H_z \cdot n, \quad (2.6)$$

где H_r – облученность зеркала гелиостата в $Вт/м^2$ (для типичных условий $H_r = 600 \text{ Вт/м}^2$) ; F_r – площадь поверхности гелиостата, $м^2$; n – количество гелиостатов; R_r – коэффициент отражения зеркала концентратора, $R_r = 0,7 - 0,8$; $A_{пр}$ – коэффициент поглощения приемника, $A_{пр} < 1$.

Площадь поверхности приемника может быть определена, если известна энергетическая освещенность на нем $H_{пр}$ $Вт/м^2$:

$$F_{пр} = Q/H_{пр}. \quad (2.7)$$

В общем случае температура на поверхности приемника может достигать $t_{пов} = 1160 \text{ К}$, что позволяет нагреть теплоноситель до $700 \text{ }^\circ\text{С}$. Потери тепла за счет излучения в теплоприемнике можно вычислить по закону Стефана - Больцмана:

$$q_{луч} = \epsilon_{пр} \cdot C_0 \cdot (T/100)^4, \text{ Вт/м}^2, \quad (2.8)$$

где T – абсолютная температура теплоносителя, $К$; $\epsilon_{пр}$ – степень черноты серого тела приемника; C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $Вт / (м^2 \times K^4)$.

Таблица 2.3 – Варианты заданий

Величины и единицы их измерения	Варианты заданий									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	243	253	263	273	283	293	303	313	323	333
$F_r, м^2$	64	61	58	55	52	49	46	43	40	37
$t, ^\circ\text{С}$	700	680	660	640	620	580	560	540	520	600

3. ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

3.1. Ветроэнергетика

Ветровая энергия относится к постоянно возобновляемым источникам энергии, обязанным своим происхождением деятельности Солнца. В результате неравномерного нагрева солнечными лучами земной поверхности и нижних слоев земной атмосферы, в приземном слое, а также на высоте от 7 до 12 км возникают перемещения больших масс воздуха, то есть образуется ветер, который несет колоссальное количество энергии. Сила ветра зависит от его скорости и меняется в очень широких пределах. Используя даже несколько процентов энергии ветра, можно удовлетворить значительную часть энергетических нужд страны.

К преимуществам ветровой энергии прежде всего относится доступность, повсеместное распространение и практическая неисчерпаемость ресурсов.

Ветроэнергетика – отрасль науки и техники, в рамках которой разрабатываются теоретические основы, методы и средства использования энергии ветра для получения механической, электрической и тепловой энергии.

Существует два основных направления ветроэнергетики.

Ветротехника разрабатывает теоретические основы и практические приемы проектирования технических средств (агрегатов и установок).

Ветроиспользование включает решение теоретических и практических вопросов оптимального использования энергии ветра, рациональной эксплуатации установок и их техникоэкономических показателей, а также обобщение опыта практического применения ветроэнергетических установок.

Энергию ветра человек использовал с давних времен – сначала в судоходстве, а затем для замены своей мускульной силы. Первые шаги в в этом отношении человечество сделало с изобретением древними египтянами большее 5000 лет назад паруса, который превращал кинетическую энергию ветра в кинетическую же энергию целенаправленного движения парусного судна.

Первые простые ветродвигатели применяли в глубокой древности в Египте и Китае. В Египте (возле г. Александрии) сохранились остатки каменных ветряных мельниц барабанного типа, построенных еще в 2-1 веке до н. э. В 7 в. н.э. персы строили ветряные мельницы уже более совершенной конструкции – крыльчатые. Несколько позже, примерно в 8-9 вв., ветряные мельницы появились на Руси и в Европе. Начиная с 13 в., ветродвигатели получили широкое распространение в Западной Европе, особенно в Голландии, Дании и Англии, для подъема воды, помола зерна и приведения в движение разных станков.

Максимальное распространение ветряных мельниц наблюдалось в 1700-е годы на равнинах Голландии, Германии, Италии, Испании, Украины, России. В 30-х годах 18 века в Голландии работало 1200 ветроустановок, защищавших 2/3 территории страны от заболачивания почв. К концу 19 века в Голландии насчитывалось более 10 тысяч ветроустановок, а в маленькой Дании – 30 тысяч для бытовых нужд и 3 тысячи ветродвигателей использовались в промышленности.

Объем электроэнергии, производимой ВЭУ в течение единицы времени, прямо пропорционален площади захватываемой поверхностью ветроколеса (или квадрата диаметра ветроколеса) и куба скорости ветра. Поэтому значительные усилия разработчики ВЭУ прилагают к увеличению длины лопастей ВЭУ и увеличение высоты оси ротора. Следствием последнего и является увеличение скорости ветрового потока из-за уменьшения его трения о землю.

Характерная современная ВЭУ (рис. 2.7) является грандиозным сооружением с тремя лопастями на горизонтальной оси, расположенной на высоте не менее 100 м, и ветроколесом с диаметром 150 м. (Таким образом, площадь захватываемой поверхностью ветроколеса более, чем в два раза, превышает площадь футбольного поля!). Мощность такой ВЭУ составляет 5 МВт (5000 кВт) (рис 3.1).



Рисунок 3.1 – Современная ВЭУ General Electric GE 5.3-158

Уже в начале XXI в. ветроэнергетика стала наиболее инвестиционно привлекательной отраслью электроэнергетики с экологически чистой самой дешевой электроэнергией, производимой без применения импортных энергоносителей.

3.2. Принцип преобразования энергии ветра

Ветрогенератор (ветроэлектрическая установка, ВЭУ) – устройство для преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим её преобразованием в электрическую энергию.

Принцип работы ветрогенератора.

Ветер, своим напором приводит во вращение колесо с лопастями, которое посредством редуктора, передает полученный крутящий момент к валу генератора ветроустановки. Вал с ротором ветрогенератора, вращаясь в его статоре – вырабатывает постоянный электрический ток (рис. 3.2).

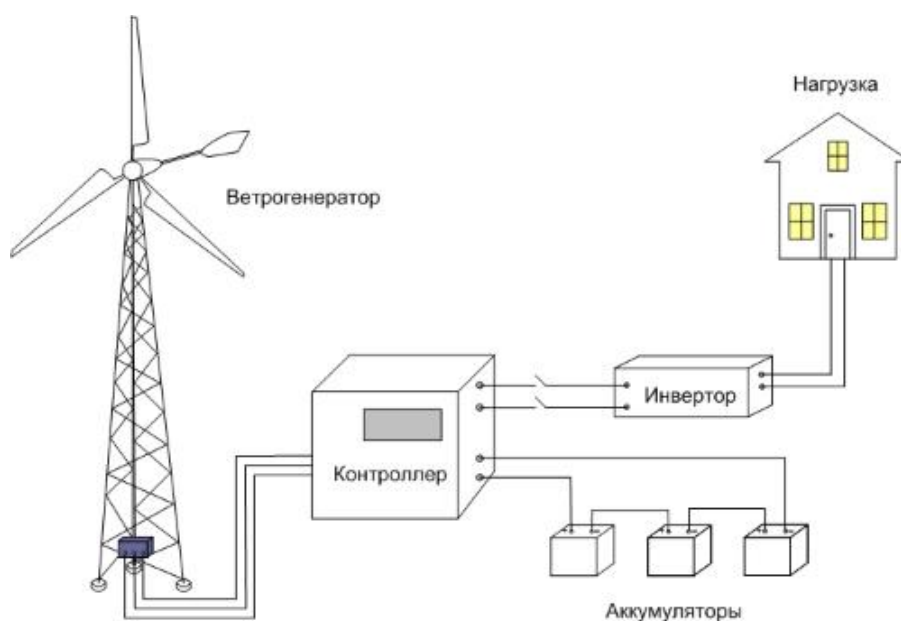


Рисунок 3.2 – Схема работы ветроэлектрической установки

Аккумуляторная батарея выступает в качестве накопителя неиспользуемой на данное время электроэнергии, которая отдается пользователям в случае необходимости. Контроллер для ветрогенератора – это устройство, преобразующее напряжение от генератора в напряжение для зарядки аккумуляторов. Блок преобразователя напряжения (инвертор), преобразовывает электрический постоянный ток, в ток переменный, с напряжением силовой сети 220В и частотой 50Гц (рис. 3.3).

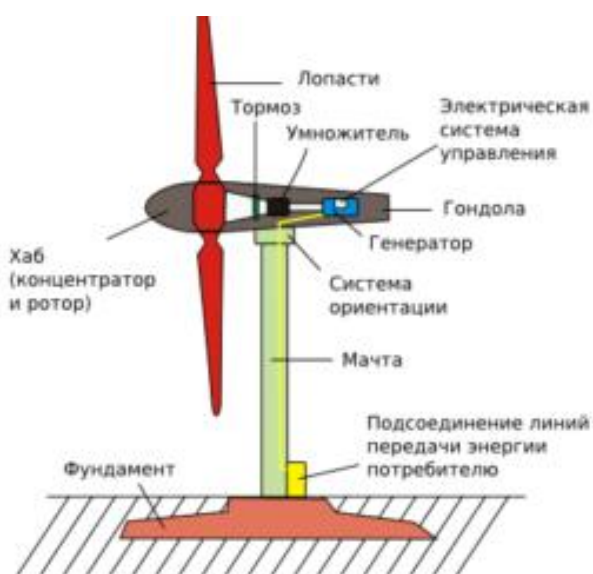


Рисунок 3.3 – Принцип работы ветрогенератора

3.3. Классификация ветрогенераторов по оси вращения

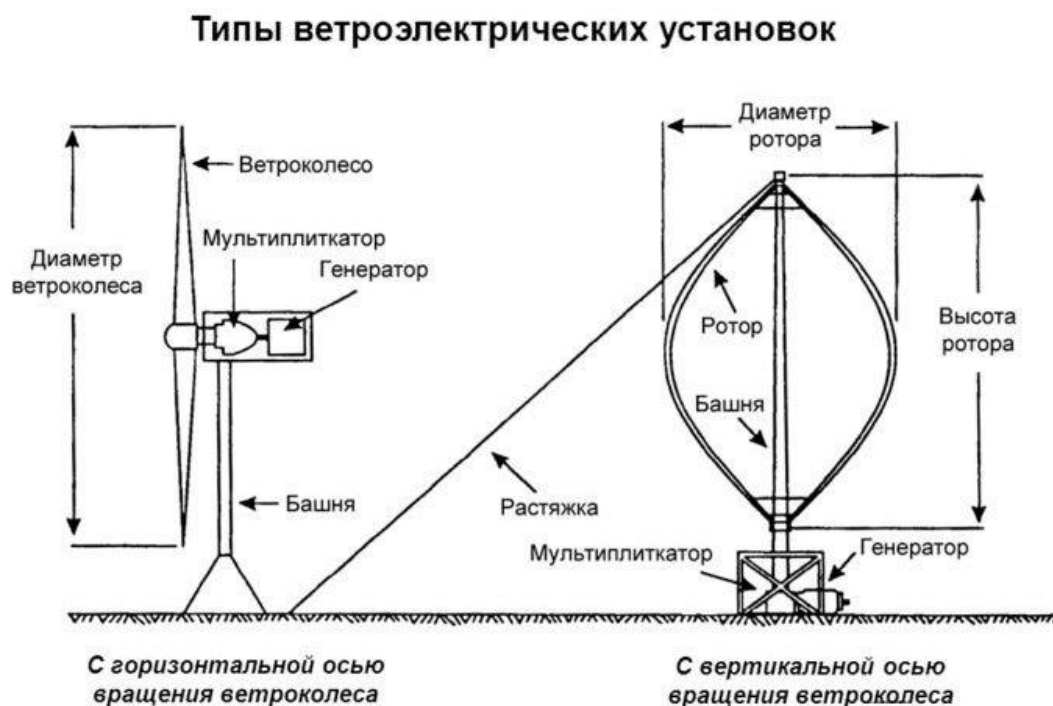


Рисунок 3.4 – Ветрогенератор с вертикальной и горизонтальной осью вращения

Карусельные – ось вращения располагается вертикально по отношению к направлению ветра.

Преимущества:

- вырабатывают электроэнергию при небольшой силе ветра;
- не нуждаются в сложных, активных системах направления на поток ветра, как следствие, идеально подходят для местности с турбулентными воздушными потоками;
- некоторые промышленные модели не нуждаются в высокой мачте, сама ось для лопастей является мачтой. Поэтому удобны в обслуживании;
- низкий уровень шумового загрязнения, до 30 дБ;
- отличный внешний вид.

Но они имеют серьёзный недостаток – тихходность.

Вертикальные преобразователи силы ветра в энергию часто используются для бытовых нужд. Эти виды ветрогенераторов просты в обслуживании. Основные узлы, которые требуют внимания, находятся в нижней части

установок и свободны для доступа. Ортогональный (вертикальный) ротор начинает вырабатывать энергию при скорости ветра в 0,7 м/сек. Состоит из вертикальной оси и лопастей. Не производит много шума, отличается красивым необычным дизайном. Срок службы несколько лет.

Лопастей с большим весом делает его громоздким, что усложняет монтажные работы.

Положительные стороны вертикальных ветрогенераторов:

- использование генераторов возможно даже при слабом ветре;
- не настраиваются на ветровые потоки, так как не зависят от его направления;
- устанавливаются на короткой мачте, что позволяет производить обслуживание систем на земле;
- шум в пределах 30 дБ;
- разнообразный, приятный внешний вид.

Основной изъян – используют силу и энергию ветра не полностью из-за невысокой вращательной скорости ротора.

1. Генераторы с ротором Савониуса (рис. 3.5)

Состоят из двух цилиндров. Постоянное осевое вращение и поток ветра не находятся в зависимости друг от друга. Даже при резких порывах он крутится с заданной изначально скоростью.

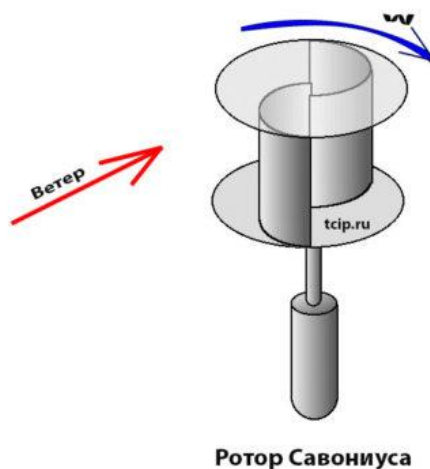


Рисунок 3.5 – Ротор Савониуса

Отсутствие влияния ветра на скорость вращения, бесспорно, – его хорошее преимущество. Плохо то, что он использует силу стихии не на всю ее мощь, а только на треть. Устройство лопастей в виде полуцилиндров позволяют работать лишь в четверть оборота.

2. Генераторы с ротором Дарье (рис. 3.6).

Имеют две или три лопасти. Легко монтируются. Конструкция простая и понятная. Начинают работать от запуска вручную.

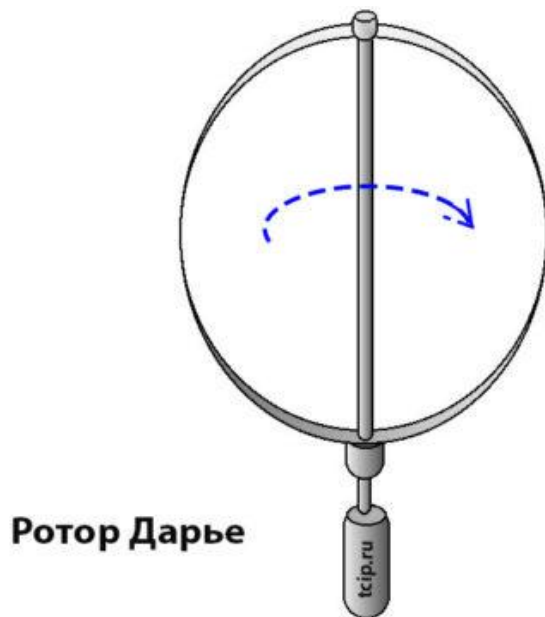


Рисунок 3.6 – Ротор Дарье

Минус – турбины не отличаются мощной работой. Сильная вибрация становится причиной сильного шума. Этому способствует большое количество лопастей.

3. Геликоидный ротор (рис. 3.7).

Вращение ветрогенератора происходит равномерно благодаря закрученным лопастям. Подшипники не подвержены быстрому износу, что значительно продляет срок эксплуатации.

Монтаж установки требует времени и сопряжен с трудностями сборки. Сложная технология изготовления отразилась на высокой цене.



Рисунок 3.7 – Геликоидный ротор

4. Многолопастный ротор (рис. 3.8).

Вертикально – осевая конструкция с большим количеством лопастей делает его чувствительным даже к очень слабому ветру. Эффективность таких ветрогенераторов очень высокая.

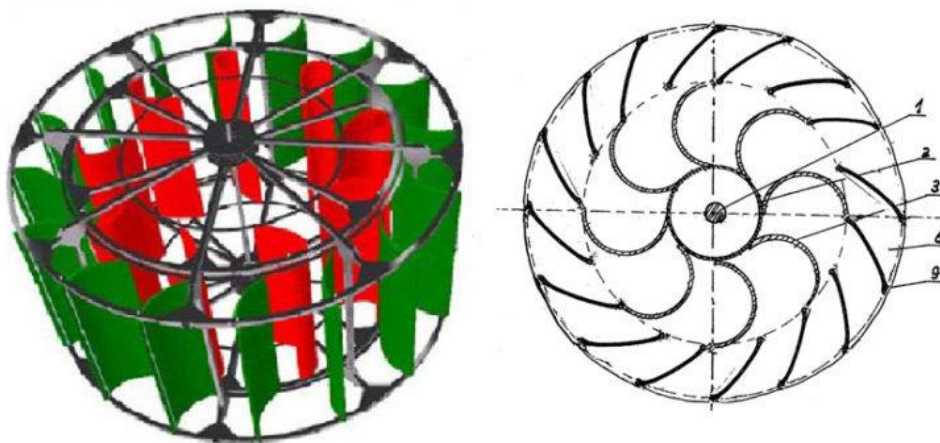


Рисунок 3.8 – Многолопастный ротор

Это мощный преобразователь. Энергия ветра используется максимально. Стоит он дорого. Недостаток – высокий звуковой фон. Может давать большой объем электротока.

Крыльчатые – с горизонтальной осью вращения. Этот вид ветрогенератора наиболее распространён при использовании в промышленной выработке электроэнергии.

Преимущества:

- большая скорость вращения, это позволяет соединяться с генератором, что увеличивает КПД;

- простота изготовления;

- большое разнообразие моделей.

Недостатки:

- высокий уровень шумового и ультразвукового загрязнения;

- необходимость применять стабилизатор и устройства наведения на поток ветра;

- скорость вращения находится в обратной пропорции к количеству лопастей, поэтому в промышленных моделях редко используют более трёх лопатей.

Классификация ветрогенераторов по количеству лопастей.

- двухлопастными;

- трехлопастными;

- многолопастными, где число лопастей турбины составляет порядка 50-ти штук, и более (рис. 3.9).

Ветроустановки многолопастные используют там, где необходим сам факт наличия большого количества оборотов у ее турбины, к примеру, для привода насоса по перекачке воды и пр. С целью выработки электроэнергии, подобные ветроустановки, фактически не используются.

ВИДЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ

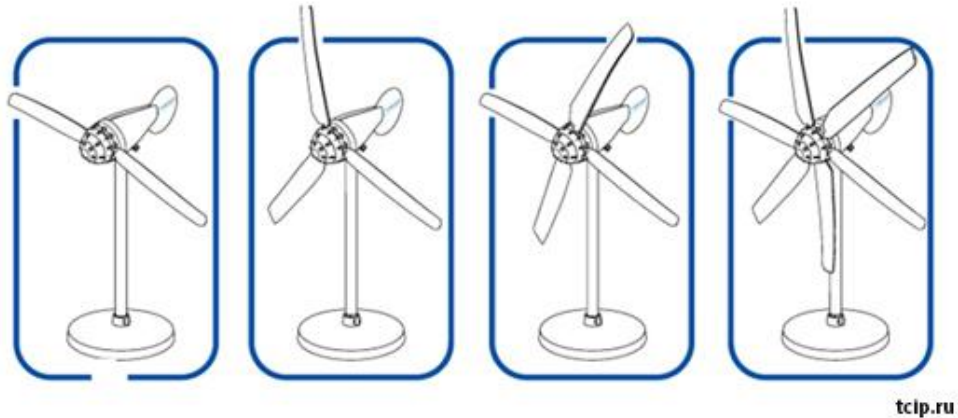


Рисунок 3.9 – Вертикальные ветрогенераторы с разным количеством лопастей

Классификация по применяемому материалу изготовления лопастей:

- парусные генераторы или «парусники» (рис. 3.10);
- генераторные установки с жесткими лопастями.

Отметим, что лопасти парусные – значительно проще и дешевле в изготовлении, нежели лопасти жесткие – изготовленные из металла или стеклопластика.



Рисунок 3.10 – Парусный генератор

Классификация ветроустановок по шагу винта.

Относительно этого показателя все ветрогенераторные установки имеют фиксированный и изменяемый шаг винта.

По мощности и области применения ветрогенераторы бывают:

- **промышленные** (мощность от 500 кВт);
- **бытовые** (мощность 0 - 10 кВт);
- ВЭУ **очень малой** мощности (до 5 кВт).

Генераторы таких ВЭУ как правило вырабатывают постоянное напряжение. ВЭУ переназначены для электроснабжения отдельных потребителей с использованием аккумуляторных батарей или других видов накопителей энергии. Такие ВЭУ могут работать с другими источниками энергии (солнечными батареями, ДЭС) на шине постоянного напряжения. Монтаж ВЭУ осуществляется бескрановым способом.

ВЭУ малой мощности (от 5 до 100 кВт).

Для электроснабжения поселков возможно использовать ВЭУ малой мощности от 30 кВт и более. ВЭУ малой мощности выполняются как с вертикальной, так и с горизонтальной осью вращения. Монтаж ВЭУ осуществляется бескрановым способом. ВЭУ малой мощности перспективно использовать для электроснабжения удаленных поселков и отдельных потребителей, не имеющих централизованного электроснабжения.

ВЭУ средней мощности (от 100 до 1000 кВт).

В данном классе с большим отрывом преобладают ВЭУ с горизонтальной осью вращения. Данный класс ВЭУ предназначен в основном для работы с децентрализованной системой электроснабжения небольшого поселка, предприятия или военной базой.

ВЭУ большой мощности (более 1000 кВт).

В данном классе в свободной продаже имеются только ВЭУ с горизонтальной осью вращения. ВЭУ большой мощности имеют высокие башни высотой от 70 до 120 метров.

Самая большая ВЭУ в мире «Enercon E-126» имеет мощность 7 МВт и диаметр лопастей 126 метров. При использовании ВЭУ большой мощности возникает ряд определенных трудностей, связанный с условиями эксплуатации ВЭУ (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Самая большая ВЭУ в мире «Enercon E-126»

3.4. Новейшие разработки в области ветроэнергетики

Развитие альтернативных источников энергии в настоящее время достигло высоких темпов. Ветроэнергетика занимает лидирующие позиции по распространению и использованию в мире. Наряду с технологиями, которые уже нашли широкое применение во многих странах, появляются технологии и разработки, многие из которых станут в будущем распространёнными и применяемыми так же, как и существующие сегодня. Однако многие из представленных идей находятся на стадии пилотных проектов и ожидают проверки на рациональность, доступность, выгодность. В работе проведён анализ использования ветроэнергетического потенциала разных стран и обзор новейших разработок в области ветроэнергетики.

Уже к 2020 году с помощью ветроэнергетики в мире было получено 252 ГВт электроэнергии. Ветроэнергетика – один из самых перспективных и быстро развивающихся сегментов всей альтернативной электроэнергетики.

Во всём мире на сегодняшний день производится с помощью ветроэнергетических установок более полутора процентов всей электрической энергии.

В отдельных странах, где существует поддержка этого сектора государством, доля энергии, полученной из альтернативных источников, уже достигла более 40 % в Дании, 20 % в Испании, 16 % в Германии.

Специалисты прогнозируют, что доля электроэнергии, вырабатываемой ветрогенераторными установками будет постоянно расти и к 2030 году может достичь пяти процентов. Это произойдёт даже при отсутствии мощной поддержки государств и стимулов рынка. При стимулировании же развития со стороны рынка или государства результат может составить около шестнадцати процентов.

Ветроэнергетика, несомненно, является перспективной и основополагающей отраслью промышленности для многих стран и при соответствующей поддержке со временем может стать одним из важнейших сегментов мировой энергетики. Правительства многих стран осознают, что мероприятия по стимулированию и развитию ветроэнергетики необходимы на международном и общегосударственном уровне. Например, существует план Европейского Союза об установке к 2021 году уровня 180000 МВт ветроустановок.

Современная ветроэнергетика во многих развитых странах мира является частью энергетических систем, а в ряде стран – одной из главных составляющих альтернативной энергетики.

Во всем мире наблюдается интенсивный прирост мощности возобновляемой энергетики. Важным фактором её развития в различных странах, независимо от размеров, географического положения, экономического состояния и ресурсной базы энергетики, являются экологические преимущества

этих источников и постоянно развивающиеся технологии повышения экологической безопасности установок на основе ВЭС, отсутствие эмиссии парниковых газов. Во многих странах происходит выравнивание стоимостей энергии традиционных источников и ВЭС, прежде всего в связи с ужесточением экологических требований и повышением стоимости энергии традиционных электростанций, особенно угольных, а стоимость оборудования возобновляемой энергетики столь же непрерывно снижается за счет технологического совершенствования.

Во всем мире ветроэнергетика развивается быстрыми темпами. Каждый год число ветрогенераторов увеличивается. По прогнозу WWEA, к 2022 году их суммарная мощность возрастет в четыре раза и превысит 1000 гигаватт.

В настоящее время мировыми лидерами в отрасли ветроэнергетики являются 10 лидирующих стран мира: Китай, США, Германия, Испания, Индия, Италия, Франция, Канада, Бразилия, Дания. В некоторых странах Европы создаются новые проекты использования ветроэнергии, но многие из них основаны на технологических решениях, которые устарели, потому что появились несколько лет назад. Между тем, ветроэнергетика динамично развивается. И ведущие страны в области преобразования энергии ветра, такие, как Китай, США, Германия и другие активно занимаются созданием новых технологий, дополняющих «классику» ветроэнергетики и представляют новые идеи, которым предстоит быть проверенными временем.

Китай является мировым лидером в области производства энергии ветра, с самой большой установленной мощности любой страны и дальнейшего быстрого роста новых ветровых установок (рис. 3.12).

На основании крупных успехов, которые Китай делает в направлении развития ветроэнергетической отрасли, Мировой Банк предоставляет грант в рамках программы программы «Глобальная Окружающая Среда». К 2020 году мощность объектов ветроэнергетики Китая достигла 210 млн кВт. Государство имеет цель – постепенное увеличение сетевой мощности. Страна ставит перед

собой цель увеличить свою сетевую мощность установки морских ветроэнергетических объектов более чем на 5 миллионов кВт.



Рисунок 3.12 – Ветроэлектростанция в Китае

Второй мировой лидер в области ветроэнергетики – США. Это выражается и в размере существующих станций и в темпах роста установленных мощностей. К 2021 году, по данным Американской ветроэнергетической компании, мощность малой ветроэнергетики достигла 50 ГВт, а это около трёх процентов суммарных мощностей всей страны.

На третьем месте находится Германия. В 2020 году работа ветровых электростанций предотвратила выбросы углекислого газа в атмосферу на 20 млн т. По всей Германии можно насчитать более 17000 ветряных мельниц, а их производство давно поставлено на конвейер. На сегодняшний день мощность всех установленных ветрогенераторов превышает 56 ГВт, что составляет более 15 % от общей доли ветроэнергетики на планете.

Испания является четвёртым мировым лидером в области ветроэнергетики. Испания находится в постоянном поиске альтернативных путей добычи энергии. В настоящее время ветроэнергетика обеспечивает около семидесяти процентов необходимой стране электроэнергии. Испанская компания «Acciona» имеет более девяти тысяч генераторов по всему миру. У страны есть план по полному переходу на возобновляемые источники энергии к

2050 году. В течение этого перехода, к 2030 году предусмотрено снижение выбросов парниковых газов в атмосферу на 23 %.

Индия занимает пятое место в десятке мировых лидеров ветроэнергетики (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 – Ветроэлектростанция в Индии

Ветроэнергетический потенциал Индии оценивается внутренним профильным министерством в 45195 МВт. Интересным фактом является то, что любая Компания Индии имеет возможность купить ветрогенератор и установить его на общественной ветряной ферме, которая поставляет энергию в сеть штата. По данным специалистов, установленная энергоёмкость ветра может достигать 83 ГВт к 2030 году в соответствии с существующей политикой и может превзойти 150 ГВт, если будут реализованы политические планы.

Италия занимает шестое место в рейтинге крупнейших обладателей ветроэлектростанций. Ветроэнергетика в Италии, в конце 2015 года, состояла более чем, из 1847 ветровых турбин общей установленной мощностью 8,958 МВт. Строительство трех ветропарков начинается в 2020 году, их ввод в эксплуатацию осуществлён в 2021 году. При общей установленной мощности 8 МВт, электростанция сможет генерировать более 22 кВт·ч в год, что

эквивалентно энергетическим потребностям около 1800 итальянских домов. Тем самым можно избежать выбросов почти 9000 тонн CO₂ в атмосферу каждый год. Строительство новых «зелёных» мощностей и модернизация существующих электростанций в Италии являются частью обширной программы по развитию возобновляемых источников энергии.

Франция занимает седьмое место среди лидеров в ветроэнергетике. Правительство страны намерено отказаться от использования АЭС, что в свою очередь способствует использованию альтернативных источников энергии. Комплекс мер, принятых французским правительством, обязал Электрисите де Франс приобретать электричество у «зеленых» генерирующих компаний по установленному тарифу, а также значительные инвестиции в отрасль. Сейчас мощность ветрогенераторов во Франции достигает 4 850 МВт. На их долю приходится всего 1,5 % от общего производства электроэнергии. Во Франции введена в эксплуатацию ветровая электрическая станция в коммуне Кулонж, которая считается одной из крупнейших в мире. Мощность станции составляет 36 МВт (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 - Ветроэлектростанция Франции

Канада заняла восьмое место мировых лидеров. Несмотря на активную добычу нефти, газа и каменного угля, Канада активно занимается развитием

ветроэнергетики. Для этого есть все предпосылки – мощный ветровой потенциал территорий и активное развитие технологий.

Бразилия заняла девятое место в десятке мировых лидеров по ветроэнергетике. Главное преимущество Бразилии это природные условия и особенности климата, что и делает ветроэнергетику эффективным и производительным направлением. По планам властей, к 2026 году Бразилия достигнет отметки 19 ГВт суммарной мощности ветровых установок. Одна из бразильских компаний установила рекордно низкую цену на электроэнергию от ветрогенераторов. На территории Бразилии находятся одни из самых больших в мире ветростанций.

На десятом месте лидеров – Дания. Более двадцати процентов электроэнергии жители страны получают благодаря энергии ветра. К 2050 году правительство Дании планирует окончательный полный переход на альтернативные источники энергии.

Исследование и анализ новейших разработок в области ветроэнергетики является актуальной задачей для учёных и технологов всего мира.

Наряду с «классикой» ветроэнергетики в настоящее время появляются и развиваются новые разработки в данной области, которые поднимают эффективность ветрогенераторов на новый уровень. Многие из этих разработок, возможно, не выйдут на уровень массового производства и использования, однако, несомненно, откроют новые возможности в области ветроэнергетики.

Рассмотрим новые технологии ветроэнергетики:

Компания Makani Power разработала летающий ветрогенератор – планер (рис. 3.15). Makani Power начала создавать планер, который будет генерировать экологически чистое электричество. На высоте около 550 метров, он может производить до 1 МВт электроэнергии в год.



Рисунок 3.15 – Ветрогенератор планер

В последнее время было создано множество прототипов летающей ветряной турбины, специалисты ищут наилучшее решение, но пока ни одна из идей не вышла на уровень коммерческого предложения. Для реализации данной технологии одним из основных требований является наличие большого пространства и постоянные ветры. Возможно, проект будет реализован над морской поверхностью.

Для улавливания хаотичных завихрений между высокими зданиями городов предложены сферические устройства, конструкция которых представлена на рис. 3.16.



Рисунок 3.16 – Сферический ветрогенератор O-Wind

Идея создания заключается в том, чтобы создать турбину, которая улавливает потоки со всех сторон, в том числе сверху и снизу. Конструкция имеет приближенную к шару форму и покрыта отверстиями с широким раструбом входа и узким выходом. На основании принципа Бернулли происходит вращение и преобразование энергии. В настоящее время в использовании только опытные образцы.

Компания Tyer Wind предлагает инновационный конвертер ветровой энергии. Это изобретение стало возможным благодаря инженерной науке, которая повторяет природные способы и методы преобразования энергии. Работа турбины основана на имитации движения крыльев колибри. Создать её получилось после тщательного и глубокого наблюдения «прототипа» в естественных условиях.

Вместо традиционных лопастей ветряк Tyer Wind имеет два крыла из углеродного волокна, форма которых соответствует природному аналогу (рис. 3.17).



Рисунок 3.17 – Революционный ветрогенератор «Колибри»

Готов к выпуску пилотный образец ветрогенератора Machine TW2 Himilse мощностью 1 кВт. Эффективная работа генератора начинается со скорости ветра 3,8 м/с. Ветрогенератор обладает двумя крыльями, длиной 1,6 метра. Предварительные исследования генератора показали, что его КПД довольно высок.

Японская компания Challenergy предложила решение для использования энергии тайфунов. Идея преобразования колоссального количества энергии тайфунов давняя, однако только недавно группа учёных и технологов разработала вертикальный генератор, предназначенный для преобразования мощных ветров от тайфунов (рис. 3.18). Подсчитано, определённое количество подобных установок способно обеспечить всё государство энергией от одного тайфуна на многие годы вперёд. Одну турбину установил в округе Японии, чтобы испытания проходили в реальных условиях.



Рисунок 3.18 – Тайфунная турбина

Также появилась разработка гигантской ветровой турбины, длина лопастей которой около 200 м (рис. 3.19). Турбина обладает складывающимися лопастями, которые могут закрываться при скоростях ветра, превышающих предусмотренную. Несмотря на то, что такие масштабные конструкции могут помочь достичь цели Министерства Энергетики США по достижению двадцати процентной отметки ветроэнергии в балансе энергетики страны, сомнения у специалистов вызывает способ монтажа в море таких гигантских конструкций. Возможно, турбины будут иметь модульную конструкцию.

Идея создания подобных конструкций также подмечена у природы – прототипом является пальмовый ствол, который состоит из секций, которые не ломаются под нагрузкой сильных ветров.

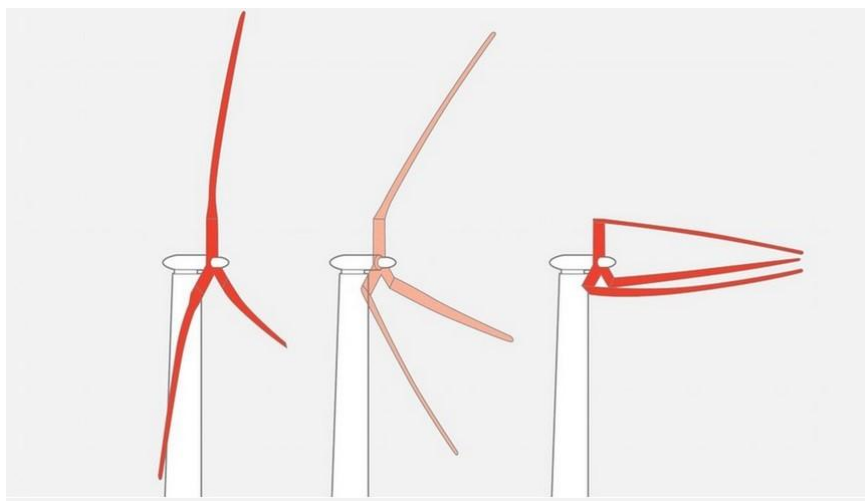


Рисунок 3.19 – Сегментированный ультралёгкий трансформирующийся ротор

Ещё одной современной инновацией является голландская разработка экоздания с использованием идей ветроэнергетики. Проект предусматривает создание жилого комплекса туристического назначения в форме ветрового колеса с функционирующей системой оборотного водоснабжения (сбором дождевой воды) и производством биогаза. Создатели проекта намереваются продемонстрировать технические инновации в области максимального и рационального использования природных ресурсов. Электростатический преобразователь ветровой энергии (EWICON) является технологией, разработанной консорциумом TU Delft and Wageningen University в контексте инновационной программы правительства. Она обеспечивает конвертацию энергии ветра в электрическую без движущихся механических частей (рис. 3.20).



Рисунок 3.20 – Экоздание

Летающий генератор, выполненный из ткани и наполненный гелием является разработкой Американской компании Altaeros. По планам разработчиков, установка будет парить на высоте около трёхсот метров и улавливать энергию сильных порывов и потоков ветра. Помимо основного назначения установка может стать передатчиком мобильных сигналов и точкой сбора метеорологических данных (рис. 3.21).



Рисунок 3.21 – Ветрогенератор-аэростат

Принцип преобразования энергии ветра такой же, как и в наземных установках – внутри турбины установлен генератор с лопастями, которые вращает ветер. Установка фиксируется тросом-кабелем, который удерживает её на определённой высоте. Предполагается использование конструкции в сложных погодных условиях, поэтому подразумевается защита от различных воздействий среды. Использование аэростатов-ветрогенераторов будет в первую очередь возможно в зонах, где установка обычных ВЭУ осложнена или в зонах, требующих срочного обеспечения электричеством.

Испанская компания Vortex Bladeless предлагает ветрогенератор без лопастей (рис. 3.22) и заявляет, что данная конструкция превосходит традиционные ветряки по безопасности, эффективности и удобству монтажа. Турбина представляет собой вертикальные столбы, которые генерируют электричество, преобразовывая энергию вихрей воздушных потоков,

образующиеся при обтекании поверхности столба и раскачивании конструкций . Затраты на обслуживание ниже, чем у традиционных установок, есть возможность устанавливать большее количество генераторов на отведённой территории, что является важным моментом при создании значительных по масштабам электростанций.

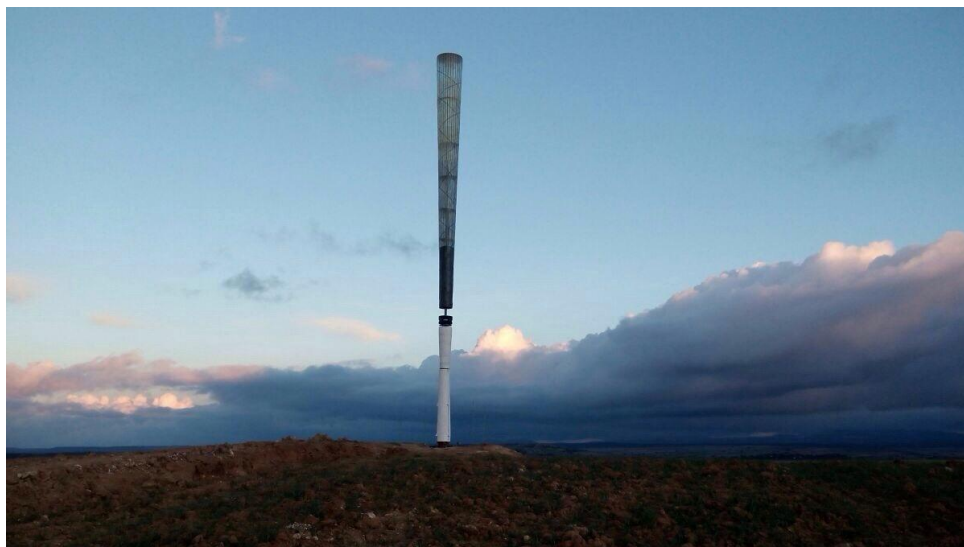


Рисунок 3.22 – Безлопастные генераторы

Десятка мировых лидеров в области ветроэнергетики постоянно развивает свои возможности и достигает новых высот в масштабах и способах использования ветроэнергии.

Наряду с использованием классических технологий по улавливанию и преобразованию энергии ветра постоянно появляются и разрабатываются новые идеи, которые призваны ещё более рационализировать использование энергии ветра. Многие новые разработки пройдя соответствующие проверки и испытания перейдут на уровень массового производства и внедрения. Некоторые разработки, не подтвердившие свою состоятельность, даже не став в массовое производство, могут продемонстрировать миру новые возможности науки и техники в разных областях и подтолкнуть разработчиков к новым идеям.

В Донецкой Народной Республике РФ также существуют разработки использования энергии ветра для обеспечения энергией отдалённых от инфраструктуры районов и установки автономных ветрогенераторов на

породных отвалах. Разработана система использования ветрогенераторов, устанавливаемых в рельефных концентраторах ветрового потока на породных отвалах.

3.5. Вопросы и задания для самопроверки и контроля усвоения знаний

Вопросы для самопроверки

1. Ветровая энергия.
2. Ветроэнергетика.
3. Принцип преобразования энергии ветра.
4. Принцип работы ветрогенератора.
5. Ветрогенераторы с вертикальной осью вращения.
6. Ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения.
7. Классификация ветрогенераторов по количеству лопатей.
8. Классификация по применяемому материалу изготовления лопатей.
9. Классификация ветроустановок по шагу винта.
10. Новейшие разработки в области ветроэнергетики.

Задания для самопроверки

Рассчитать мощность и выбрать модель ветрогенератора для обеспечения электроэнергией дома (квартиры)

Необходимо произвести расчет мощности ветрогенераторной установки, которая полностью (без участия других энергоносителей) сможет покрыть потребность в электроэнергии квартиры (дома).

Вспомогательная информация.

Полезное видео для освоения темы:

<http://dist.donntu.org/mod/url/view.php?id=33508>

Каталог ветрогенераторов

http://www.altalgroup.com/download/wind_catalog_2007-12-21.pdf

Примеры ветрогенераторов выбранной мощности

<http://www.electroveter.ru/vetrogenerator-1-kvt.html>

<http://kombitel.ru/catalog/alternative/vetrogenerator/~-vetrogenerator-veu13-na-1kvt/>

<https://prom.ua/Vetrogenerator-1-kvt.html>

Пример расчета ветроколеса с вертикальной осью

http://e-veterok.ru/raschet_vertikalnogo_vetrogenerатора.php

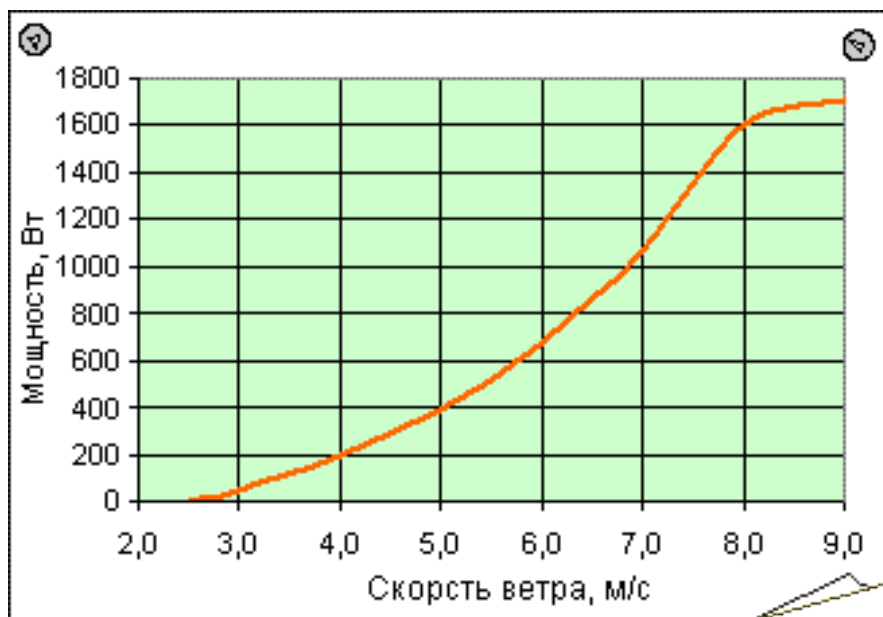


Рисунок 3.23 – Зависимость мощности ветрогенератора от скорости ветра

Средняя скорость ветра в Донецке 4 м/с

1 м/с = 3,6 км/ч

1 км/ч = 0,28 м/с

Ход работы:

1. Расчет ветрогенератора

Задача 1. Рассчитать мощность ветроустановки с радиусом ротора R м при стартовой скорости ветра V м/с, коэффициентом использования ветра ξ , КПД редуктора – $\eta_{ред}$; КПД генератора – $\eta_{ген}$.

Задача 2. При какой скорости ветра ветроустановка будет генерировать количество энергии, достаточное для обеспечения энергией среднего коттеджного домика при радиусе ротора R м, коэффициенте использования ветра – ξ ; КПД редуктора – $\eta_{ред}$; КПД генератора – $\eta_{ген}$.

Расчет ветрогенератора производят по алгоритму:

1. Мощность ветроустановки равна:

$$P = \eta \cdot P_T, \quad (3.1)$$

где η – коэффициент полезного действия генератора и трансмиссии (обычно равен 0.8 - 0.9); P_T – мощность ветротурбины.

2. Мощность турбины составляет

$$P_T = \xi \cdot P_{\Pi}, \quad (3.2)$$

где ξ – коэффициент ветроиспользования. Принципиально отличается от КПД тем, что "недополученная" мощность, в основном, не является потерями, а остается в потоке. По разным теориям максимальное значение коэффициента ветроиспользования идеального устройства составляет 0,59 – 0,68. Это легко понять, представив крайнюю ситуацию, когда у потока отбирается 100% энергии. В таком случае поток должен полностью остановиться, что уже противоречит его наличию. Реальный коэффициент ветроиспользования хорошо спроектированной турбины составляет 0,4 - 0,55; P_{Π} – мощность ветрового потока, проходящего через ометаемую ветротурбиной площадь.

3. Мощность потока вычисляется по формуле

$$P_{\Pi} = \frac{\rho \cdot V^3}{2} S, \quad (3.3)$$

где ρ – плотность воздуха (стандартное значение 1,225 кг/м³); V – скорость невозмущенного ветрового потока; $S = \pi D^2/4$ – ометаемая площадь.

Более точный расчет можно провести по формуле

$$P = \xi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot 0,5 \cdot V^3 \cdot \rho \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{ген}, \quad (3.4)$$

где ξ – коэффициент использования энергии ветра (в номинальном режиме для быстроходных ветряков достигает максимум $\xi_{\max} = 0,4 \div 0,5$), безмерная величина; R – радиус ротора, м; V – скорость воздушного потока, м/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³; $\eta_{\text{ред}}$ – КПД редуктора, %; $\eta_{\text{ген}}$ – КПД генератора, %.

Для обеспечения энергией среднего коттеджного домика необходимо иметь установку средней мощности 3 кВт.

Таблица 3.1 - Варианты заданий

Величины и единицы их измерения	Варианты заданий									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R , м	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
V , м/с	4,7	4,9	5,2	6,4	6,3	5,5	5,8	5,0	4,9	4,7
ξ	0,4	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,47	0,49	0,5	0,53
$\eta_{\text{ред}}$, %	0,84	0,83	0,82	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
$\eta_{\text{ген}}$, %	0,88	0,89	0,9	0,87	0,86	0,85	0,9	0,87	0,88	0,89

Задача 3. Определить мощность ветровой электростанции, содержащей n однотипных ветроэнергетических установок. Длина лопасти ветроколеса L , скорость ветра w , КПД ветродвигателя η_6 , электрический КПД установки (генератора и преобразователя) $\eta_э$, температура воздуха t , атмосферное давление p .

Ветровой поток, проходящий через площадь F , ометаемую лопастями ветродвигателя, имеет энергию

$$E = \frac{mw^2}{2} \text{ Дж}, \quad (3.5)$$

где w – скорость ветра, м/с; m – масса воздуха.

За секунду через площадь F протекает $m = \rho w F$ кг/с, где $\rho = p/RT$ – плотность воздуха, кг/м³, p – атмосферное давление, Па, $R = 287$ Дж/кг·К – газовая постоянная, T – абсолютная температура, К. Площадь F определяется через длину лопасти L ветроколеса: $F = \pi L^2$. Соответственно электрическая мощность N , развиваемая ВЭУ, определяется формулой

$$N = \frac{\eta_v \eta_{\text{э}} \rho \pi L^2 w^3}{2} \text{ Вт}, \quad (3.6)$$

где η_v – КПД ветродвигателя (изменяется в пределах 0,25...0,35); $\eta_{\text{э}}$ – электрический КПД ветрогенератора и преобразователя (в пределах 0,70...0,85).

Таблица 3.2 – Варианты заданий

Величины и единицы их измерения	Варианты заданий									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n, шт	8	9	10	11	12	11	10	9	8	7
L, м	55	57	59	61	63	66	69	72	75	78
w, м/с	12	11	10	9	12	14	16	18	20	18
η_v , %	31	32	33	34	33	32	33	34	33	34
$\eta_{\text{э}}$, %	73	74	75	76	78	77	76	77	78	79
t, °C	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
p, кПа	100	101	102	101	100	99	98	97	99	101

4. ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

4.1. Энергия тепла Земли

Геотермальная энергия – энергия тепла Земли («гео» – земля, «термальная» – тепловая). Основным источником этой энергии служит постоянный поток теплоты из раскаленных недр, направленный к поверхности Земли (рис. 4.1). Земная кора получает теплоту в результате трения ядра, радиоактивного распада элементов (подобно торию и урану), химических реакций. Постоянные времени этих процессов настолько велики относительно времени существования Земли, что невозможно оценить, увеличивается или уменьшается ее температура.



Рисунок 4.1 – Гейзер

Запасы геотермальной энергии огромны. Геотермальная энергия в ряде стран (Венгрии, Исландии, Италии, Мексики, Новой Зеландии, России, США, Японии) широко используется для теплоснабжения, выработки электроэнергии.

Так, в Исландии за счет геотермальной энергии обеспечивается 26,5 % выработки электроэнергии.

Различают пять основных типов геотермальной энергии:

- нормальное поверхностное тепло Земли на глубине от нескольких десятков до сотен метров;
- гидротермальные системы, то есть резервуары горячей или теплой воды, в большинстве случаев самовыливной;
- парогидротермальные системы – месторождения пара и самовыливной пароводяной смеси;
- петрогеотермальные зоны или теплота сухих горных пород;
- магма (нагретые до 1300 °С расплавленные горные породы).

Экономически целесообразно комплексное освоение геотермальных ресурсов.

Добыча гидротермального теплоносителя с сопутствующим извлечением топливного газа, минеральных веществ и использованием свойств природного теплоносителя в сумме дает больший экономический эффект, чем прямое энергетическое освоение отдельных видов геотермальных ресурсов.

По своей сути геотермальные ресурсы являются полезным ископаемым, частью водных ресурсов и компонентом природной среды. Особенностью этого вида ресурсов является освоение его по месту добычи, поскольку при транспортировке на большие расстояния геотермальный теплоноситель теряет свои свойства. Расстояние от места добычи до потребителя не должно превышать 10 - 20 км.

Геотермальная энергетика – направление энергетики, основанное на производстве тепловой и электрической энергии за счет энергии, содержащейся в недрах земли.

По данным геолого-геофизических исследований, температура в ядре Земли достигает 6 000 °С, постепенно снижаясь в направлении от центра планеты к ее поверхности. Извержение тысяч вулканов, движение блоков земной коры, землетрясения свидетельствуют о действии мощной внутренней

энергии Земли. Ученые считают, что тепловое поле нашей планеты обусловлено радиоактивным распадом в ее недрах, а также гравитационной сепарацией вещества ядра. Запасы геотермальной теплоты ($\sim 8 \cdot 10^{30}$ Дж) в 35 млрд раз превышают годовое мировое потребление энергии. Лишь 1 % геотермальной энергии земной коры (глубина 10 км) может дать количество энергии, в 500 раз превышающее все мировые запасы нефти и газа. Однако сегодня может быть использована лишь незначительная часть этих ресурсов, и это обусловлено, прежде всего, экономическими причинами.

В вулканических районах циркулирующая вода перегревается выше температуры кипения на относительно небольших глубинах и по трещинам поднимается к поверхности, иногда проявляя себя в виде гейзеров (рис. 4.2).

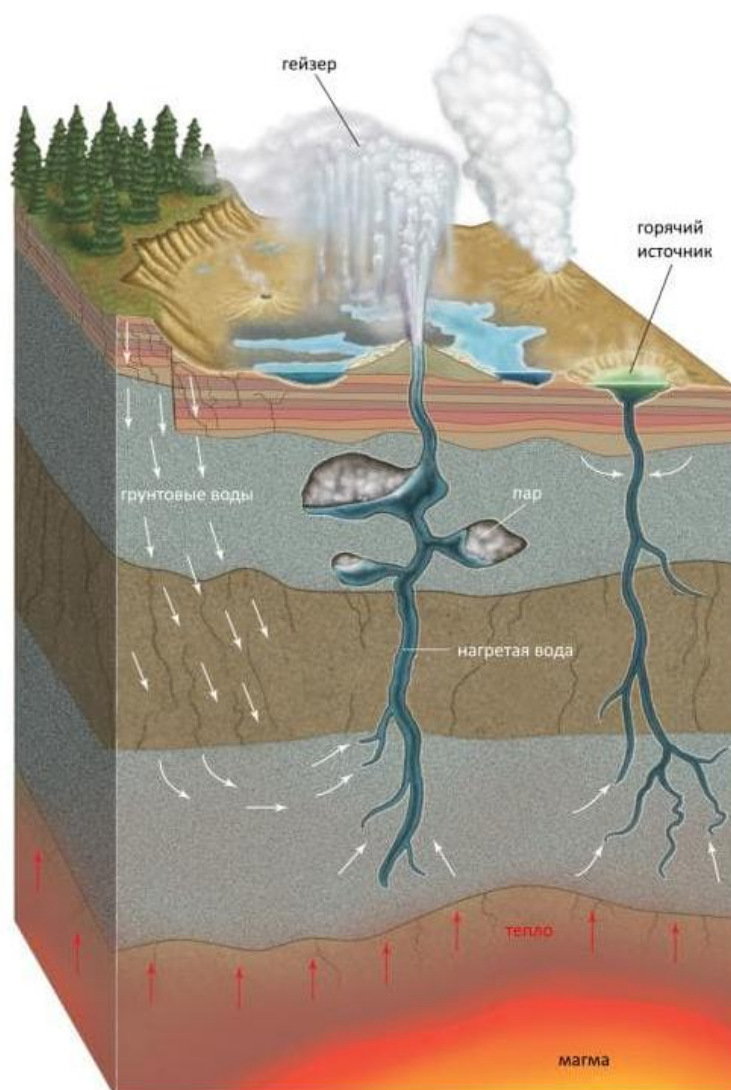


Рисунок 4.2 – Тепло Земли

Доступ к подземным тёплым водам возможен при помощи глубинного бурения скважин. Более чем такие паротермы распространены сухие высокотемпературные породы, энергия которых доступна при помощи закачки и последующего отбора из них перегретой воды. Высокие горизонты пород с температурой менее +100 °С распространены и на множестве геологически малоактивных территорий, потому наиболее перспективным считается использование геотерм в качестве источника тепла.

Хозяйственное применение геотермальных источников распространено в Исландии и Новой Зеландии, Италии и Франции, России, Литве, Мексике, Никарагуа, Коста-Рике, Филиппинах, Индонезии, Китае, Японии, Кении. В Исландии 80 % жилых домов обогревается с помощью горячей воды, добытой из геотермальных скважин под городом Рейкьявик.

В глубину Земли повышение температуры идет на один градус каждые 35 метров.

4.2. Основные типы ресурсов геотермальной энергии и способы использования геотермальной энергии

Основные типы ресурсов геотермальной энергии:

- поверхностное тепло Земли, используемое тепловыми насосами;
- энергетические ресурсы пара, горячей и теплой воды у поверхности земли, которые сейчас используются в производстве электрической энергии;
- теплота, сосредоточенная глубоко под поверхностью земли (возможно, при отсутствии воды);
- энергия магмы и теплота, которая накапливается под вулканами.

Способы использования геотермальной энергии:

- прямое использование тепла;
- производство электроэнергии.

Прямое использование тепла является наиболее простым и поэтому наиболее распространенным способом. Водопровод в таких случаях

монтируется непосредственно в глубинные скважины. Получаемая горячая вода применяется для подогрева дорог, сушки одежды и обогрева теплиц и жилых строений.

При **производстве электричества** из геотермальной энергии отличием является необходимость в более высокой температуре (более 150 °С).

Достоинства и недостатки геотермальной энергии.

Главным достоинством геотермальной энергии является её практическая неиссякаемость и полная независимость от условий окружающей среды, времени суток и года.

Главная из проблем, которые возникают при использовании подземных термальных вод, заключается в необходимости возобновляемого цикла поступления (закачки) воды (обычно отработанной) в подземный водоносный горизонт. В термальных водах иногда содержится большое количество солей различных токсичных металлов (например, свинца, цинка, кадмия), неметаллов (например, бора, мышьяка) и химических соединений (аммиака, фенолов), что исключает сброс этих вод в природные водные системы, расположенные на поверхности.

Классификация геотермальных вод.

По температуре:

- слаботермальные до +40 °С;
- термальные от +40 до +60 °С;
- высокотермальные от +60 до +100 °С;
- перегретые более +100 °С.

По минерализации (сухой остаток):

- ультрапресные до 0,1 г/л;
- пресные 0,1 - 1,0 г/л;
- слабосоленоватые 1,0 - 3,0 г/л;
- сильносоленоватые 3,0 - 10,0 г/л;

- солёные 10,0 - 35,0 г/л;
- рассольные более 35,0 г/л.

По общей жёсткости:

- очень мягкие до 1,2 мг-экв/л;
- мягкие 1,2 - 2,8 мг-экв/л;
- средние 2,8 - 5,7 мг-экв/л;
- жёсткие 5,7 - 11,7 мг-экв/л;
- очень жёсткие более 11,7 мг-экв/л.

По кислотности, pH:

- сильноокислые до 3,5;
- кислые 3,5 - 5,5;
- слабоокислые 5,5 - 6,8;
- нейтральные 6,8 - 7,2;
- слабощелочные 7,2 - 8,5;
- щелочные более 8,5.

По газовому составу:

- сероводородные;
- сероводородно-углекислые;
- углекислые;
- азотно-углекислые;
- метановые;
- азотно-метановые;
- азотные.

По газонасыщенности:

- слабая до 100 мг/л;
- средняя 100 - 1000 мг/л;
- высокая более 1000 мг/л.

4.3. Принцип работы геотермальной станции

Подземные горячие породы нагревают воду, в результате чего выделяется пар. Отверстие бурится до горячей области, пар поднимается вверх и используется для запуска турбин, которые в свою очередь запускают в работу генераторы (рис. 4.3).

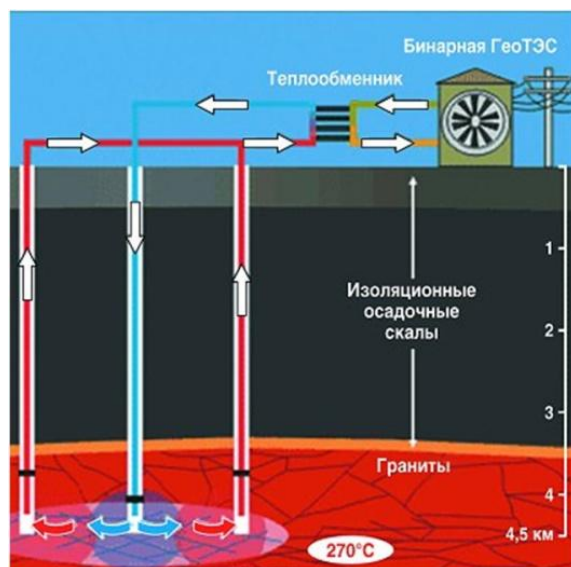


Рисунок 4.3 – Принцип работы геотермальной станции

Геотермальные электростанции, работающие на сухом пару

Паровые электростанции работают преимущественно на гидротермальном пару. Пар поступает непосредственно в турбину, которая питает генератор, производящий электроэнергию. Использование пара позволяет отказаться от сжигания ископаемого топлива (также отпадает необходимость в транспортировке и хранении топлива (рис. 4.4).

Геотермальные электростанции на парогидротермах

Для производства электричества на таких заводах используются перегретые гидротермы (температура выше 182 °C). Гидротермальный раствор нагнетается в испаритель для снижения давления, из-за этого часть раствора очень быстро выпаривается. Полученный пар приводит в действие турбину. Если в резервуаре остается жидкость, то ее можно выпарить в следующем испарителе для получения еще большей мощности (рис. 4.5).

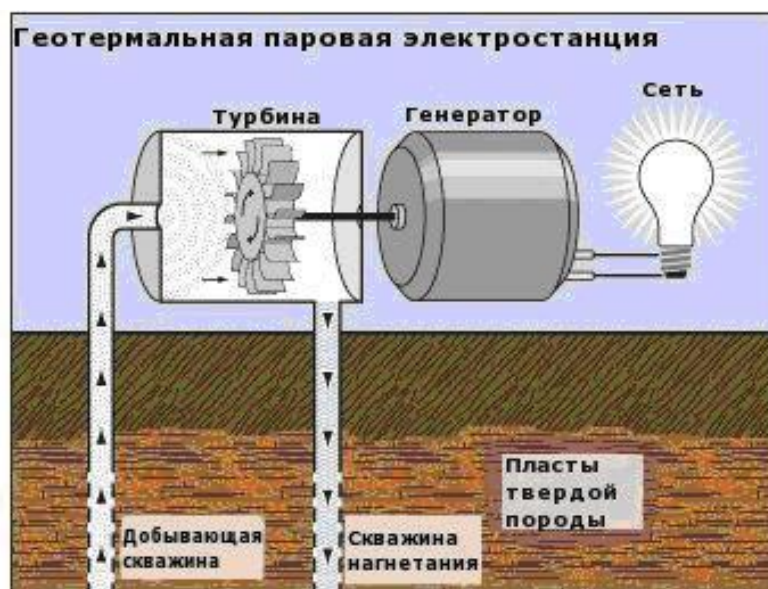


Рисунок 4.4 – Геотермальные электростанции, работающие на сухом пару

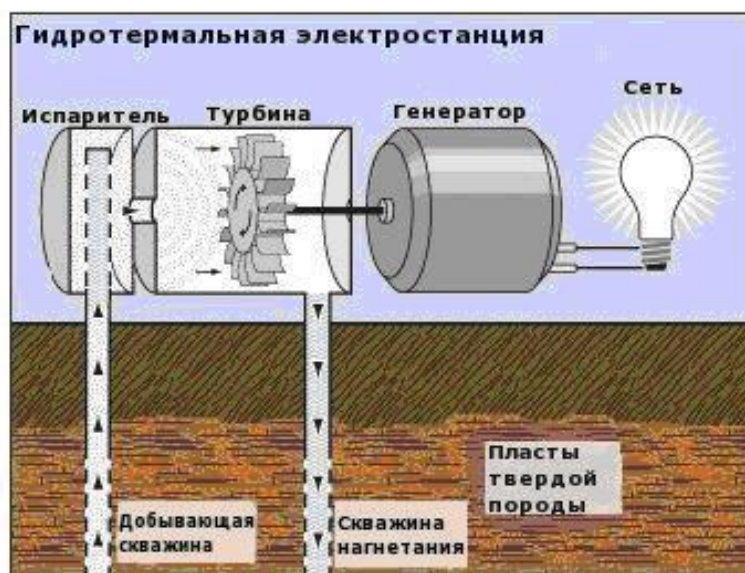


Рисунок 4.5 – Геотермальные электростанции на парогидротермах

Геотермальные электростанции с бинарным циклом производства электроэнергии.

Большинство геотермальных районов содержат воду умеренных температур (ниже $200\text{ }^{\circ}\text{C}$). На электростанциях с бинарным циклом производства эта вода используется для получения энергии. Горячая геотермальная вода и вторая, дополнительная жидкость с более низкой точкой кипения, чем у воды, пропускаются через теплообменник. Тепло геотермальной воды выпаривает вторую жидкость, пары которой приводят в действие турбины.

Так как это замкнутая система, выбросы в атмосферу практически отсутствуют. Воды умеренной температуры являются наиболее распространенным геотермальным ресурсом, поэтому большинство геотермальных электростанций будущего будут работать на этом принципе (рис. 4.6)

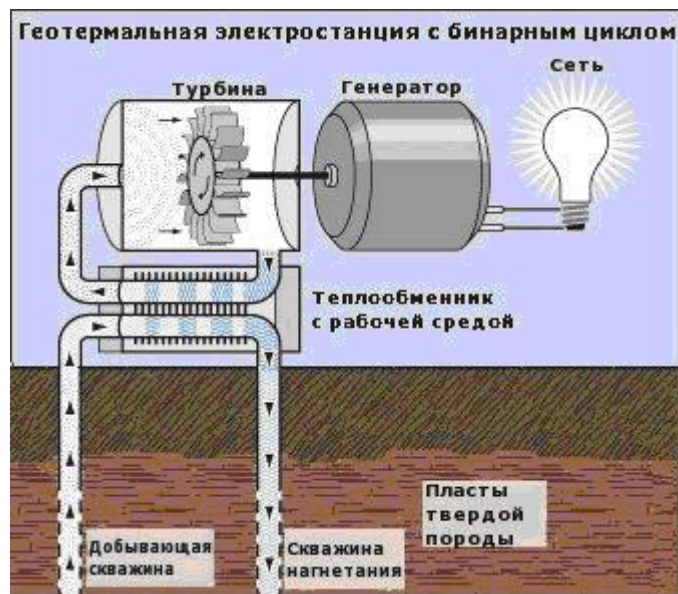


Рисунок 4.6 – Геотермальные электростанции с бинарным циклом производства электроэнергии

4.4. Тепловой насос

Источником энергии для здания и сооружения является тепловой насос. В отличие от других теплогенераторов (газовых, дизельных, электрических), он забирает накопленную землей или подземными грунтовыми водами тепло и передает его в дом. Обладает высоким, в сравнении с другими системами теплоснабжения, коэффициентом эффективности.

Тепловой насос может полностью покрыть потребности здания в тепле, горячем водоснабжении, обеспечить пассивное кондиционирование, одновременно выполняя функции энергосберегающей системы вентиляции..

Принцип работы теплового насоса – «холодильник наоборот». Работает на электроэнергии, но выдаваемая тепловая мощность в 3 - 5 раз больше затрачиваемой электрической. Срок службы – 15 - 25 лет (рис. 4.7).

Типы тепловых насосов.

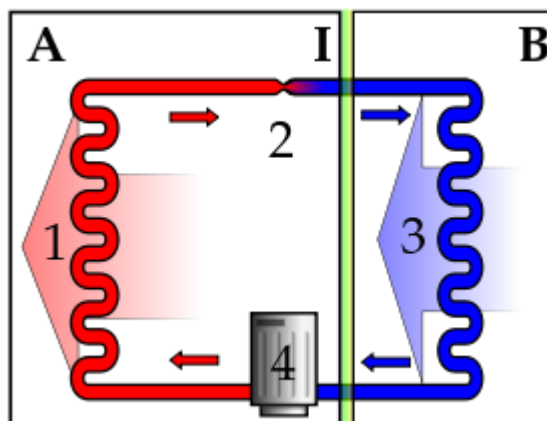


Рисунок 4.7 – Схема компрессионного теплового насоса:
1 – конденсатор, 2 – дроссель, 3 – испаритель, 4 – компрессор

На рисунке 4.8 представлена общая схема работы системы отопления с тепловым насосом.

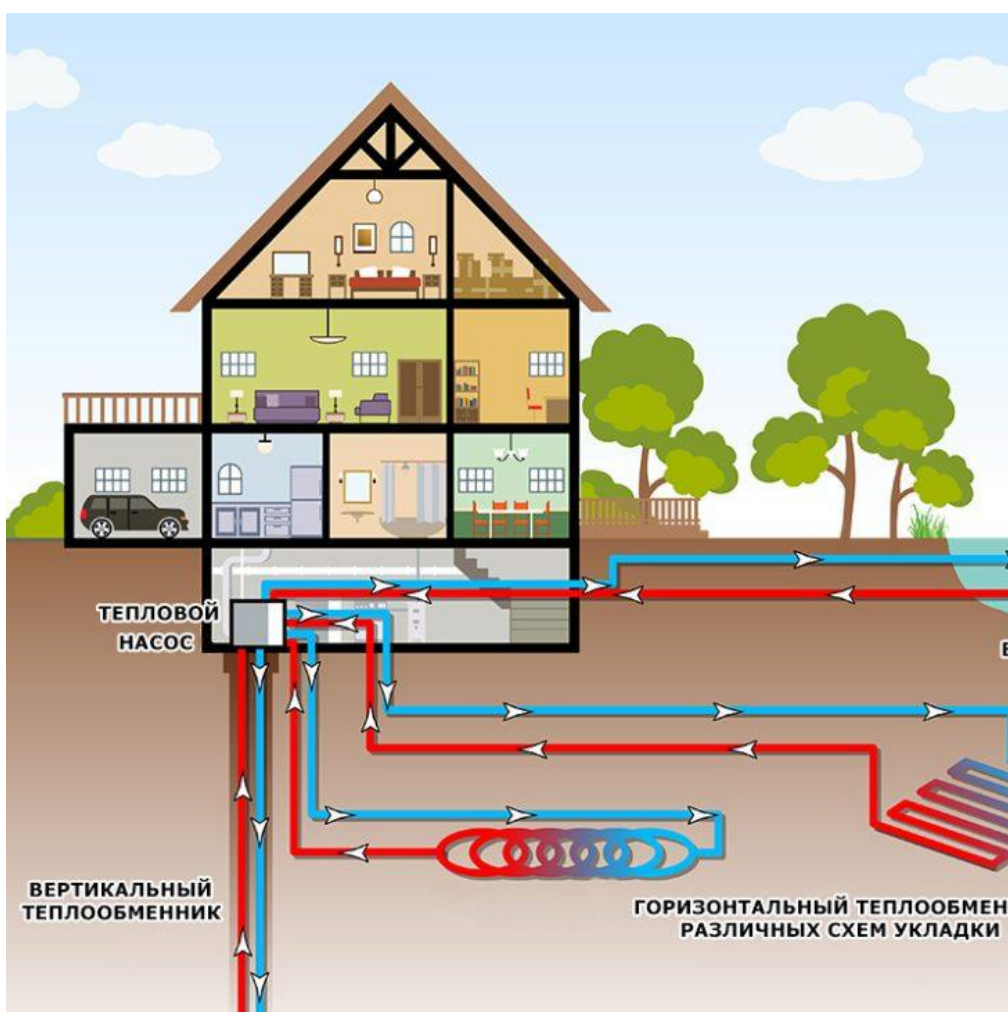


Рисунок 4.8 – Общая схема работы системы отопления с тепловым насосом

Принцип работы тепловых насосов.

- компрессионные;
- абсорбционные.

Компрессионные тепловые насосы всегда приводятся в действие с помощью механической энергии (электроэнергии), в то время как абсорбционные тепловые насосы могут также использовать тепло в качестве источника энергии (с помощью электроэнергии или топлива).

В зависимости от **источника отбора тепла** тепловые насосы подразделяются на следующие виды.

1) Геотермальные (используют тепло земли, наземных либо подземных грунтовых вод)

а) замкнутого типа:

- *горизонтальные*. Коллектор размещается кольцами или извилисто в горизонтальных траншеях ниже глубины промерзания грунта (обычно от 1,2 м и более). Такой способ является наиболее экономически эффективным для жилых объектов при условии отсутствия дефицита земельной площади под контур.

- *вертикальные*. Коллектор размещается вертикально в скважины глубиной до 200 м. Этот способ применяется в случаях, когда площадь земельного участка не позволяет разместить контур горизонтально или существует угроза повреждения ландшафта.

- *водные*. Коллектор размещается извилисто либо кольцами в водоёме (озере, пруду, реке) ниже глубины промерзания. Это наиболее дешёвый вариант, но есть требования по минимальной глубине и объёму воды в водоёме для конкретного региона.

б) открытого типа:

Подобная система использует в качестве теплообменной жидкости воду, циркулирующую непосредственно через систему геотермального теплового насоса в рамках открытого цикла, то есть вода после прохождения по системе возвращается в землю. Этот вариант возможно реализовать на практике лишь

при наличии достаточного количества относительно чистой воды и при условии, что такой способ использования грунтовых вод не запрещён законодательством.

2) Воздушные (источником отбора тепла является воздух) Используют в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии воздух. Причем источником теплоты может быть не только наружный (атмосферный) воздух, но и вытяжной вентиляционный воздух (общеобменной или местной) вентиляции зданий.

3) Использующие производное (вторичное) тепло (например, тепло трубопровода центрального отопления). Подобный вариант является наиболее целесообразным для промышленных объектов, где есть источники тепла, которое требует утилизации (рис. 4.9).



Рисунок 4.9 – Схемы геотермального, воздушного и водного тепловых насосов

Типы промышленных моделей.

По виду теплоносителя во входном и выходном контурах насосы делят на восемь типов: «грунт – вода», «вода – вода», «воздух – вода», «грунт – воздух», «вода – воздух», «воздух – воздух», «фреон – вода», «фреон – воздух».

Отбор тепла от воздуха.

Эффективность и выбор определённого источника тепловой энергии сильно зависят от климатических условий, особенно, если источником отбора тепла является атмосферный воздух. По сути этот тип более известен в виде кондиционера (рис. 4.10). В жарких странах таких устройств десятки миллионов. Для северных стран наиболее актуален обогрев зимой. Системы «воздух–воздух» и «воздух–вода» используются и зимой при температурах до минус 25 °С, некоторые модели продолжают работать до минус 40 °С. Но их эффективность невысока, порядка 1,5 раза, а за отопительный сезон в среднем около 2,2 раза по сравнению с электрическими нагревателями. При сильных морозах используется дополнительное отопление. Когда мощности основной системы отопления тепловыми насосами недостаточно, включаются дополнительные источники теплоснабжения. Такую систему называют бивалентной.

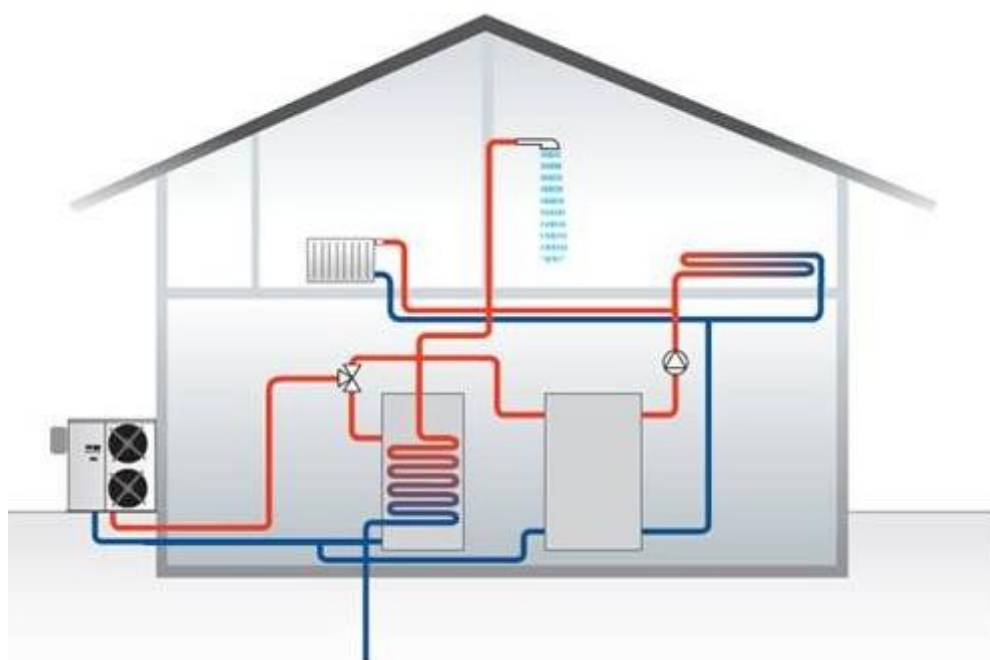


Рисунок 4.10 – Отбор тепла от воздуха

Отбор тепла от горной породы.

Скальная порода требует бурения скважины на достаточную глубину (100 - 200 метров) или нескольких таких скважин. В скважину опускается

U-образный груз с двумя пластиковыми трубками, составляющими контур. Трубки заполняются антифризом. По экологическим соображениям это 30 % раствор этилового спирта. Скважина заполняется грунтовыми водами естественным путём, и вода проводит тепло от камня к теплоносителю. При недостаточной длине скважины или попытке получить от грунта сверхрасчётную мощность, эта вода и даже антифриз могут замёрзнуть что и ограничивает максимальную тепловую мощность таких систем. Именно температура возвращаемого антифриза и служит одним из показателей для схемы автоматики. Ориентировочно на 1 погонный метр скважины приходится 50 - 60 Вт тепловой мощности. Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходима скважина глубиной около 170 м. Нецелесообразно бурить глубже 200 метров, дешевле сделать несколько скважин меньшей глубины через 10 - 20 метров друг от друга. Даже для маленького дома в 110 - 120 м² при небольшом энергопотреблении срок окупаемости 10 - 15 лет. Почти все имеющиеся на рынке установки работают и летом, при этом тепло (по сути солнечная энергия) отбирается из помещения и рассеивается в породе или грунтовых водах. В скандинавских странах со скальным грунтом гранит выполняет роль массивного радиатора, получающего тепло летом/днём и рассеивающего его обратно зимой/ночью. Также тепло постоянно приходит из недр Земли и от грунтовых вод (рис. 4.11).



Рисунок 4.11 – Отбор тепла от горной породы

Отбор тепла от грунта.

Самые эффективные, но и самые дорогие схемы предусматривают отбор тепла от грунта, чья температура не меняется в течение года уже на глубине нескольких метров, что делает установку практически независимой от погоды. В Швеции полмиллиона подобных установок, в Финляндии 50 000, в Норвегии устанавливалось в год до 70 000. При использовании в качестве источника тепла энергии грунта трубопровод, в котором циркулирует антифриз, зарывают в землю на 30 - 50 см ниже уровня промерзания грунта в данном регионе. На практике 0,7 - 1,2 метра. Минимальное рекомендуемое производителями расстояние между трубами коллектора – 1,2 - 1,5 метра. Здесь не требуется бурение, но требуются более обширные земельные работы на большой площади, и трубопровод более подвержен риску повреждения. Эффективность такая же, как при отборе тепла из скважины. Специальной подготовки почвы не требуется. Но желательно использовать участок с влажным грунтом, если же он сухой, контур надо сделать длиннее. Ориентировочное значение тепловой мощности, приходящейся на 1 м трубопровода: в глине – 50 - 60 Вт, в песке – 30 - 40 Вт для умеренных широт, на севере значения меньше. Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходим земляной контур длиной 350 - 450 м, для укладки которого потребуется участок земли площадью около 400 м² (20×20 м). При правильном расчёте контур мало влияет на зелёные насаждения.

Отбор тепла от водоёма.

При использовании в качестве источника тепла близлежащего водоёма контур укладывается на дно. Глубина не менее 2 м. Коэффициент преобразования энергии тепловым насосом такой же, как при отборе тепла от грунта. Ориентировочное значение тепловой мощности на 1 м трубопровода – 30 Вт. Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходимо уложить в озеро контур длиной 300 м. Чтобы трубопровод не всплывал, на 1 погонного м устанавливается около 5 кг груза.

Если тепла из внешнего контура всё же недостаточно для отопления в сильные морозы, практикуется эксплуатация насоса в паре с дополнительным генератором тепла (в таких случаях говорят об использовании бивалентной схемы отопления). Когда уличная температура опускается ниже расчётного уровня (температуры бивалентности), в работу включается второй генератор тепла – чаще всего небольшой электронагреватель (рис. 4.12).

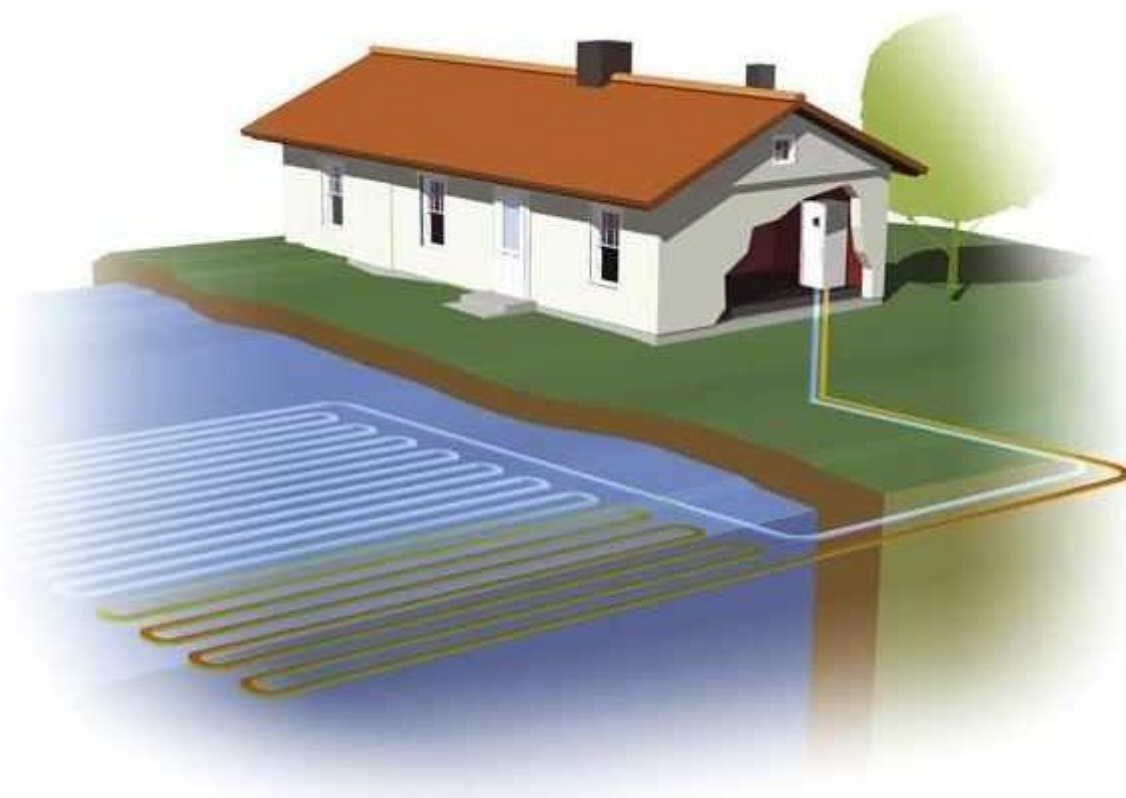


Рисунок 4.12 – Отбор тепла от водоёма

Преимущества тепловых насосов:

– **экономичность:** для передачи в систему отопления 1 кВт·ч тепловой энергии установке необходимо затратить всего 0,2 кВт·ч электроэнергии. Так как преобразование тепловой энергии в электрическую на крупных электростанциях происходит с КПД до 50 %, эффективность использования топлива при применении тепловых насосов повышается. Упрощаются требования к системам вентиляции помещений и повышается уровень пожарной безопасности. Все системы функционируют с использованием замкнутых

контуров и практически не требуют эксплуатационных затрат, кроме стоимости электроэнергии, необходимой для работы оборудования.

- **возможность** переключения с режима отопления зимой на режим кондиционирования летом.

- **надёжность:** тепловой насос надёжен, его работой управляет автоматика. В процессе эксплуатации система не нуждается в специальном обслуживании, возможные манипуляции не требуют особых навыков и описаны в инструкции.

- **компактность:** теплонасос компактен (его модуль по размерам не превышает обычный холодильник) и практически бесшумен.

Хотя идея, высказанная лордом Кельвином в 1852 году, была реализована уже спустя четыре года, практическое применение теплонасосы получили только в 1930-х годах. В настоящее время в Японии, эксплуатируется более 3,5 миллионов установок, в Швеции около 500 000 домов обогревается тепловыми насосами различных типов.

Недостатки тепловых насосов:

- большая стоимость установленного оборудования;
- необходимость сложного и дорогого монтажа внешних подземных или подводных теплообменных контуров.

Недостатком воздушных тепловых насосов является более низкий коэффициент преобразования тепла, связанный с низкой температурой кипения хладагента во внешнем «воздушном» испарителе.

Общим недостатком тепловых насосов является сравнительно низкая температура нагреваемой воды, в большинстве не более +50...+60 °С, причём, чем выше температура нагреваемой воды, тем меньше эффективность и надёжность теплового насоса

4.5. Вопросы и задания для самопроверки и контроля усвоения знаний

Вопросы для самопроверки

1. Геотермальные электростанции, работающие на сухом пару.
2. Геотермальные электростанции на парогидротермах.
3. Геотермальные электростанции с бинарным циклом производства электроэнергии.
4. Тепловой насос.
5. Типы тепловых насосов.
6. Принцип работы тепловых насосов.
7. Отбор тепла от воздуха.
8. Отбор тепла от горной породы.
9. Отбор тепла от грунта.
10. Отбор тепла от водоема.
11. Преимущества и недостатки тепловых насосов.

Задания для самопроверки и контроля усвоения знаний

Вспомогательная информация.

Полезное видео для освоения темы:

<http://dist.donntu.org/mod/url/view.php?id=33512>

<http://dist.donntu.org/mod/url/view.php?id=33514>

Задача 1. Определить начальную температуру t_2 и количество геотермальной энергии E_o (Дж) водоносного пласта толщиной h км при глубине залегания z км, если заданы характеристики породы пласта: плотность $\rho_{gp} = 2700$ кг/м³; пористость $a = 5$ %; удельная теплоемкость $C_{gp} = 840$ Дж/(кг·К). Температурный градиент (dT/dz) в С /км выбрать по таблице вариантов задания.

Среднюю температуру поверхности t_o принять равной 10 °С. Удельная теплоемкость воды $C_e = 4200$ Дж/(кг · К); плотность воды $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³. Расчет произвести по отношению к площади поверхности $F = 1$ км². Минимально допустимую температуру пласта принять равной $t_1 = 40$ °С.

Определить также постоянную времени извлечения тепловой энергии τ_0 (лет) при закачивании воды в пласт и расходе ее $V = 0,1 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$. Какова будет тепловая мощность, извлекаемая первоначально $(dE/dz)_\tau = 0$ и через 10 лет $(dE/dz)_\tau = 10$?

Задача 1 посвящена тепловому потенциалу геотермальной энергии, сосредоточенной в естественных водоносных горизонтах на глубине z (км) от земной поверхности. Обычно толщина водоносного слоя h (км) меньше глубины его залегания. Слой имеет пористую структуру – скальные породы имеют поры, заполненные водой (пористость оценивается коэффициентом α). Средняя плотность твердых пород земной коры $\rho_{\text{гр}} = 2700 \text{ кг/м}^3$, а коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{гр}} = 2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Изменение температуры грунта по направлению к земной поверхности характеризуется температурным градиентом (dT/dz) , измеряемым в $^\circ\text{C/км}$ или K/км .

Наиболее распространены на земном шаре районы с нормальным температурным градиентом (менее $40 \text{ }^\circ\text{C/км}$) с плотностью исходящих в направлении поверхности тепловых потоков $\approx 0,06 \text{ Вт/м}^2$. Экономическая целесообразность извлечения тепла из недр Земли здесь маловероятна.

В *полутермальных* районах температурный градиент равен $40 - 80 \text{ }^\circ\text{C/км}$. Здесь целесообразно использовать тепло недр для отопления, в теплицах, в бальнеологии.

В *гипертермальных* районах (вблизи границ платформ земной коры) градиент более $80 \text{ }^\circ\text{C/км}$. Здесь целесообразно строить ГеоТЭС.

При известном температурном градиенте можно определить температуру водоносного пласта перед началом его эксплуатации:

$$T_r = T_0 + (dT/dz) \times z, \quad (4.1)$$

где T_0 - температура на поверхности Земли, $\text{K (}^\circ\text{C)}$).

В расчетной практике характеристики геотермальной энергетики обычно относят к 1 км^2 поверхности F .

Теплоемкость пласта $C_{\text{пл}}$ (Дж/К) можно определить по уравнению

$$C_{\text{пл}} = [\alpha \cdot \rho_v \cdot C_v + (1 - \alpha) \cdot \rho_{\text{гр}} \cdot C_{\text{гр}}] \cdot h \cdot F, \quad (4.2)$$

где ρ_v и C_v - соответственно плотность и изобарная удельная теплоёмкость воды; $\rho_{гр}$ обычно $\rho_{гр} = 820 - 850 \text{ Дж}/(\text{кг} \times \text{K})$.

Если задать минимально допустимую температуру, при которой можно использовать тепловую энергию пласта T_1 (K), то можно оценить его тепловой потенциал к началу эксплуатации (Дж):

$$E_0 = C_{пл} \cdot (T_2 - T_1). \quad (4.3)$$

Постоянную времени пласта τ_0 (возможное время его использования, лет) в случае отвода тепловой энергии путем закачки в него воды с объемным расходом V ($\text{м}^3/\text{с}$) можно определить по уравнению:

$$\tau_0 = C_{пл} / (V \cdot \rho_v \cdot C_v). \quad (4.4)$$

Считают, что тепловой потенциал пласта во время его разработки изменяется по экспоненциальному закону:

$$E = E_0 \cdot e^{-(\tau/\tau_0)}, \quad (4.5)$$

где τ – число лет с начала эксплуатации; e – основание натуральных логарифмов.

Тепловая мощность геотермального пласта в момент времени τ (лет с начала разработки) в Вт (МВт):

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau} = - \frac{E_0}{\tau_0} \exp \left(- \frac{\tau}{\tau_0} \right), \quad (4.6)$$

Таблица 4.1 – Варианты заданий

Величины и единицы их измерения	Варианты заданий									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h , км	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
z , км	2,5	3,0	3,5	4,0	3,5	3,0	2,5		3,5	
(dT/dz) , °C/км										

5. ЭНЕРГИЯ ОКЕАНА

5.1. Энергетические ресурсы Мирового океана

В Мировом океане заключены огромные, поистине неисчерпаемые ресурсы механической и тепловой энергии. Моря и океаны занимают 71 % поверхности Земли. Объемы воды в этих акваториях огромны, а имеющаяся в них возобновляемая энергия практически неисчерпаема. Вода здесь пребывает в непрерывном движении, которое проявляется в волнах в открытом море, морском прибое, приливах и отливах, а также в морских течениях. Источником этой энергии является космос, главным образом Солнце: волны вызываются ветром, морские течения обусловлены особенностями климата, а приливы и отливы вызваны силами притяжения Луны и Солнца.

Кроме четырех океанов (Атлантического, Тихого, Индийского и Северного Ледовитого) имеется множество морей, среди которых выделяют окраинные моря – Баренцево, Берингово, Охотское и др., находящиеся по окраинам океанов, и внутриконтинентальные – Черное, Балтийское, Средиземное и др., связанные с океанами проливами. Аральское и Каспийское моря также некогда соединялись с океаном. Выделяют два типа морей: котловинные, глубина которых достигает 5 км, а рельеф дна сходен с рельефом океана (Берингово, Охотское, Японское и др.), и плоские, глубина которых лишь местами превышает 300 м (Баренцево, Белое, Карское, Балтийское и др.). Плоские моря возникли в результате опускания участков суши ниже уровня океана.

Основные виды энергии океана – энергия приливов, волн, океанических (морских) течений и температурного градиента.

Общеизвестно, что **приливы и отливы** происходят два раза в сутки. В открытом океане амплитуда между полной и малой водой составляет примерно 1 м, но в пределах континентального шельфа, особенно в заливах и эстуариях рек, она бывает значительно большей. Суммарную энергетическую мощность приливов обычно оценивают от 2,5 млрд до 4 млрд кВт. Добавим, что энергия

только одного приливно-отливного цикла достигает примерно 8 трлн кВт · ч, а это лишь немногим меньше общей мировой выработки электроэнергии в течение целого года. Следовательно, энергия морских приливов – неисчерпаемый источник энергии.

Считается, что наибольшими запасами приливной энергии обладает Атлантический океан. В его северо-западной части, на границе США и Канады, находится залив Фанди, представляющий собой внутреннюю суженную часть более открытого залива Мэн. Этот залив знаменит самыми высокими в мире приливами, достигающими 18 м. Очень высоки приливы и у берегов Канадского Арктического архипелага. Например, у побережья Баффиновой Земли они поднимаются на 15,6 м. В северо-восточной части Атлантики приливы до 10 и даже 13 м наблюдаются в проливе Ла-Манш у берегов Франции, в Бристольском заливе и Ирландском море у берегов Великобритании и Ирландии.

Велики также запасы приливной энергии в Тихом океане. В его северо-западной части особенно выделяется Охотское море, где в Пенжинской губе (северо-восточная часть залива Шелихова) высота приливной волны составляет 9 - 13 м. На восточном побережье Тихого океана благоприятные условия для использования приливной энергии имеются у берегов Канады, Чилийского архипелага на юге Чили, в узком и длинном Калифорнийском заливе Мексики.

В пределах Северного Ледовитого океана по запасам приливной энергии выделяются Белое море, в Мезенской губе которого приливы имеют высоту до 10 м, и Баренцево море у берегов Кольского полуострова (приливы до 7 м). В Индийском океане запасы такой энергии значительно меньше. В качестве перспективных для строительства ПЭС здесь обычно называют залив Кач Аравийского моря (Индия) и северо-западное побережье Австралии. Однако и в дельтах Ганга, Брахмапутры, Меконга и Иравади приливы тоже составляют 4 - 6 м.

К числу энергетических ресурсов Мирового океана относят также **кинетическую энергию волн**. Энергию ветровых волн суммарно оценивают в 2,7 млрд кВт в год. Опыты показали, что её следует использовать не у берега,

куда волны приходят ослабленными, а в открытом море или в прибрежной зоне шельфа. В некоторых шельфовых акваториях волновая энергия достигает значительной концентрации: в США и Японии – около 40 кВт на 1 м волнового фронта, а на западном побережье Великобритании – даже 80 кВт на 1 м.

Еще один энергетический ресурс Мирового океана – **океанические (морские) течения**, которые обладают огромным энергетическим потенциалом.

Когда говорят об использовании **температурного градиента**, то имеют в виду источник уже не механической, а тепловой энергии, заключенной в массе океанских вод. Обычно разность температур воды на поверхности океана и на глубине 400 м составляет 12 °С. Однако в акваториях тропиков, расположенных между 20° с. ш. и 20° ю. ш., верхние слои воды в океане могут иметь температуру 25-28°С, а нижние, на глубине 1000 м – всего 5 °С. Именно в таких случаях, когда амплитуда температур достигает 20° и более, считается экономически оправданным использование её для получения электроэнергии на гидротермальных (моретермальных) электростанциях.

Гидроэлектростанция (ГЭС) – это совокупность сооружений и оборудования, предназначенных для преобразования механической энергии потока воды в электроэнергию. Гидроэлектростанции характеризуются высокой эффективностью преобразования имеющихся гидроэнергетических ресурсов в электроэнергию. Коэффициент полезного действия находится в пределах 70-90%, иногда еще выше. Гидроэнергетика относится к освоенным способам производства электроэнергии без использования ископаемого органического и ядерного топлива, имеет достаточно прогнозируемый возобновляемый энергоресурс, наименьшую себестоимость среди традиционных и большинства нетрадиционных технологий, уникальные маневровые и мобильные свойства, характеризуется значительным эксплуатационным ресурсом.

Высокая маневренность ГЭС способствует решению сложных задач регулирования электроснабжения потребителей в объединенной энергосистеме и обеспечение её устойчивости с учетом графиков неравномерной нагрузки, повышения надежности, безопасности и эффективности производства.

5.2. Энергия приливов, течений. Принцип преобразования энергии

Особенностью приливных электростанций (ПЭС) является использование ими естественной возобновляемой энергии морских приливов, природа которых связана с приливообразующей силой, возникающей при гравитационном взаимодействии Земли с Луной и Солнцем. Для водной оболочки Земли практическое значение имеет лишь горизонтальная составляющая приливообразующей силы. Из-за близости Луны к Земле величина прилива под воздействием Луны в 2,2 раза больше солнечного.

На побережьях морей и океанов наиболее часто встречается полусуточный прилив, у которого за лунные сутки (24 часа 50 мин) максимальная волна прилива приходит дважды. Поднятую на максимальную высоту во время прилива воду можно отделить от моря дамбой или плотиной в бассейне. Места с большими высотами приливов обладают большими потенциалами приливной энергии. Однако не только этот фактор важен для развития приливной энергетики: надо принимать во внимание и капитальные затраты, и будущую прибыль от создания соответствующих приливных электростанций (ПЭС).

Энергия приливных течений может быть преобразована подобно тому, как это делается с энергией ветра (рис. 5.1, 5.2).

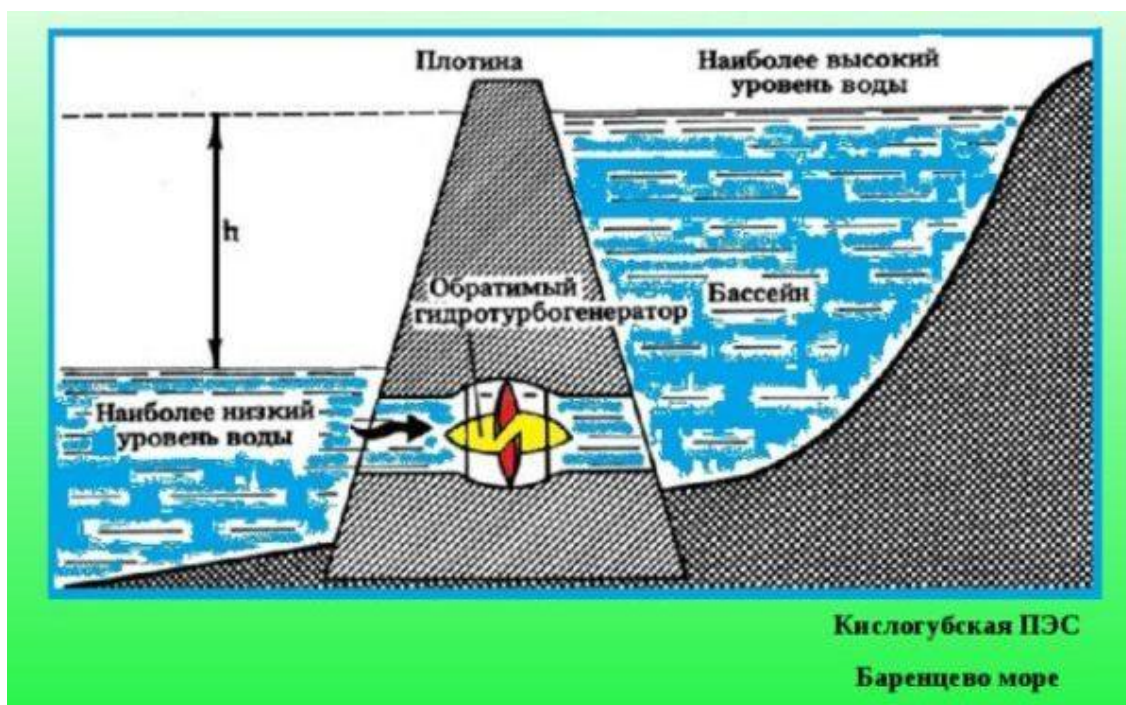


Рисунок 5.1 – Приливная электростанция



Рисунок 5.2 – Кислогубская ПЭС

Только часть полной энергии потока может быть преобразована в полезную. Как и для ветра, это значение КПД не может превышать 60 %. Перекрыв площадь 1000 м^2 , можно получить полную среднюю мощность электростанции около 14 МВт.

5.3. Энергия волн. Принцип преобразования энергии

Волновая энергия относится к производству электрической энергии от волн, то есть от последовательных волн, порожденных воздействием ветра на поверхность моря и иногда распространяющихся на очень большие расстояния. Существуют разные устройства для использования этой энергии. Многие системы в настоящее время находятся в стадии изучения, некоторые уже находятся на рынке, но ни одна из них не достигла стадии промышленной зрелости. Среднюю для океанических волн энергию оценивают величиной 50 кВт на погонный метр. Подсчитано, что с учетом неизбежных потерь использование энергии волн у побережья Англии дало бы 120 ГВт энергии, что превышает суммарную мощность электростанций страны. Суммарная мощность волн Мирового океана оценивается в 2700 ГВт. В России наиболее

перспективными районами для освоения энергии морских волн считают побережье тихоокеанских морей и Баренцева моря.

Выработка энергии из волн океана осуществляется специальными волновыми электростанциями, которые располагаются в акваториях. Кроме генерации электроэнергии, при задействовании дополнительного оборудования волновые станции могут выполнять и другую полезную работу, в том числе выработку тепла, пресной воды, кислорода, водорода и других химических веществ из морской воды при помощи процессов электролиза, а также осуществлять производство сжатого воздуха.

Работа станций выполняется благодаря воздействию волн на их рабочие тела, в роли которых могут выступать, в зависимости от конкретного проекта, поплавки (рис. 5.3), маятники, трубы, волноприёмники или волноотбойники (рис. 5.4), лопасти турбин (рис. 5.5). Движения волн, в конечном итоге, трансформируются во вращение генераторов при помощи силовых преобразователей – воздушных и гидравлических турбин, цепных и зубчатых передач или же водяных колёс. Полученная в результате воздействия волн механическая энергия превращается в электрическую, после чего транспортируется потребителям через морской кабель на побережье.



Рисунок 5.3 – Волновая электростанция. Поплавки



Рисунок 5.4 - Волновая электростанция. Поплавок, маятник, волноприёмник

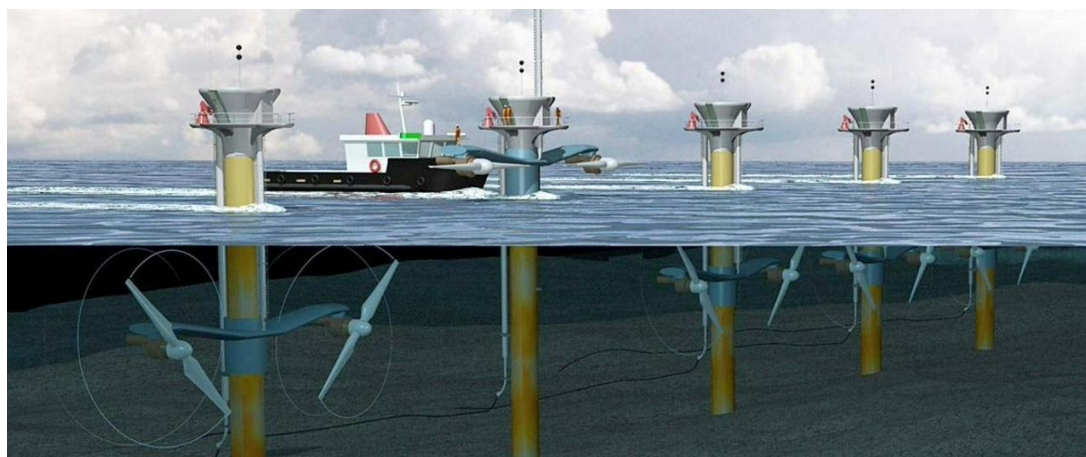


Рисунок 5.5 – Волновая электростанция. Турбины

В Великобритании был разработан ряд проектов, основанных на использовании заякоренных понтонов, соединенных между собой шарнирами. Проходящая волна вызывает изгибы в шарнирах, которые используют в поршневой гидравлической системе, запаасающей энергию в жидкости, сжатой до высокого давления. Эту энергию затем используют в гидродвигателе и электрогенераторе. Недостатки таких систем состоят в невысокой надежности якорных зацеплений и шарнирных соединений при штормах и подвижках льда.

В Японии реализовано устройство с проектной мощностью 2,2 МВт, представляющее собой заякоренный буй с полостью, открытой снизу. Под действием волн уровень воды в полости меняется. В надводной части буя

имеется отверстие, через которое воздух выходит из полости при его вытеснении водой на гребне волны. При прохождении впадины волны воздух входит в полость. Течения воздуха через отверстие приводят в движение воздушную турбину, связанную с электрогенератором. В автономных электрических буях полученную при этом электроэнергию используют для зарядки аккумуляторов, питающих мощную электролампу.

Еще одно устройство с высоким КПД (до 90 %) мощностью 100 кВт было предложено в электротехнической школе штата Орегон (США). В нем заякоренная цепочка постоянных магнитов заключена в медную катушку, жестко прикрепленную к бую из стеклопластика, который под действием волн колеблется вверх-вниз. В катушке, пересекающей силовые линии магнитного поля, наводится электродвижущая сила (ЭДС). В таком устройстве не требуется ни гидравлических, ни пневматических насосов. Преимущество такого устройства перед источниками, использующими энергию ветра, в том, что поведение волн более предсказуемо, а плотность энергии волн в десятки раз выше, чем ветра.

Преимущества предлагаемой волновой электростанции:

- волновая электростанция способна заменить волногасители, защищающие береговую линию и прибрежные сооружения от разрушения;
- волновые электрогенераторы малой мощности можно монтировать непосредственно на мостовых опорах, причалах, используя мощность волн;
- себестоимость производимой энергии наиболее низкая.

5.4. Температурный градиент. Принцип преобразования энергии

Глубинные воды океана и его поверхность имеют значительную разницу в температуре воды, и эта разница может быть преобразованная в энергию на специальных электростанциях. Электростанция использует концепцию «энергии температурного градиента морской воды» (рис. 5.6). Работа системы основана на перемещении жидкости с низкой точкой кипения и, как следствие, испарения (в данном случае используется) аммиак. Когда аммиак циркулирует по

замкнутой системе труб, он проходит через секцию, прогретую морской водой, взятой на мелководье (около 25 °С). Там аммиак переходит в газообразное состояние, который приводит в действие турбину, генерирующую энергию, следующим этапом является прохождение теплоносителя через охлажденную секцию (5 °С), где он опять превращается в жидкость. После всех «манипуляций» теплая и холодная вода обратно выпускается в океан.

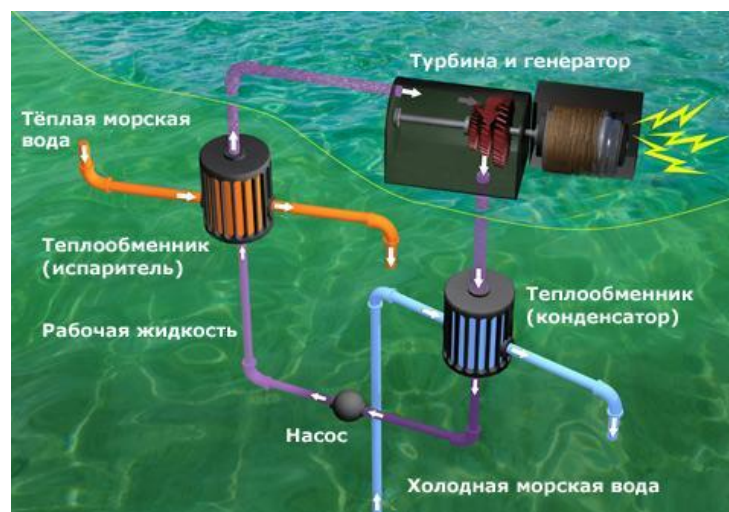


Рисунок 5.6 – Использование энергии температурного градиента морской воды

5.5. Вопросы и задания для самопроверки и контроля усвоения знаний

Вопросы для самопроверки

1. Энергетические ресурсы Мирового океана.
2. Энергия приливов, течений. Принцип преобразования энергии.
3. Энергия волн. Принцип преобразования энергии.
4. Температурный градиент. Принцип преобразования энергии.
5. Достоинства и недостатки использования энергии океана.

Задания для самопроверки и контроля усвоения знаний

Используя формулу Л. Б. Бернштейна, оценить приливный потенциал бассейна $\mathcal{E}_{\text{пот}}$ (кВт·ч), если его площадь F км², а средняя величина прилива $R_{\text{ср}}$ м.

Задача 3 посвящена оценке энергетического потенциала $\mathcal{E}_{\text{пот}}$ (кВт·ч) приливной энергии океанического бассейна, имеющего площадь F км², если известна средняя величина приливной волны $R_{\text{ср}}$ м. В научной литературе существует несколько уравнений, позволяющих определить приливный потенциал бассейна. Одно из них предложено отечественным ученым Л. Б. Бернштейном:

$$\mathcal{E}_{\text{пот}} = 1,97 \times 10^6 \times R_{\text{ср}}^2 \times F, \quad (5.1)$$

Таблица 5.1 - Варианты заданий

Величины и единицы их измерения	Варианты заданий									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , км ²	400	700	1000	1500	2000	2200	2500	3000	3500	4000
$R_{\text{ср}}$, м	8,0	7,5	7,2	7,0	6,8	6,5	6,0	5,4	5,2	5,0

6. БИОЭНЕРГЕТИКА

Биоэнергетика – производство энергии из биотоплива различных видов. Биоэнергетикой считается производство энергии как из твердых видов биотоплива (щепа, гранулы (пеллеты) из древесины, лузги, соломы и т.п., брикеты), так и биогаза, и жидкого биотоплива различного происхождения.

Понятие «биоэнергетика» применяется как в электроэнергетике, так и в теплоэнергетике и совместном производстве тепла и электричества.

6.1. Энергия биомассы

Биомасса – это совокупность организмов в биогеоценозе (экологической системе) на момент наблюдений. Согласно принадлежности органического вещества определяется фитобиомасса (растительная) и зообиомасса (животная).

Термин «биомасса» описывает широчайший спектр животных и растительных отходов. Дословно он означает «биологический материал». Биомасса – старейший источник энергии, используемый человечеством. Его возникновение относят ко времени овладения людьми огнем.

Биомасса является одним из наиболее распространенных возобновляемых источников энергии. Условно биомассу можно поделить на две главные группы:

- первичная биомасса;
- вторичная биомасса.

Источником **первичной** биомассы есть наземный и водный растительный мир; **вторичной** – отходы биомассы, образующиеся после сбора и переработки первичной биомассы в товарные продукты и отходы, обусловленные жизнедеятельностью людей и животных (древесина, солома, растительные отходы сельского хозяйства, отходы животноводства и птицеводства, органическая часть бытовых и промышленных отходов).

Энергетические культуры – это отдельные виды деревьев и растений, которые специально выращиваются для производства твердого биотоплива –

быстрорастущие деревья, многолетние травы (мискантус), однолетние травы (сорго, тритикале) (рис. 6.1).



Рисунок 6.1 – Плантации энергетических культур

К энергетическим растениям также может относиться побочная продукция традиционных сельскохозяйственных культур, выращиваемых с целью производства биодизельного горючего (рапс, подсолнечник), биоэтанола (кукуруза, пшеница) и биогаза (кукуруза на силос).

В обращении с твердыми бытовыми отходами (ТБО) внедряется извлечение ценных компонентов, а доля ТБО, которая не подвергается дальнейшей сортировке и содержит твердую биомассу, может использоваться как топливо из отходов в промышленных печах и мусоросжигательных установках.

Биотопливо – топливо из растительного или животного сырья, из продуктов жизнедеятельности организмов или органических промышленных отходов.

Виды биотоплива.

Биотопливо разделяют на твёрдое, жидкое и газообразное. Твёрдое – это традиционные дрова (часто в виде отходов деревообработки) и топливные гранулы (прессованные мелкие остатки деревообработки).

Жидкое топливо – это спирты (метанол, этанол, бутанол), эфиры, биодизель и биомазут.

Биодизель – метиловые и/или этиловые эфиры высших органических кислот, полученных из растительных масел или животных жиров, используемых как биотопливо или биокomпонент в смеси с нефтяным горючим на транспорте. Для получения биодизельного топлива используются растительные или животные жиры (рис 6.2). Сырьём могут быть рапсовое, соевое, пальмовое, кокосовое масло, или любого другого масла-сырца, а также отходы пищевой промышленности. Разрабатываются технологии производства биодизеля из водорослей.



Рисунок 6.2 – Схема производства биодизеля

Биоэтанол – спирт этиловый обезвоженный, изготовленный из биомассы или этилового спирта-сырца, используемого как биотопливо или биокomпонент в смеси с нефтяным горючим на транспорте.

Биометанол. Промышленное культивирование и биотехнологическая конверсия морского фитопланктона в настоящее время не достигли стадии

коммерциализации, но рассматриваются как одно из перспективных направлений в области получения биотоплива. Первичное производство биомассы возможно путём культивирования фитопланктона в искусственных водоёмах, создаваемых на морском побережье. Вторичные процессы представляют собой метановое брожение биомассы и последующее гидроксигирование метана с получением метанола. Потенциальными преимуществами использования микроскопических водорослей являются следующие:

- высокая продуктивность фитопланктона (до 100 т/га в год);
- в производстве не используются ни плодородные почвы, ни пресная вода;
- процесс не конкурирует с сельскохозяйственным производством.

Биобутанол.

Бутанол – $C_4H_{10}O$ – бутиловый спирт. Бесцветная жидкость с характерным запахом. Широко используется как химическое сырьё в промышленности, в качестве транспортного топлива в коммерческих масштабах не применяется. Бутанол не обладает коррозионными свойствами, может передаваться по существующей инфраструктуре. Может, но не обязательно должен, смешиваться с традиционными топливами. Энергия бутанола близка к энергии бензина. Бутанол может использоваться в топливных элементах и как сырьё для производства водорода.

Сырьём для производства биобутанола могут быть сахарный тростник, свёкла, кукуруза, пшеница, маниока, а в будущем и целлюлоза.

Диметиловый эфир.

Диметиловый эфир (ДМЭ) C_2H_6O . Может производиться как из угля, природного газа, так и из биомассы. Большое количество диметилового эфира производится из отходов целлюлозно-бумажного производства. Сжижается при небольшом давлении. Диметиловый эфир – экологически чистое топливо без содержания серы, содержание оксидов азота в выхлопных газах на 90% меньше, чем у бензина.

Твёрдое биотопливо.

Дрова – древнейшее топливо, используемое человечеством. В настоящее время в мире для производства дров или биомассы выращивают энергетические леса, состоящие из быстрорастущих пород (тополь, эвкалипт и др.). В России на дрова и биомассу в основном идёт балансовая древесина, не подходящая по качеству для производства пиломатериалов.

Топливные гранулы и брикеты – прессованные изделия из древесных отходов (опилок, щепы, коры, тонкомерной и некондиционной древесины, порубочные остатки при лесозаготовках), соломы, отходов сельского хозяйства (лузги подсолнечника, ореховой скорлупы, навоза, куриного помета) и другой биомассы (рис 6.3). Древесные топливные гранулы называются пеллеты, они имеют форму цилиндрических или сферических гранул диаметром 8-23 мм и длиной 10-30 мм. В настоящее время в России производство топливных гранул и брикетов экономически выгодно только при больших объёмах.



Рисунок 6.3 – Топливные гранулы и брикеты

Энергоносители биологического происхождения (главным образом навоз и т.п.) брикетируются, сушатся и сжигаются в каминах жилых домов и топках тепловых электростанций, вырабатывая дешёвое электричество.

Отходы биологического происхождения – необработанные или с минимальной степенью подготовки к сжиганию: опилки, щепа, кора, лузга, шелуха, солома и т. д.

Биогаз – продукт сбраживания органических отходов (биомассы), представляющий смесь метана и углекислого газа (рис 6.4). Разложение биомассы происходит под воздействием бактерий класса метаногенов.



Рисунок 6.4 – Производство биогаза

Биоводород.

Биоводород – водород, полученный из биомассы термохимическим, биохимическим или другим способом, например водорослями.

Метан.

Метан синтезируется после очистки от всевозможных примесей так называемого синтетического природного газа из углеродосодержащего твердого топлива, такого как уголь или древесина. Этот экзотермический процесс происходит при температуре от 300 до 450 °С и давлении 1 - 5 бар в

присутствии катализатора. В мире уже имеется несколько введённых в эксплуатацию установок получения метана из древесных отходов.

6.2. Особенности различных видов растительного сырья

Растительное сырьё разделяют на поколения.

Сырьём **первого поколения** являются сельскохозяйственные культуры с высоким содержанием жиров, крахмала, сахаров. Растительные жиры перерабатываются в биодизель, а крахмалы и сахара – в этанол. С учётом не прямых изменений в землепользовании такое сырьё часто наносит больший ущерб климату, чем тот, которого удаётся избежать за счёт отказа от сжигания ископаемого топлива. Кроме того, его изъятие с рынка прямо влияет на цену пищевых продуктов. Почти всё современное транспортное биотопливо производится из сырья первого поколения, использование сырья второго поколения находится на ранних стадиях коммерциализации либо в процессе исследований.

Непищевые остатки культивируемых растений, траву и древесину называют **вторым поколением** сырья. Его получение гораздо менее затратно, чем у культур первого поколения. Такое сырьё содержит целлюлозу и лигнин. Его можно прямо сжигать (как это традиционно делали с дровами), газифицировать (получая горючие газы), осуществлять пиролиз. Основные недостатки второго поколения сырья – занимаемые земельные ресурсы и относительно невысокая отдача с единицы площади.

Третье поколение сырья – водоросли. Не требуют земельных ресурсов, могут иметь большую концентрацию биомассы и высокую скорость воспроизводства.

Биотопливо второго поколения.

Биотопливо второго поколения – различное топливо, полученное различными методами пиролиза биомассы, или прочие виды топлива, помимо метанола, этанола, биодизеля, произведённое из источников сырья «второго поколения».

Источниками сырья для биотоплива второго поколения являются 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 – являющиеся простыми организмами, приспособленными к росту 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.

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.

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 – до 100 килограммов с тонны отходов.

Биотопливо третьего поколения.

Биотопливо третьего поколения – топлива, полученные из водорослей.

Кроме выращивания водорослей в открытых прудах существуют технологии выращивания водорослей в малых биореакторах, расположенных вблизи электростанций. Сбросное тепло ТЭС способно покрыть до 77 % потребностей в тепле, необходимом для выращивания водорослей. Эта технология не требует жаркого пустынного климата.

Недостатки использования биотоплива.

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.

Выбросы углекислого газа.

Последствия для экосистем. Создание таких плантаций ведёт к потере биоразнообразия, истощению почв и другим экологическим проблемам, сходным с последствиями распространения зерновых монокультур.

Низкая энергетическая рентабельность биотоплива.

Влияние на продовольственную безопасность. Поскольку, несмотря на годы усилий и существенные инвестиции, производство топлива из водорослей не удаётся вывести за пределы лабораторий, биотопливо требует изъятия сельхозугодий.

Согласно распространённой точке зрения, негативных последствий использования биотоплива можно избежать, если выращивать сырьё для него на так называемых «заброшенных» или «покинутых» землях.

6.3. Вопросы и задания для самопроверки и контроля усвоения знаний

Вопросы для самопроверки

1. Биоэнергетика.
2. Биомасса.
3. Энергетические культуры.
4. Виды биотоплива.
5. Биодизель.

6. Схема производства биодизеля.
7. Твёрдое биотопливо.
8. Топливные гранулы и брикеты.
9. Энергоносители биологического происхождения.
10. Биогаз.
11. Особенности различных видов растительного сырья.
12. Недостатки использования биотоплива.

Задания для самопроверки и контроля усвоения знаний

Задача 1. Определить объем биогазогенератора V_0 и суточный выход биогаза V_2 в установке, утилизирующей навоз от n коров, а также обеспечиваемую ею тепловую мощность N (Вт). Время цикла сбраживания $\tau = 14$ сут при температуре $t = 25$ °С; подача сухого сбраживаемого материала от одного животного идет со скоростью $W = 2$ кг/сут; выход биогаза из сухой массы $v_T = 0,24$ м³/кг. Содержание метана в биогазе составляет 70 %. КПД горелочного устройства η . Плотность сухого материала, распределенного в массе биогазогенератора, $\rho_{\text{сух}} \approx 50$ кг/м³. Теплота сгорания метана при нормальных физических условиях $Q_{\text{н}}^P = 28$ МДж/м³.

Задача 1 посвящена проблеме использования биотоплива для преобразования его энергии в тепловую или электрическую в сельскохозяйственных предприятиях и на фермах. Одним из видов биотоплива являются отходы жизнедеятельности животных (навоз), при переработке которых (сбраживание) в биогазогенераторах можно получать биогаз, в состав которого (70 % по объёму) входит метан; теплота сгорания метана при НФУ $Q_{\text{н}}^P = 28$ МДж/м³. Время полного сбраживания субстрата, состоящего из воды, навоза и ферментов, в зависимости от температуры изменяется от 8 до 30 сут. Плотность сухого материала в субстрате составляет $\rho_{\text{сух}} \approx 50$ кг/м³. Выход биогаза от I кг сухого материала в сутки составляет примерно $v_T = 0,2 \dots 0,4$ м³/кг. Скорость подачи сухого сбраживаемого материала в биогазогенератор (метантенк) W зависит от вида животных и их количества на ферме.

Если обозначить через m_0 (кг/сут) подачу сухого сбраживаемого материала, то суточный объем жидкой массы, поступающей в биогазогенератор (m^3 /сут) можно определить по формуле

$$V_{\text{сут}} = m_0 / \rho_{\text{сук}}. \quad (6.1)$$

Объем биогазогенератора, необходимого для фермы (m^3):

$$V_6 = \tau \cdot V_{\text{сут}}. \quad (6.2)$$

Суточный выход биогаза:

$$V_{\Gamma} = m_0 \cdot v_{\Gamma}. \quad (6.3)$$

Тепловая мощность устройства, использующего биогаз (МДж/сут) или (Вт):

$$N = \eta \cdot Q_{\text{н}}^p \cdot V_{\Gamma} \cdot f_{\text{м}}, \quad (6.4)$$

где $f_{\text{м}}$ – объемная доля метана в биогазе; η – КПД горелочного устройства ($\approx 60\%$).

Таблица 6.1 – Варианты заданий

Величины и единицы их измерения	Варианты заданий									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	24	20	18	16	14	12	10	8	6	4
η	0,7	0,7	0,68	0,68	0,66	0,66	0,64	0,62	0,6	0,6

7. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ

В связи с вовлечением возобновляемых источников энергии в практическое использование особое внимание обращается на экологический аспект их воздействия на окружающую среду.

7.1. Экологические последствия развития солнечной энергетики

Этап эксплуатации солнечных батарей, коллекторов является безопасным и почти не оказывает негативного воздействия на окружающую среду. Однако необходимо учесть некоторые аспекты.

Неблагоприятные воздействия **солнечной энергии** на окружающую среду могут проявляться:

- в отчуждении земельных площадей, их возможной деградации;
- в большой материалоемкости;
- в возможности утечки рабочих жидкостей, содержащих хлораты и нитриты;
- в опасности перегрева и возгорания систем, заражения продуктов токсичными веществами при использовании солнечных систем в сельском хозяйстве;
- в изменении теплового баланса, влажности, направления ветра в районе расположения станции;
- в затемнении больших территорий солнечными концентраторами, возможной деградации земель;
- в воздействии на климат космических СЭС;
- в создании помех телевизионной и радиосвязи;
- в передаче энергии на Землю в виде микроволнового излучения, опасного для живых организмов и человека.

Все перечисленные моменты оказывают влияние во много раз меньшее, чем влияние ископаемых источников энергии, необходимых для получения соответствующего количества энергии. Самым опасным для ОС является

переработка или утилизация солнечных панелей после окончания способа эксплуатации.

Также важно отметить, что электричество, получаемое от применения солнечных батарей, не вредит атмосфере, а ее влияние не затрагивает: животный мир, природную среду, водные ресурсы, человеческое существование и здоровье.

В процессе монтирования наземных конструкций для размещения солнечных панелей, при условии соблюдения соответствующих технологий строительства, ущерб грунту минимальный. В дальнейшем по истечении срока использования солнечных батарей земельный участок может быть на 100% рекультивирован и использоваться в хозяйственных целях. Эксплуатация солнечной электростанции никак не затрагивает атмосферу. Это связано с тем, что энергия генерируется благодаря физическим процессам без вредных выбросов. Все виды солнечных батарей не требуют особого обслуживания. Из наиболее энергоемких процессов это очистка солнечных панелей от пыли и грязи. Длительный срок эксплуатации солнечных батарей позволяет строить более долгосрочные планы по модернизации энергосетей.

Технологии последних лет позволили минимизировать использование опасных для экологии веществ в составе кремниевых пластин.

7.2. Влияние ветроэнергетики на природную среду

Ветроэнергетика не потребляет ни топливо, ни воду для непрерывной работы, и не имеет выбросов, напрямую связанных с производством электричества. Ветрогенераторы не производят выбросов диоксида углерода, монооксида углерода, диоксида серы, диоксида азота, ртути, радиоактивных отходов, пыли или других видов воздушного загрязнения, в отличие от источников ископаемого топлива и производства ядерного топлива. Ветровые электростанции потребляют ресурсы в процессе их изготовления и постройки, также как и любой другой вид электростанций. При производстве ветрогенератора будет необходимо произвести и транспортировать сталь, бетон,

алюминий и другие материалы, используя энергоемкие процессы, обычно, ископаемые источники энергии. Первоначальные выбросы диоксида углерода в случае прибрежных турбин «окупаются» в течение 9-ти месяцев работы. Земельные ресурсы могут быть далее использованы для сельского хозяйства и выпаса скота. Ветропарки не оказывают воздействия на домашний скот. Менее 2 % земли будет использовано под фундаменты и дороги, ведущие к ним, другие 98 % можно по-прежнему использовать в с/х.

Проблема использования территории упрощается при размещении ВЭС на акваториях. Например, предложения по созданию мощных ВЭС на мелководных акваториях Финского залива и Ладожского озера не связаны с изъятием больших территорий из хозяйственного, пользования. Из отводимой площади акватории для ВЭС непосредственно под сооружения для ВЭУ понадобится лишь около 2 %. В Дании дамба, на которой установлен парк ВЭУ, одновременно является пирсом для рыболовных судов. Использование территории, занятой ветровым парком, под другие цели зависит от шумовых эффектов и степени риска при поломках ВЭУ. У больших ВЭУ лопасть при отрыве может быть отброшена на 400 - 800 м.

Удаление ВЭС от населенных пунктов и мест отдыха решает проблему шумового эффекта для людей. Однако шум может повлиять на фауну, в том числе на морскую фауну в районе экваториальных ВЭС.

Экранирующее действие ВЭС на пути естественных воздушных потоков будет незначительным и его можно не принимать во внимание. Это объясняется тем, что ВЭУ используют не большой приземный слой перемещающихся воздушных масс.

Помехи, вызванные отражением электромагнитных волн лопастями ветровых турбин, могут сказываться на качестве телевизионных и микроволновых радиопередач, а также различных навигационных систем в районе размещения ветрового парка ВЭС на расстоянии нескольких километров. Наиболее радикальный способ уменьшения помех – удаление ветрового парка на соответствующее расстояние от коммуникаций. В ряде случаев помех можно

избежать, установив ретрансляторы. Этот вопрос не относится к категории трудноразрешимых, и в каждом случае может быть найдено конкретное решение.

7.3. Влияние геотермальной энергетики на природную среду

Основное воздействие на окружающую среду геотермальные электростанции оказывают в период разработки месторождения, строительства паропроводов и здания станции, но оно обычно ограничено районом месторождения.

Потенциальными последствиями геотермальных разработок являются оседание почвы и сейсмические эффекты. Оседание возможно всюду, где нижележащие слои перестают поддерживать верхние слои почвы и выражается в снижении дебитов термальных источников и гейзеров и даже полном их исчезновении. Высокая сейсмическая активность является одним из признаков близости геотермальных месторождений, и этот признак используется при поисках ресурсов. Однако интенсивность землетрясений в зоне термальных явлений, вызванных вулканической деятельностью, обычно значительно меньше интенсивности землетрясений, вызванных крупными смещениями земной коры по разломам. Поэтому нет оснований считать, что разработка геотермальных ресурсов увеличивает сейсмическую активность.

На ГеоТЭС не происходит сжигания топлива, поэтому объем отравляющих газов, выбрасываемых в атмосферу, значительно меньше, чем на ТЭС, и они имеют другой химический состав по сравнению с газообразными отходами станций на органическом топливе. Пар, добываемый из геотермальных скважин, в основном является водяным. Газовые примеси на 80 % состоят из двуокиси углерода и содержат небольшую долю метана, водорода, азота, аммиака и сероводорода. Наиболее вредным является сероводород (0,0225 %). В геотермальных водах содержатся в растворенном виде такие газы, как SO_2 , N_2 , NH_3 , H_2S , CH_4 , H_2 .

Потребность ГеоТЭС в охлаждающей воде (на 1 кВт·ч электроэнергии) в 4-5 раз выше, чем ТЭС, из-за более низкого КПД. Сброс отработанной воды и конденсата для охлаждения в водоемы может вызвать их тепловое загрязнение, а также повышение концентрации солей, в том числе хлористого натрия, аммиака, кремнезема, и таких элементов, как бор, мышьяк, ртуть, рубидий, цезий, калий, фтор, натрий, бром, иод, хотя и в небольших количествах. С ростом глубин скважин возможно увеличение этих поступлений.

Одно из неблагоприятных проявлений ГеоТЭС – загрязнение поверхностных и грунтовых вод в случае выброса растворов высокой концентрации при бурении скважин. Сброс отработанных термальных вод может вызвать заболачивание отдельных участков почвы в условиях влажного климата, а в засушливых районах – засоление. Опасен прорыв трубопроводов, в результате которого на землю могут поступить большие количества рассолов.

ГеоТЭС, имея КПД в 2-3 раза меньше, чем АЭС и ТЭС, дают в 2-3 раза больше тепловых выбросов в атмосферу. В качестве простого пути сокращения воздействий на окружающую среду следует рекомендовать создание круговой циркуляции теплоносителя на ГеоТЭС по системе «скважина – теплосъемные агрегаты – скважина – пласт». Это позволит избежать поступления термальных вод на поверхность земли, в грунтовые воды и поверхностные водоемы, обеспечить сохранение пластового давления, исключить оседание грунта и любую возможность сейсмических проявлений.

7.4. Экологические последствия использования энергии океана

К отрицательным последствиям работы установок, использующих термальную энергию океана, можно отнести возможные утечки в океан аммиака, пропана или фреона, а также веществ, применяемых для промывки теплообменников (хлор и др.). Возможно значительное выделение углекислого газа из поднимаемых на поверхность холодных глубинных вод из-за снижения в них парциального давления CO_2 и повышения температуры. Выделение CO_2 из воды при работе океанических ТЭС предположительно на 30% больше, чем при

работе обычных ТЭС той же мощности, использующих органическое топливо. Охлаждение вод океана вызывает увеличение содержания питательных веществ в поверхностном слое и значительный рост фитопланктона. При подъеме к поверхности глубинные микроорганизмы будут загрязнять океан и придется применять специальные меры для его очистки.

Использование энергии волн на глубоководных местах в открытом океане сказывается на процессах в акватории океана. Преобразователи размещаются далеко от берега и не оказывают отрицательного действия на устойчивость побережья.

При установке преобразователей вблизи побережья возникают проблемы эстетического характера, так как они видны с берега. Цепочка устройств типа ныряющих уток Солтера длиной в несколько километров выглядит эстетически менее привлекательно, чем группа продуманно размещенных отдельно стоящих преобразователей энергии. Один из важных вопросов влияния на окружающую среду преобразования энергии волн в прибрежной зоне – это воздействие на процессы в ее пределах. Вещества, перемещаемые волнами, называются прибрежными наносами. Движение их необходимо для стабилизации береговой полосы, т. е. баланса между эрозией и отложениями. В связи с этим цепь из преобразователей энергии волн целесообразно устанавливать в местах намечаемых волноломов, чтобы они выполняли двойную функцию: использование энергии волн и защиту побережья.

Неблагоприятные экологические последствия в **приливной энергетике**:

- периодическое затопление прибрежных территорий, изменение землепользования в районе ПЭС, флоры и фауны акватории;
- строительное замутнение воды, поверхностные сбросы загрязненных вод.

Неблагоприятные экологические последствия в **волновой энергетике**:

- эрозия побережья, смена движения прибрежных песков;
- значительная материалоемкость;
- изменение сложившихся судоходных путей вдоль берегов;

– загрязнение воды в процессе строительства, поверхностные сбросы.

7.5. Экологическая характеристика использования биоэнергетических установок

Биоэнергетические станции по сравнению с традиционными электростанциями и другими ВИЭ являются наиболее экологически безопасными. Они способствуют избавлению окружающей среды от загрязнения всевозможными отходами. Так, например, анаэробная ферментация – эффективное средство не только реализации отходов животноводства, но и обеспечения экологической чистоты, так как твердые органические вещества теряют запах и становятся менее привлекательными для грызунов и насекомых (в процессе перегнивания разрушаются болезнетворные микроорганизмы). Кроме того, образуются дополнительный корм для скота (протеин) и удобрения.

Городские стоки и твердые отходы, отходы при рубках леса и деревообрабатывающей промышленности, представляя собой возможные источники сильного загрязнения природной среды, являются в то же время сырьем для получения энергии, удобрений, ценных химических веществ. Поэтому широкое развитие биоэнергетики эффективно в экологическом отношении. Однако неблагоприятные воздействия на объекты природной среды при энергетическом использовании биомассы имеют место. Прямое сжигание древесины дает большое количество твердых частиц, органических компонентов, окиси углерода и других газов. По концентрации некоторых загрязнителей они превосходят продукты сгорания нефти и ее производных. Другим экологическим последствием сжигания древесины являются значительные тепловые потери.

По сравнению с древесиной биогаз – более чистое топливо, непроизводящее вредных газов и частиц. Вместе с тем необходимы меры предосторожности при производстве и потреблении биогаза, так как метан взрывоопасен. Поэтому при его хранении, транспортировке и использовании

следует осуществлять регулярный контроль для обнаружения и ликвидации утечек.

При ферментационных процессах по переработке биомассы в этанол образуется большое количество побочных продуктов (промывочные воды и остатки перегонки), являющихся серьезным источником загрязнения среды, поскольку их вес в несколько раз (до 10) превышает вес этилового спирта.

7.6. Вопросы для самопроверки

1. Экологические последствия развития солнечной энергетики.
2. Влияние ветроэнергетики на природную среду.
3. Влияние геотермальной энергетики на природную среду.
4. Экологические последствия использования энергии океана.
5. Экологическая характеристика использования биоэнергетических установок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С точки зрения бережного и рационального отношения к окружающей среде использование ресурсосберегающих источников энергии, безусловно, важно и целесообразно. С каждым годом «зеленая» энергетика обеспечивает всё большую часть потребностей в энергоресурсах ведущих экономик мира. В настоящее время наблюдается выстраивание нового принципа мировой энергетики, предполагающей существенный вклад возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общее энергопотребление.

В общей сложности страны мира за счет ВИЭ за год экономят около 358 млн тонн нефтяного эквивалента. Это около 7 млн бар. нефти в день. На современном этапе развития прослеживается острая заинтересованность стран в энергетической безопасности и защите окружающей среды. Многие государства поставили цели по развитию ВИЭ. Российская Федерация наряду с традиционной энергетикой активно развивает и альтернативную. Это даёт государству большую степень свободы и энергетической независимости, как отдельных регионов, так и страны в целом.

В мире насчитывается более 20 стран, доля возобновляемых источников энергии, в общем энергетическом балансе которых превышает 20 %. Возобновляемая энергетика мира успешно развивается вопреки кризисным явлениям в мировой экономике.

Использование возобновляемых, ресурсосберегающих источников энергии важно для развития человечества, рационального природопользования и сохранения природы.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

СЭС – солнечная электростанция;
ПЭС – приливная электростанция;
ГЭС – гидроэлектростанция;
СЭС – солнечная электростанция;
ФЭП – фотоэлектрический преобразователь;
ФП – фотоэлектрические панели;
СЭ – солнечные элементы;
ФЭ – фотоэлемент;
СФЭУ – фотоэлектрическая установка;
КСЭ – коллектор солнечной энергии;
ТАМ – теплоаккумулирующий материал;
ТЕА – теплоёмкостный аккумулятор;
АФТ – аккумулятор с фазовым переходом;
ТХА – термохимический аккумулятор;
ВЭУ – ветроэнергетическая установка.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Автономные фотоэлектрические преобразователи, 28
- Безопасность, 12,14,49,121
- Биотопливо, 8,17,114,115,117, 119,120,121,122
- Биоэнергетика, 14, 113, 121
- Ветрогенератор, 17,58,59,60,61,62,63,64,65,66,68,71, 72,73,74,75,78,79,80,128
- Ветроэнергетика, 16,54,56,65,66, 67,68,69,78,125
- Воздействие на окружающую среду, 12,13,18,127
- Возобновляемая энергетика, 9,12,14,132
- Возобновляемые источники энергии, 8,18,68
- Волновая электростанция, 08,109,110
- Гелиоэнергетика, 17,32
- Геотермальная энергетика, 17,84
- Геотермальная энергия, 10,14,83
- Геотермальные электростанции, 89, 90,91,100,127
- Гидроэлектростанция, 105
- Гидроэнергия, 8,9,10,11,13,14
- Невозобновляемые источники энергии, 8,11,18
- Плотность энергии, 12,13,16,18,110
- Приливная электростанция, 106
- Солнечная энергетика, 23,25
- Солнечные батареи, 24,27
- Солнечный коллектор, 17,33,34,35,38,40,42
- Тепловая энергия, 7,10,13,15
- Тепловой насос, 91,99,100
- Тепловые аккумуляторы, 45
- Традиционные источники энергии, 11,13,18
- Условное топливо, 11,18
- Фотоэлектрические преобразователи, 28
- Фотоэффект, 30,31,49
- Экологический аспект, 124
- Энергия, 7,8,9,10,11,13,14,15,18, 23,24,26,27,30,35,37,43,48,49,52, 54,62,78,83,86,96,103,104,105,106, 111,113,116,125
- Энергия биомассы, 10
- Энергия ветра, 8,9,10,13,14,15,54,62
- Энергия океана, 103
- Ядерное топливо, 8

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологическая безопасность и энергетическая независимость Донбасса / А. А. Ефименко, А. А. Орлов, Д. А. Макеева [и др.] // Уголь. – 2021. – № 6(1143). – С. 58-61. – DOI 10.18796/0041-5790-2021-6-58-61.
2. Гаврилов, М. В. Развитие возобновляемой энергетики в регионах РФ / М. В. Гаврилов, Т. М. Гаврилова. – EDN: EUQBBM. – Текст : электронный // Наука, техника, педагогика высшей школы. Новые технологии : материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Москва, 2022. - С. 473-480. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49233467>.
3. Герасименко, В. П. Экология природопользования : учебное пособие / В. П. Герасименко. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 355 с. – ISBN 978-5-16-012098-0. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1157264>.
4. Германович, В. Альтернативные источники энергии и энергосбережение : Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы / В. Германович, А. Турилин. - Изд-во Наука и Техника, 2014. – 320 с. – URL: <https://www.rulit.me/books/alternativnye-istochniki-energii-i-energoberezhenie-read-581249-1.html> – Текст : электронный.
5. Кузьмин, С. Н. Нетрадиционные источники энергии: биоэнергетика : учебное пособие / С. Н. Кузьмин, В. И. Ляшков, Ю. С. Кузьмина. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 128 с. – DOI 10.12737/17709. – ISBN 978-5-16-011314-2. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1171050>
6. Куличенков, В. Прогнозы развития энергетики в XXI веке : монография / В. Куличенков. – Изд-во LAP Lambert Academic Publishing , 2014. – 92 с. – URL: <https://www.livelib.ru/book/1001907240-prognozy-razvitiya-energetiki-v-xxi-veke-vitalij-kulichenkov> – Текст : электронный.
7. Макеева, Д. А. Анализ и исследование возможностей новейших разработок в области ветроэнергетики / Д. А. Макеева. – Текст : электронный // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and

Highway Institute : международный научно-технический журнал ; Автомобильно-дорожный институт Донецкого национального технического университета. – Донецк, 2020. – № 4(35). – С. 64-73. – URL: <http://vestnik.adidonntu.ru/p/2020-4-35.html>.

8. Макеева, Д. А. Экономическая целесообразность комплексного использования альтернативных источников энергии в условиях Донбасса / Д. А. Макеева. – Текст : электронный // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сборник материалов XIII Международной конференции аспирантов и студентов ; ДОННТУ, ДонНУ. – Донецк : ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2019. – С. 257-260. – URL: <https://istina.ipmnet.ru/collections/457929981/>.

9. Макеева, Д. А. Экологическое состояние отдалённых от инфраструктуры районов угледобывающих регионов / Д. А. Макеева, Д. А. Козырь // Современные технологии: проблемы и перспективы : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 19–22 апреля 2021 года. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2021. – С. 142-148. URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=46512473>.

10. Москаленко, А. П. Управление природопользованием. Механизмы и методы : учебное пособие / А. П. Москаленко, С. А. Москаленко, Р. В. Ревунов. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 392 с. – ISBN 978-5-8114-3563-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/122160>.

11. Рудский, В. В. Основы природопользования : учебное пособие / В. В. Рудский, В. И. Стурман. – 2-е изд. - Москва : Логос, 2020. – 208 с. – ISBN 978-5-98704-772-9. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1213084>.

12. Точки роста российской экономики на базе развития науки, образования и высоких технологий / С. С. Шегуров, Г. В. Жирова, Н. А. Киреева

[и др.] ; под общей редакцией Е. Г. Жулиной. – Энгельс : ООО "Институт научных исследований и развития профессиональных компетенций", 2021. – 122 с. – Текст : электронный. – URL: <http://elib.pnzgu.ru/library/1634025514>.

13. Левин, А. Б. Энергетическое использование древесной биомассы : учебник / А. Б. Левин. – Москва : Инфра-М., 2017. – 198 с. – URL: <https://shar.k156.ru/1/uchebnikbioenergetika.pdf>. – Текст : электронный.

14. Юдаев, И. В. Возобновляемые источники энергии : учебник / И. В. Юдаев, Ю. В. Даус, В. В. Гамага. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 328 с. – ISBN 978-5-8114-4680-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/140747>.

ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕСУРСЫ

1. Тепловые насосы. - Текст. Изображение : электронные // TopClimat.ru: выбирают здесь : [сайт]. – Москва ; Санкт-Петербург, 2023. – URL: http://www.topclimat.ru/publications/heat_pump_for_your_house.html.

2. Энергия ветра во Франции - Wind power in France : [сайт]. – Москва ; Санкт-Петербург, 2020. – URL: https://ru.zahn-info-portal.de/wiki/Wind_power_in_France. - Текст. Изображение : электронные.

3. Летающие ветряки. Электрик Инфо. – Текст. Изображение : электронные // Онлайн журнал про электричество. Теория и практика : [сайт]. – Москва, 2009-2023. – URL: <https://electrik.info/main/news/1091-letayuschie-vetryanye-elektrostancii-makani-power.html>.

4. Энергия ветра в Китае - Wind power in China : [сайт]. – Москва ; Санкт-Петербург, 2020. – URL: https://ru.zahn-info-portal.de/wiki/Wind_power_in_China. - Текст. Изображение : электронные.

5. Ветроэнергетика — история и перспективы развития. Принципы работы. – Текст. Изображение : электронные // Источники энергии на Земле : [сайт]. – Москва ; Санкт-Петербург, 2020. – URL: <https://istochnikienergii.ru/veter/vetroenergetika>.

6. «POWER SYSTEMS OF THE FUTURE». – Текст. Изображение : электронные // Издание Национальной лаборатории возобновляемой энергетики (National Renewable Energy Laboratory), Technical Report NREL/TP-6A20-62611 : [сайт]. – 2015. – 53 с. – URL: https://www.cleanenergo.ru/wp-content/uploads/files/knigi/obshie_voprosi/Power_Systems_of_the_Future.pdf.
7. «Зеленый» курс: какое будущее ждет альтернативные источники энергии. Текст. Изображение : электронные / РБК тренды : [сайт]. – Москва ; Санкт-Петербург, 2023. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/609e76449a7947f4755ac9dc>.
8. Ветроэнергетика. – Текст. Изображение : электронные // Alter220.ru: Портал про альтернативную энергию : [сайт]. – Москва ; Санкт-Петербург, 2022. – URL: <https://alter220.ru/veter/vetroenergetika.html>.
9. Бразилия может стать мировым центром ветровой энергетики. – Текст. Изображение : электронные // Econet: включи сознание : [сайт]. – Москва ; Санкт-Петербург, 2022. – URL: <https://econet.ru/articles/178989-braziliya-mozhet-stat-mirovym-tsentrom-vetrovoy-energetiki>.
10. Экономика Китая. Создано крупнейшее в мире ветряное колесо. – Текст. Изображение : электронные // The epoch times : [сайт]. – Москва, 2022. – URL: <https://www.epochtimes.ru/vetroenergetika-v-kitae-sozdano-krupnejshee-v-mire-vetryanoe-koleso-99031946/>.
11. Ветряки в Германии. Ветрогенераторы и экология в Германии. – Текст. Изображение : электронные // ВЕТРОДВИГ.RU : [сайт]. – Москва, 2010. – URL: <https://vetrodvig.ru/vetroenergetika-v-germanii/>.
12. Волновые электростанции. – Текст. Изображение : электронные // Alter220.ru: Портал про альтернативную энергию : [сайт]. – Москва ; Санкт-Петербург, 2022. – URL: <https://alter220.ru/voda/volnovye-elektrostantsii.html>.
13. Энергия ветра в Индии / по материалам статьи Анил Сардана. – Текст. Изображение : электронные // myelectro.com.ua: Электроэнергетика в современном мире : [сайт]. – Москва ; Санкт-Петербург, 2015. – URL: <https://myelectro.com.ua/347-enerniia-vetra-v-indii>.

Учебное издание

**Макеева Дарья Александровна
Козырь Дмитрий Александрович**

РЕСРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Учебное пособие

В авторской редакции

ISBN 978-5-6051288-4-7



Подписано в печать 19.07.2024 г.

Изд. № 3/2024. Зак. 16/2024. Тираж 300 экз.

Объем 8,75 п.л. Усл. печ. л. 8,14. Уч. изд. л. 8,575.

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
299015 г. Севастополь, ул. Курчатова, 7