

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра металлургических технологий и оборудования

Е.В. Братковский

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Учебное пособие

для бакалавров, обучающихся по направлению
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Новотроицк, 2015

УДК 620.9
ББК 31.15
Б 87

Рецензенты:

*Заведующий кафедрой теплотехнических и энергетических систем МГТУ
им. Г.И. Носова, профессор, д.т.н.*

Е.Б. Агапитов

*Старший преподаватель кафедры теплотехнических и энергетических
систем МГТУ им. Г.И. Носова*

С.В. Осколков

Братковский Е.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии:
Учебное пособие. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2015. – 96 с.

В учебном пособии подробно изложены основные современные методы и технологии получения энергии нетрадиционными и возобновляемыми источниками.

Пособие составлено в соответствии с требованиями ФГОС ВО подготовки бакалавров направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Рекомендовано Методическим советом НФ НИТУ «МИСиС»

© Новотроицкий филиал ФГАОУ ВПО
«Национальный
исследовательский технологический
университет «МИСиС», 2015

Содержание

Введение	4
Список сокращений	6
1 Виды энергии и энергоресурсы	7
1.1 Виды энергии	7
1.2 Энергоресурсы	8
2 Классификация источников энергии	11
2.1 Невозобновляемые источники энергии	11
2.2 Возобновляемые источники энергии	14
3 Солнечная энергетика	16
3.1 Основные понятия солнечной энергетики	16
3.2 Солнечные преобразователи	19
3.3 Солнечное теплоснабжение	22
3.4 Паротурбинные СЭС	30
3.5 Сырье для солнечной энергетики	33
3.6 Перспективы солнечной энергетики	40
4 Ветроэнергетика	44
4.1 Ресурсы ветровой энергетики	44
4.2 Классификация и устройство ветродвигателей	46
4.3 Режимы работы ветроколеса	48
4.4 Ветроэнергетические установки (ВЭУ)	50
4.4 Производство электрической и механической энергии ВЭУ	52
4.5 ВЭУ совместно с ВАГТУ	55
5 Энергия морских волн	59
5.1 Энергия морских течений и приливов	59
5.2 Приливные электростанции (ПЭС)	60
5.3 Волновые электростанции	63
5.4 Энергия океанских течений и морских волн	67
6 Геотермальная энергетика	72
6.1 Основные понятия геотермальной энергии	72
6.2 Геотермальные электростанции	74
7 Биоэнергетика	77
8 Переработка отработанных шин	80
9 Тепловые насосы	86
9.1 Показатели эффективности цикла	86
9.2 Воздушно - контактный тепловой насос	90
9.3 Выработка пара с использованием тепловых насосов	92
Рекомендуемая литература	95

Введение

В истекшем столетии огромный рост масштабов мирового производства и развития инфраструктуры, возросшая численность населения планеты привели к колоссальному увеличению потребления природных ресурсов. Только за вторую половину 20 века. Мировое потребление твердого топлива увеличилось в 2 раза, жидкого в 8,5 раз, природного газа в 10 раз. Глобальное энергопотребление приводит не только к опасности исчезновения возобновляемых источников различных топлив, но и резкому ухудшению экологической обстановки на планете. Известно, что выработка электроэнергии напрямую влияет на получение валового национального продукта. В связи с этим человечество вынуждено искать альтернативные источники энергии.

Мировой опыт показывает, что одним из перспективных путей решения проблемы растущего энергообеспечения является практическое использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Сегодня в большинстве стран мира активизировались работы по увеличению доли ВИЭ в общем балансе вырабатываемой энергии. Причем обеспечивается долговременная активная государственная поддержка по следующим направлениям:

- субсидии и кредиты по низким процентным ставкам;
- установление фиксированных закупочных цен на энергию, вырабатываемую на основе возобновляемых источников;
- освобождение от уплаты налога на часть прибыли, инвестированной в нетрадиционную энергетику;
- предоставление режима ускоренной амортизации;
- финансирование НИОКР в области нетрадиционной энергетики.

Основные виды ВИЭ это солнечная и ветровая по следующим причинам.

Солнечная энергетика стремительно развивается, т. к. ФЭП обладают следующими преимуществами:

- СЭ не имеют движущихся частей, что упрощает и снижает стоимость их обслуживания;
- срок службы солнечных модулей (СМ) будет достигать 100 лет (проблема не в самих преобразователях, а в их герметизации);
- эксплуатация СЭ не требует квалифицированно обслуживающего персонала;
- эффективно используется как прямое, так и рассеянное солнечное излучение;
- СМ играют роль изящного строительного материала, улучшающего архитектуру зданий, обеспечивающие тепло-, шумо- и водоизоляцию.
- возможно создание установок любой мощности.

Ветроэнергетика самая перспективная для использования из возобновляемой энергии т.к. имеет следующие преимущества.

ВЭУ не загрязняют атмосферу, не требуют поставок топлива и практически безопасны.

Монтаж ВЭУ мощностью 1-2 МВт может быть осуществлен за 3-10 дней, а весь строительно-монтажный цикл составляет 1,5-2мес. Ветроэнергетика в состоянии конкурировать с новыми электростанциями, работающими на угле, а в некоторых случаях — и природным газом.

По каждой теме дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» в краткой форме изложены основные теоретические положения и представлены вопросы для контроля знаний. Таким образом, учебное пособие облегчает усвоение теоретических знаний на лекционных и практических занятиях и помогает подготовке к мероприятиям по текущему и промежуточному контролю.

По результатам освоения дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» студент должен обладать общекультурными, общепрофессиональными, профессиональными и профессионально-прикладными компетенциями, предусмотренными учебным планом подготовки бакалавров направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» по данной дисциплине.

Усвоение учебных материалов по дисциплине является необходимым условием качественного освоения таких специальных дисциплин как «Источники и системы теплоснабжения», «Экологические проблемы в теплоэнергетике» а также написания и защиты выпускной квалификационной работы.

Список сокращений

АБ - аккумуляторная батарея

ВАГТУ - воздухоаккумулирующие газотурбинные установки;

ВИЭ - возобновляемые источники энергии;

ВлЭС – волновая электростанция;

ВЭС – ветроэнергетические станции;

ВЭУ - ветроэнергетическая установка;

ГАЭС – гидроаккумулирующие электростанции;

ГеоТЭС – геотермальная электростанция;

НиВИЭ – нетрадиционные и возобновляемые источники энергии;

ПЭС – приливная электростанция;

СБ – солнечная батарея;

СМ - солнечный модуль;

СЭ - солнечный элемент;

СЭС - солнечная электростанция;

ТБО - твердые бытовые отходы;

ТЭП – технико-экономические показатели;

УТ – условное топливо;

ФЭП - фотоэлектрический преобразователь.

1 Виды энергии и энергоресурсы

1.1 Виды энергии

Наиболее часто используются следующие виды энергии.

1. Ядерная энергия — энергия связи нейтронов и протонов в ядре, освобождающаяся в различных видах при делении тяжелых и синтезе легких ядер, в последнем случае ее называют термоядерной.

2. Химическая — энергия системы из двух или более реагирующих между собой веществ высвобождается при химических реакциях.

3. Электростатическая — потенциальная энергия взаимодействия, электрических зарядов, то есть запас энергии электрически заряженного тела, накапливаемый в процессе преодоления им сил электрического поля.

4. Магнитостатическая энергия - потенциальная энергия взаимодействия "магнитных зарядов", или запас энергии, накапливаемый телом, способным преодолеть силы магнитного поля в процессе перемещения против направления действия этих сил. Источником магнитного поля может быть постоянный магнит, электрический ток.

5. Упругостная энергия - потенциальная энергия механически упруго измененного тела (сжатая пружина, газ), освобождающаяся при снятии нагрузки чаще всего в виде механической энергии.

6. Тепловая энергия — часть энергии теплового движения частиц тел, которая освобождается при наличии разности температур между данным телом и телами окружающей среды.

7. Механическая энергия - кинетическая энергия свободно движущихся тел и отдельных частиц.

8. Электрическая (электродинамическая)-энергия электрического тока во всех его формах.

9. Электромагнитная (фотонная) энергия — энергия движения фотонов электромагнитного поля.

10. Биологические энергия — это особая группа физико-химических процессов, но в которых участвуют те же виды энергии, что и в других.

В практике используются четыре вида энергии: химическая (70-75 %), механическая (20-22 %), электрическая (3-5 %) и электромагнитная — световая (менее 1%).

Главной пока служит химическая энергия минеральных органических горючих (уголь, нефть, природный газ и др.), запасы которой, составляющие доли процента всех запасов энергии на Земле, не бесконечны (т.е. невозобновляемы).

В декабре 1942 года в США был введен в работу первый ядерный реактор и появилось ядерное топливо.

В любом технологическом процессе используется несколько видов энергии. Топливо-энергетические балансы при этом составляются обычно

по видам используемых топлив, видов энергии для каждого технологического цикла (передела) отдельно. Для энергоемкости какого-либо технологического продукта все виды энергии классифицируют на три группы.

1. Первичная энергия \mathcal{E}_1 - химическая энергия ископаемого первичного топлива, с учетом энергетических затрат на добычу, подготовку (обогащение), транспортировку и т.д.

2. Производная энергия \mathcal{E}_2 - энергия преобразованных энергоносителей, например, пара, горячей воды, электроэнергии, сжатого воздуха, кислорода, воды и др., с учетом затрат на их преобразование.

3. Скрытая энергия \mathcal{E}_3 - энергия, израсходованная в предшествующих технологиях и овлеченная в сырьевых исходных материалах процесса, технологическом, кап. и текущие. затраты.

Полные сквозные энергозатраты на производство единицы продукции:

$$\mathcal{E}_{\text{сум}} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_4,$$

где \mathcal{E}_4 - энергия вторичных энергоресурсов, которая вырабатывается в процессе производства данной продукции, но передается для использования в другой технологический процесс.

Суммарные энергозатраты называют также технологическим топливным числом (ТТЧ) конкретного вида продукции (стали, кирпича и др.).

1.2 Энергоресурсы

Общие запасы энергии оцениваются ресурсами, которые можно разделить на две большие группы — невозобновляемые и возобновляемые.

Первая группа: запасы органического топлива, ядерной энергии деления и геотермальная.

Возобновляемая энергия:

- падающая на поверхность Земли солнечная энергия;
- геофизическая энергия (ветра, рек, морских приливов и отливов);
- энергия биомассы — это древесина, отходы растениеводства, отходы животноводства, хозфекальные стоки.

Запасы энергоресурсов на Земле огромны. Но использование их не всегда возможно или связано с большими затратами на разработку, транспортировку, на охрану труда и окружающей среды.

Из разведанных добываемых запасов органического топлива на Земле следующие объемы (в млрд. т у.т.): уголь (включая бурый) - 800; нефть - 90; газ - 85; торф - 5.

Добываемые запасы энергоресурсов достаточно ограничены. Причем распределение запасов органического топлива на земле очень неравномерно.

Более 80 % сосредоточено на территории Северной Америки, бывшего СССР и развивающихся стран. Это уже служит основанием для возникновения всякого рода чрезвычайных ситуаций, кризисов и даже военных конфликтов. Предполагалось, что XXI век будет веком ядерной энергетики. Но чернобыльская и фукусимская аварии привели к существенным ограничениям дальнейшего развития атомной энергетики.

В настоящее время мировое потребление невозобновляемых энергоресурсов в год составляет: 12-15 млрд. т у.т. Из них более 50 % составляют нефть и газ.

Из возобновляемых источников энергии наибольшее развитие получила гидроэнергетика, до 9% от общей выработки электроэнергии. Возможный гидроэнергетический потенциал используется на 10 % от общего мирового потенциала в 7 млрд. т у.т./год. Строительство ГЭС — затратное дело, окупаемость затрат — несколько десятков лет.

Общий вклад в энергопроизводство таких источников энергии: солнечная, ветровая, приливная, очень мал и не менее 0,1 %.

Перспективно использование энергии биомассы. Это в первую очередь дрова. В год на Земле в энергетических целях сжигается дров до 1,5 млрд. т у.т., а общий энергетический потенциал биомассы оценивается в 5,5 млрд. т у.т./год.

В ряде стран (Китай, США, Индия) для освоения энергии биомассы широко используются биогазовые установки для получения искусственного горючего газа. Подобные установки имеются и в нашей стране, которые также производят высокоэффективные удобрения.

В российском животноводстве и птицеводстве в год образуется 150 млн. т органических отходов. При их переработке в биогазовых установках можно ежегодно получать дополнительно 95 млн. т у.т., что эквивалентно 190 млрд. кВт·ч электроэнергии. Этой энергии достаточно, чтобы обеспечить электроэнергией весь агрокомплекс России. Плюс к тому — полученные в биореакторах более 100 млн. т высокоэффективные удобрения (без нитритов и нитратов, болезнетворной микрофлоры и даже семян сорняков).

В последнее время разработана технология изготовления древесных гранул. Которые прессуются из опилок, отходов древесины и имеют теплотворную способность на уровне каменного угля.

Темпы освоения возобновляемых источников энергии в нашей стране чрезвычайно низки.

Энергетические ресурсы делятся на первичные и вторичные.

Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР) относятся к минеральным ресурсам (полезным ископаемым) — это часть природных ресурсов, скопления минералов в недрах литосферы (земной коры) Земли в промышленных концентрациях. Как и все минеральные ресурсы, ТЭР относятся к категории исчерпаемых и невозобновляемых. Рациональность их использования определяется полнотой отбора, степенью использования,

удельными затратами на производство конечного продукта, окупаемостью использования данного вида полезного ископаемого, степенью сохранения окружающей среды и др., т.е. всем тем, что и определяет политику энергосбережения.

Топливные (энергетические) полезные ископаемые заключены прежде всего в угольных и нефтегазоносных бассейнах, которые имеют осадочное происхождение и обычно сопутствуют чехлу древних платформ.

Основная часть мировых угольных ресурсов приходится на Азию, Северную Америку и Европу и залегает в 10 крупнейших угольных бассейнах, находящихся на территории России, США, ФРГ. Основные нефтегазоносные ресурсы сосредоточены в Азии, Северной Америке, Африке.

Энергетические ресурсы используются следующим образом.

1. Получение тепловой энергии от сжигания ископаемого топлива для обогрева жилищ и различных помещений.

2. Преобразовать заключенную в топливе тепловую энергию в работу, например, использовать продукты перегонки нефти для приведения в действие различных механизмов.

3. Можно преобразовать тепловую энергию, высвобождающуюся при сгорании топлива или выделяющуюся при делении ядер урана, в электрическую.

4. Электроэнергию можно получить за счет преобразования других видов энергии (например, за счет энергии падающей воды).

Электроэнергия играет роль посредника между источником энергии и ее потребителями на месте.

2 Классификация источников энергии

Источники энергии подразделяются на первичные и вторичные, а также на невозобновляемые и возобновляемые. Классификация источников энергии представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Классификация энергетических ресурсов

Первичные	Вторичные
Невозобновляемые: уголь, нефть, сланцы, природный газ, торф, радиоактивные металлы Возобновляемые: древесина, гидроэнергия, энергия ветра, солнца, геотермальная энергия, торф, термоядерная энергия	Промежуточные продукты обогащения и сортировки углей, гудроны, мазуты и другие остаточные продукты переработки нефти; щепки, пни, сучья при заготовке древесины; горючие газы (доменный, коксовый); тепло уходящих газов; горячая вода из систем охлаждения; отработанный пар силовых промышленных установок

Мировые запасы топливно-энергетических ресурсов представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Мировые запасы топливно-энергетических ресурсов

Вид топлива	Геологические ресурсы	Разведанные извлекаемые ресурсы
Уголь, трл. т	14	609
Нефть, млрд. т	207-252	72-98
Природный газ, трлн. м ³	260-270	49-74
Газовый конденсат, млрд. т	33-34	6-9
Жидкое топливо (из сланцев и битуминозных пород), млрд. т	342	36
Уран, млн. т	3,2	1,6

2.1 Невозобновляемые источники энергии

Уголь.

Типы угля: торф, бурый, каменный, битуминозный и антрацит. Все они образовались в ходе естественных процессов из различного вида растений и применяются в качестве топлива. Различия между ними - разное содержание углерода.

Торф - это наименее сформировавшаяся форма угля, в большей степени сохранившая черты растительного происхождения. Торф залегает в болотах, где деревья погружались в воду и разлагались в отсутствие кислорода. В прошлом торф применялся только для отопления.

Мировые запасы торфа составляют около 5 млрд. т у.т., Россия в этом смысле достаточно богатая страна.

Бурый уголь, или лигнит, содержит больше углерода, чем торф, и

поэтому дает больше тепла, но все же заметно меньше, чем более высококачественный каменный уголь.

Битуминозный уголь (жирный) характеризуется более высоким содержанием углерода и более высокой теплотой сгорания, чем бурый уголь.

Антрацит содержит наибольший процент углерода из всех типов угля.

Природный уголь не является химически чистым углеродом, в нем так же содержатся неорганические вещества, которые остаются после сгорания угля в виде золы. В угле может содержаться сера, иногда в составе сульфида железа, иногда в составе органических компонентов угля.

Мировые запасы угля оцениваются в 9-14 трлн. т у. т. при годовой добыче более 4,2 млрд. т/год. Разведанные запасы составляют 1,2 трлн. т. Наибольшие разведанные запасы угля приходятся на следующие страны, млрд. т: США — 430; СНГ — 290; ФРГ — 100; Австралия — 90; Англия — 50; Канада — 50; Индия — 29. Коксующихся углей в мире менее 10 % от общих запасов (1,5 трлн. т).

Запасы угля на территории России оцениваются в 6 трлн. т (50 % мировых), в том числе каменные угли — 4,7 и бурые угли — 2,1 трлн. т. Теплота сгорания 3,5 - до 7 тыс. ккал/кг.

Ежегодная добыча угля — более 700 млн. т, из них 40% открытым способом.

В России запасы угля, которые могут добываться открытым способом, превышают 200 млрд. т, они в основном сосредоточены на востоке страны: угольные бассейны России — Кузнецкий, Канско-Ачинский, Печорский. Ресурсы коксующихся углей в России составляют 9 %.

Нефть.

Нефть - в основном это жидкие углеводороды — органические соединения, состоящие только из водорода и углерода. Около 90-95 % нефти по массе составляют водород и углерод, причем 80 % и более по массе — это углерод. Содержание серы и кислорода в нефти может достигать 5 % по массе для каждого элемента.

Мировые запасы нефти оцениваются в 840 млрд. т. условного топлива, из них 10 % — достоверные и 90 % — вероятные запасы. Извлекаемые запасы нефти оцениваются в 250-375 млрд. т условного топлива. Прогнозируется рост спроса на нефть — 1,5 % в год.

За 100 с лишним лет эксплуатации нефтяных месторождений было добыто более 20 млрд. т нефти. Во всем мире добывается более 3 млрд. т нефти в год, причем 1,5 млрд. т приходится на бывший СССР, США, Венесуэлу и более 1 млрд. т — на страны Ближнего Востока и Африку. Разрабатывается более 25000 месторождений, в 250 из которых сосредоточено около 80 % запасов нефти. Мировые прогнозы запасов нефти составляют 400 млрд. т. Разведанные запасы нефти в мире составляют около 100 млрд. т.

По запасам нефти (20 млрд. т) Россия занимает второе место в мире после Саудовской Аравии. Основные нефтяные базы РФ — Западно-Сибирская, Волго-Уральская, а также перспективные Баренцево-Печорская, о. Сахалин и район Прикаспия с большими ресурсами на морском шельфе.

Природный газ.

Природный газ является новейшим энергоносителем, широкое применение которого начато только во второй половине 20 века, и после которого в промышленности не появился ни один новый первичный энергетический ресурс.

Природный газ — это смесь углеводородов, но в отличие от нефти природный газ может содержать лишь до 65 % углерода по массе: содержание водорода — переменное. Содержание серы невелико, а доля азота может быть гораздо выше, достигая 15 %.

Запасы природного газа - 300-500 трлн. м³. Наибольшие запасы имеются в России, Ираке, Саудовской Аравии, Алжире, Ливии, Нигерии, Венесуэле, Мексике, США, Канаде, Австралии, Великобритании, Норвегии, Голландии.

В России находится более 40 % мировых запасов природного газа (более 160 трлн. м³). Наиболее крупные месторождения в Уренгое, Заполярье. Ежегодно в России добывалось более 650 млрд. м³ природного газа, что составляет более 80 % газа, добываемого в СНГ, и около четверти мировой добычи.

В последнее время все большее внимание уделяется запасам метана в морских гидратосодержащих отложениях. Освоение этих запасов позволит получить дополнительный источник добычи природного газа, особенно в этом заинтересованные страны, которые не имеют обычных источников природного газа, в частности, Япония. К 1997 г. разведанные запасы газогидратов у побережья Японии (на удалении 20-150 км от берега и на глубине 600-2500 м) содержат не менее 6 трлн. м³ метана, что делает эту ресурсную базу достаточно благоприятной для добычи газа.

Крупнейшая газоносная провинция находится у берегов России на дне Северного Ледовитого океана, примыкая к Баренцеву морю; с запасами около 20-30 млрд. т у.т., и разведанными запасами газа около 8 трлн. м³.

Атомная энергия.

В основе получения электричества на АЭС лежит реакция деления ядер атомов радиоактивного топлива (урана-235 или ядер ряда других тяжелых металлов) при бомбардировке их нейтронами. Суть этой реакции состоит в разделении ядра атома на два крупных фрагмента, что сопровождается высвобождением большого количества тепловой энергии и γ -лучей.

Запасы урана в недрах — более 4 млн. т, из них по 50 % достоверные и предполагаемые.

Большую перспективу для выработки атомной энергии представляют реакторы на быстрых нейтронах (в России — типа БН). В этих реакторах

может использоваться не только обогащенный, но и обедненный уран, в том числе находящийся в отвалах, а плутоний не только сжигается, но и воспроизводится и может быть снова использован в реакторах.

2.2 Возобновляемые источники энергии

При современном уровне энергопотребления человечеством органические энергоресурсы становятся исчерпаемыми в ближайшее время.

Мировые цены на энергию от ВИЭ быстро снижаются, а цены на газ и нефть постоянно растут. Через 30-40 лет человечеству дополнительно потребуется 5000 ГВт установленной мощности, что примерно в 2 раза больше современного уровня.

По прогнозам в ближайшие 50 лет произойдет закат эры углеводородов. Крупнейшие нефтяные компании перестраивают свою работу с использованием нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии (НВИЭ) – ветром, солнцем и водой. Для них – это новый бизнес, потенциально более доходный и чистый. В настоящее время расширение рынка в этих областях достигает 20-30% в год.

Одной из основных трудностей, стоящих на пути широкомасштабного освоения НВИЭ, является низкая плотность потока утилизируемой энергии, вследствие чего энергетические установки получают материалоемкими и дорогими.

В мире наметилась тенденция к расширению использования НВИЭ. Это связано с непрерывным удорожанием и истощением запасов традиционных энергоресурсов, обострившимися проблемами экологии.

Во всем мире увеличивается выработка электрической и тепловой энергии на базе солнечной, ветровой, геотермальной энергии, использования биомассы, энергии моря, малых водных потоков, а также низкопотенциального сбросного тепла электростанций, промышленных предприятий и бытовых стоков.

Основные технико-экономические показатели различных источников электроэнергии, а также стоимость выработки различных видов энергии приведены в таблицах 2.1 и 2.2.

Использование НВИЭ затрудняется из-за их малой концентрации, зависимости от места расположения, времени года, суток, климатических условий. Для более эффективного использования ВЭУ требуется создание принципиально новых технологий и оборудования, применение новых материалов, создание экономической заинтересованности в их реализации.

Таблица 2.1 – Основные технико-экономические показатели различных источников электроэнергии

Источник энергии	Срок ввода в эксплуатацию, лет	Кап. затраты, долл./Вт	Цена топлива, долл./т у.т.	КПД, %	Цена цент/кВт ч
Угольная ТЭС	5	1,3	50	35	6,25
Газовая ТЭС	3	0,8	80	50	6,6
АЭС	7	2,5	40	—	5,0
СЭУ на крист. Si	0,1	3,5	—	12-15	15-25
СЭУ на аморф. Si	0,1	3,0-3,5	—	7,5	15-20
СЭУ солнечно. Концентраторами	0,1	2,5-3,0	—	12-15	8
Ветровые ЭУ	0,5-1	1,1-1,3	—	40-50	10-15
Вихревые ВЭУ	0,2-0,5	3-4	—	55-65	10-15
Биомасса	2-3	2-3	50-80	—	7-10
Производство водорода					

Таблиц 2.2 – Стоимость выработки различных видов энергии

Источники тепла	Капитальные затраты, долл./Вт	Цена тепла, долл./Гкал
Газ	0,4	2,23
Мазут	0,6	7,57
Уголь	0,6	7,75
Солнечные коллекторы	0,2-0,6	—
Солнечные опреснители	0,4-1,0	—
Нагревательные панели	0,06	—
Тепловые насосы	2	2-5

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Назовите основные виды энергии.
2. Какие существуют энергоресурсы.
3. Назовите невозобновляемые источники энергии.
4. Назовите возобновляемые источники энергии.
5. В какие виды энергии трансформируется солнечная энергия?
6. Почему необходимо развивать возобновляемых источников энергии?
7. Какие недостатки при использовании возобновляемых источников энергии?
8. Что такое суммарные энергетические затраты и технологические топливные числа?
9. Какие причины сдерживают развитие возобновляемых источников энергии?

3 Солнечная энергетика

3.1 Основные понятия солнечной энергетики

Наибольшим энергетическим потенциалом для Земли обладает солнечная энергия. Солнце дает нашей планете в 15000 раз больше энергии, чем каждый год потребляется человечеством.

Баланс лучистой энергии Земли: 28% - приходящей от Солнца лучистой энергии отражаются облаками и аэрозолями обратно в космическое пространство. Тепловое (инфракрасное) излучение Земли составляет 114% приходящей от Солнца, из них 42% возвращаются атмосферой, а остальные уходят в космос (рисунок 3.1).

По поверхности планеты приходящая энергия перераспределяется морскими течениями и ветрами.



Рисунок 3.1 - Баланс лучистой энергии Земли

Интенсивность лучистой приходящей к поверхности литосферы или гидросферы, зависят от следующих факторов:

- ориентации к Солнцу (освещенности);
- облачности;
- расположения района;
- запыленности воздуха, высоты над уровнем моря, времени года и суток.

В средних широтах днем интенсивность солнечного излучения: летом 800 Вт/м^2 и зимой $200 - 350 \text{ Вт/м}^2$. Средняя плотность потока солнечного излучения на поверхности Земли составляет 240 Вт/м^2 .

Основной проблемой развития солнечной энергетики является снижение себестоимости преобразования солнечной энергии в электрическую с помощью СЭ по сравнению с традиционными способами.

В настоящее время получаемая от СЭ энергия самая дорогая, но уже через два десятилетия этот способ генерации может стать конкурентоспособным (рисунок 3.2).

Сегодня солнечная энергетика занимает менее 2% в мировом балансе произведенной электроэнергии, к 2030-2040 гг. - до 25-30% от общей выработки электроэнергии в мире.

К 2030 г. суммарная мощность выпускаемых ежегодно солнечных станций достигнет 160-200 ГВт.

За последние 10 лет мощность выпускаемых СМ во всем мире увеличилась более чем в 100 раз и превысила 1200 МВт. Стоимость первых СЭ была очень высокой, а их КПД - 10%. За прошедшие годы стоимость снизилась в 10 раз, а КПД вырос до 14-16%. За 1997-2005 гг. темпы роста превысили 25% в год.

К 2016г. ожидается снижение стоимости СМ на 25% (рисунок 3.2) за счет совершенствования технологии изготовления и стимулирования рынка сбыта, при этом стоимость вырабатываемой ими электроэнергии составит 0,06-0,12 долл./кВт·ч (стоимость электроэнергии от электростанций, использующих энергию малых рек, биомассы, ветра и подземного тепла, составляет 0,02-0,05 долл./кВт·ч).

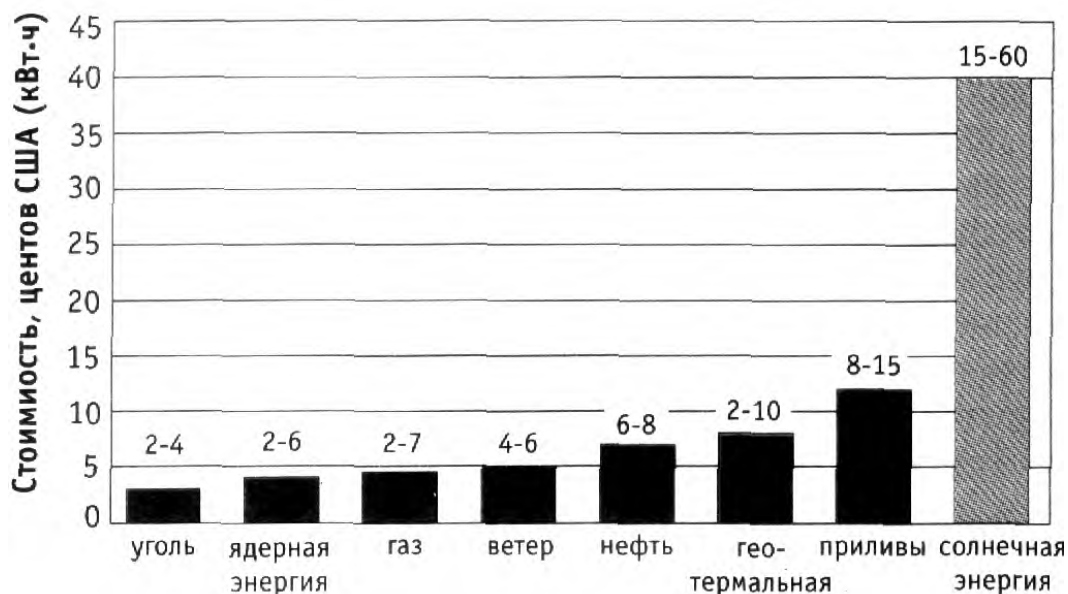


Рисунок 3.2 - Стоимость выработки 1 кВт · ч электроэнергии различными методами (данные по Европе и США за 2013 г.)

Солнечная энергетика стремительно развивается, т. к. ФЭП обладают следующими преимуществами:

- СЭ не имеют движущихся частей, что упрощает и снижает стоимость их обслуживания;
- срок службы солнечных модулей (СМ) будет достигать 100 лет (проблема не в самих преобразователях, а в их герметизации);
- эксплуатация СЭ не требует квалифицированно обслуживающего

персонала;

- эффективно используется как прямое, так и рассеянное солнечное излучение;

- СМ играют роль изящного строительного материала, улучшающего архитектуру зданий, обеспечивающие тепло-, шумо- и водоизоляцию.

- возможно создание установок любой мощности.

Солнечные электростанции способны обеспечить потребителя электроэнергией практически в любом месте без вредных выбросов.

Сырьем для производства СЭ - кремний является вторым по распространенности элементом на Земле. СМ - экологически чистые производители энергии. В течение 20 лет они производят в 5-12 раз больше энергии, чем требуется для их изготовления, СМ дает до 120 Вт с 1 м².

Широкое применение СМ может улучшить условия жизни 2 млрд. чел. в сельских районах Африки, Азии и Латинской Америки, где в настоящее время нет доступа к электричеству.

Соединение СМ в солнечные батареи (СБ) обеспечивает получение большой мощности, вплоть до гигаватт. СБ площадью 20 м² может в течение года обеспечить половину ежегодной потребности в электроэнергии типичного сельского дома.

Затраты на установку СМ намного меньше, чем присоединение удаленных населенных пунктов к существующим электрическим сетям, а эксплуатационные затраты с учетом срока службы оказываются ниже, чем у дизельных электростанций. Экономические, социальные, экологические и политические факторы также способствуют переходу к децентрализованной системе энергоснабжения с использованием СЭ.

Таким образом, СМ обладают множеством достоинств по сравнению с традиционными источниками электрической энергии, идеально удовлетворяют условию размещения рядом с пользователем и имеют самый высокий энергетический потенциал из всех ВИЭ.

Несмотря на относительно низкую плотность лучистой энергии, солнечная энергетика интенсивно развивается в последние годы. В США введены 8 крупных солнечных электростанций (СЭС) модульного типа общей мощностью 450 МВт. Выпуск солнечных ФЭП в мире достиг 300 МВт в год, из них 40% приходится на долю США. В настоящее время в мире работают более 2 млн гелиоустановок теплоснабжения.

Солнечная энергия используется в зерносушилках, опреснительных установках, в установках энергоснабжения космических станций и т.д.

Создаются мега проекты. В Австралии планируется строительства «Солнечной башни» с диаметром основания 130 метров и высотой 1 км. У подножия башни - огромная теплица диаметром 7 км. Воздух, нагретый в теплице, будет устремляться в трубу, вращая установленные в ней ветродвигатели. Мощность ВЭС составит 200 МВт, стоимость проекта \$308 млн.

Суммарная солнечная радиация на территории России в районах, перспективных для использования солнечной энергии, составляет 1000-2500 кВтч/м² в год при продолжительности солнечного сияния 2000-3000 ч/год. Общая мощность солнечных электроустановок, которые могут быть введены в стране, составляет 400-500 МВт.

Использование солнечной энергии можно разделить на три вида:

- 1 пассивный солнечный обогрев;
- 2 применение активных солнечных систем;
- 3 использование фотогальванических элементов.

В первом случае это обогрев зданий соответствующей ориентацией, дизайна, например, увеличение поверхности стены с южной, солнечной стороны и уменьшение с северной.

Солнечную энергию можно эффективно использовать не только в южных широтах, но и в относительно холодных районах. Солнечные установки для подогрева воды функционируют даже при -15°, нагревая в ясный солнечный день воду до +45 °С. При температуре окружающего воздуха +3 °С вода в теплообменниках может подогреваться до +80 °С. Масса одной солнечной панели 25 кг, при стоимости от 1,5 тыс. руб.

Использование фотогальванических элементов применяется для прямой выработки электроэнергии при попадании солнечного света на кремний, но является дорогим способом и применяется ограниченно (микрокалькуляторы, СЭ космических кораблей).

На наших широтах перспективно применение солнечной энергии для нагрева в системах отопления отдельно стоящих ферм, жилых зданий, производственных помещений вдали от централизованных источников энергии.

Для преобразования энергии солнечного излучения в электрическую применяются два способа:

1 использование полупроводниковых фотоэлектропреобразователей (ФЭП) - превращают лучистую энергию непосредственно в электрическую. Принцип действия ФЭП основан на фотоэффекте — возникновении под воздействием солнечного излучения ЭДС (электродвижущей силы) в полупроводниковом материале;

2 создание паросиловых установок, в которых обычный паровой котел, работающий, например, на угле, заменяется «солнечным» паровым котлом.

Первый способ более перспективный.

3.2 Солнечные преобразователи

Принцип действия фотоэлектрических преобразователей - основан на преобразовании солнечной электромагнитной энергии в электрическую. В солнечной энергетике применяются полупроводниковые преобразователи из химически чистого кристаллического кремния. Кремний - широко

распространенный в земной коре элемент и присутствует в виде песка, кварца - диоксид кремния SiO_2 .

Фотоэффект был открыт в XIX в. А. Г. Столетовым - содержащиеся в материале катода ФЭП электроны под влиянием электромагнитного излучения Солнца, изменяют свое энергетическое состояние.

Более эффективными являются ФЭП, работающие с запирающим слоем, основанные на внутреннем (вентильном) фотоэффекте (рисунок 3.3).

В твердых телах атомы и ионы сближены на расстоянии радиуса атома. Это дает возможность перехода валентных (наименее связанных с ядром атома) электронов от одного атома к другому. Если заставить электрон (нагревом кристалла или поглощения фотона) перейти в другую ячейку кристалла, в которой этот электрон будет лишним, то он свободно перемещаясь из одной ячейки кристалла в другую, становится электроном проводимости.

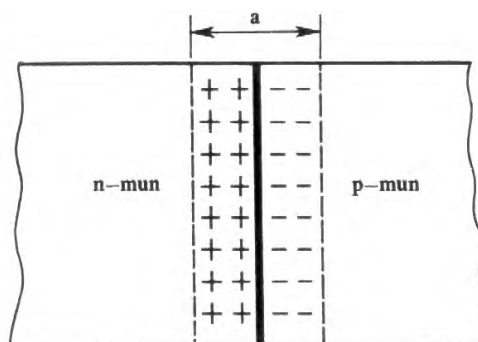


Рисунок 3.3 - Схема запирающего слоя при контакте полупроводников n- и p-типа

Это означает разрыв одной из связей в кристалле, из-за чего в кристалле появляется блуждающая по нему дырка. Вместе с дыркой переносится единичный положительный заряд.

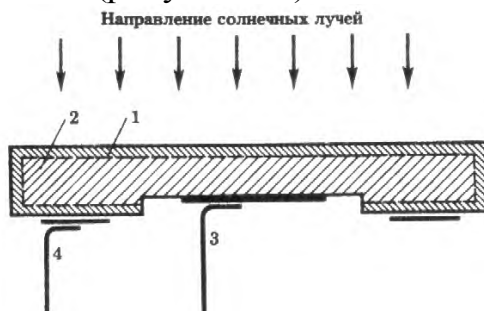
В полупроводнике с избыточными отрицательными зарядами имеются в избытке свободные электроны, а в полупроводнике с дырочной проводимостью имеются избыточные положительные заряды, в случае контакта между ними свободные электроны и дырки будут диффундировать навстречу друг другу.

Контактная разность потенциалов не может быть использована в качестве источника тока: при замыкании цепи она будет уравновешена такой же разностью потенциалов, но с обратным знаком.

Но если на границу между n- и p-полупроводниками падает свет, то в результате светового воздействия в обоих полупроводниках образуются пары «электрон—дырка». Под действием контактной разности потенциалов эти избыточные заряды смещаются — электроны в n-полупроводник, дырки — в p-полупроводник - возникает дополнительная разность потенциалов до тех пор, пока на него падает свет.

Полупроводниковыми материалами для ФЭП являются кремний и германий, в чистом виде (без примесей) они - диэлектрики. Но при добавке небольших количеств других веществ их можно превратить в полупроводники n- или p-вида.

КПД ФЭП 10-25%. Причина малого применения ФЭП - его высокая стоимость тысячи рублей за 1 кВт установленной мощности. ФЭП широко применяются в космических солнечных батареях, причем их масса и габариты вполне приемлемы (рисунок 3.4).



1-поверхностный кремниевый слой с проводимостью n-типа; 2-монокристаллический кремний с проводимостью p-типа; 3, 4-электроды
Рисунок 3.4 - Схема элемента солнечной батареи

Солнечный элемент состоит из двух соединенных между собой кремниевых пластинок. Свет, падающий на верхнюю пластинку, выбивает из нее электроны, посылая их на нижнюю пластинку, т. е. создается ЭДС элемента. Мощность СЭУ с фотоэлектрическими преобразователями определяется соотношением:

$$N_{фэ} = \eta \cdot F \cdot I, \quad \text{Вт},$$

где η - КПД ФЭП (в кремниевых 0,12 - 0,17);
 F - их общая площадь, м²;
 I - сила тока, А.

Модули ФЭП производятся для нужд энергетики. Мощности одиночных солнечных установок этого типа достигли 10 МВт, причем пик мощности достигается, когда Солнце находится в зените.

Преимуществом фотоэлектрических СЭС являются очень малые эксплуатационные затраты - модули, защищенные от пыли и атмосферных осадков стеклом или пленкой, работают десятки лет без обслуживания. В облачную погоду мощность СЭС этого типа несколько снижается.

3.3 Солнечное теплоснабжение

Солнечные водонагреватели применяются для отопления и горячего водоснабжения с начала XX века. Во многих странах широко распространены установленные на крышах или на застекленных верандах солнечные коллекторы из полимерных пластмасс с застеклением (рисунок 3.5). Плоский экран с приваренными снизу трубами освещается солнечными лучами. Применяются и беструбные экраны, в виде двух пластин с щелевым зазором между ними. Экран соединен трубами с верхней и нижней частями бака-накопителя.

В контуре устанавливается естественная циркуляция: в трубы поступает холодная вода из нижней части бака, нагретая в трубах экрана вода с меньшей плотностью вытекает в верхнюю часть бака. Верхнюю пластину экрана красят черной матовой краской, чтобы увеличить коэффициент поглощения лучистой энергии и покрывают стеклом или полимерной пленкой для защиты от атмосферных осадков. В регионах с отрицательными температурами контур заполняют антифризом, который нагревается солнечным излучением и отдает свою теплоту в трубчатом теплообменнике.

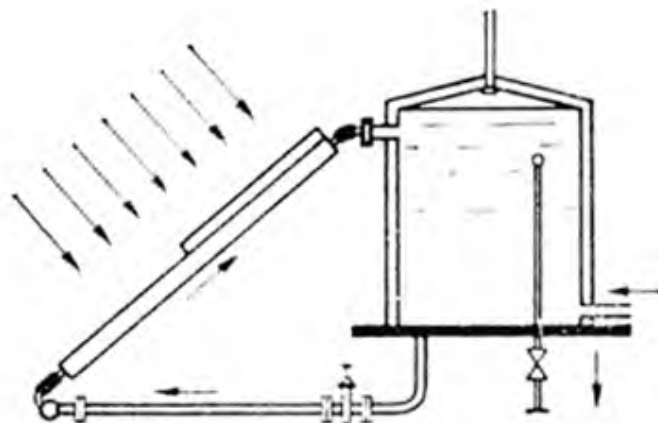


Рисунок 3.5 - Простейший солнечный водонагреватель

Годовая экономия энергии от систем солнечного теплоснабжения в северной Европе составляет 250 - 300 кВт.ч на квадратный метр площади коллектора, срок окупаемости 10 лет. При этом исключается загрязнение окружающей среды в результате сжигания органического топлива.

Существуют также воздушные (калориферные) системы солнечного отопления. Нагретый в солнечном коллекторе воздух протекает через теплоаккумулятор - емкость, заполненную щебнем или галькой. При необходимости обогрева помещения комнатный воздух прогоняют вентилятором через слой гальки. Воздушная солнечная отопительная система может эксплуатироваться и без теплоаккумулятора. В этом случае вентилятор прогоняет комнатный воздух непосредственно через воздушный

солнечный коллектор.

Для теплофикации применяется также селективное оконное стекло, покрытое полиэфирной пленкой с металлическим напылением. Оно пропускает световые лучи несущих максимум энергии, но отражает инфракрасное излучение из помещения и таким образом обеспечивает «парниковый эффект» в квартире.

Солнечная энергия может использоваться для опреснения морской и загрязненной воды-представляет собой сосуд, заполненный слоем соленой воды малой толщины; солнечные лучи, сконцентрированные на сосуде, испаряют воду. Пар конденсируется на наклонной плоской стенке, и конденсат стекает в сборник опресненной воды.

Разработаны также солнечные холодильные установки, в которых хладагент (аммиак) испаряется солнечным излучением и в дальнейшем участвует в работе холодильного цикла абсорбционного типа.



Рисунок 3.6 - Солнечный нагреватель

Солнечные лучи фокусируются параболическим зеркалом на нагреваемом объекте (например, плавильном тигле). По сравнению с нагреванием в печах такие установки создают более интенсивный нагрев и чистоту процесса. Такое же устройство имеют «солнечные кухни».

По способу использования солнечной радиации системы солнечного отопления подразделяют на пассивные и активные.

Пассивные - в качестве элемента, воспринимающего солнечную радиацию и преобразующего ее в теплоту, служат само здание или его элементы (здание-коллектор, стена-коллектор, кровля-коллектор и т. п. (рисунок 3.7).

В активных гелиоприемниках предусмотрено самостоятельное отдельное устройство не относящееся к зданию, они подразделяются:

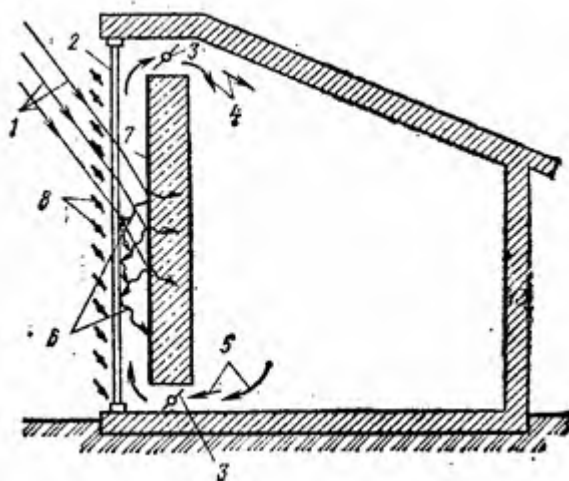
- по назначению: системы горячего водоснабжения, отопления,

комбинированные системы для теплохолодоснабжения);

- по виду теплоносителя (жидкостные - вода, антифриз и воздушные);
- по продолжительности работы (круглогодичные, сезонные);
- по техническому решению схем (одно-, двух-, многоконтурные).

Воздух является широко распространенным незамерзающим теплоносителем. При применении его в качестве теплоносителя возможно совмещение систем отопления с системой вентиляции. Однако воздух обладает низкой теплоемкостью, что ведет к увеличению расхода металла по сравнению с водяными системами.

Вода является теплоемким и дешевым теплоносителем. Но при температурах ниже 0°C в нее необходимо добавлять незамерзающие жидкости. Кроме того вода, насыщенная кислородом, вызывает коррозию трубопроводов и аппаратов. Но расход металла в водяных гелиосистемах значительно ниже, что способствует более широкому их применению.



- 1 - солнечные лучи; 2 - лучепрозрачный экран; 3 - воздушная заслонка; 4 - нагретый воздух; 5 - охлажденный воздух из помещения; 6 - собственное длинноволновое тепловое излучение массива стены; 7 - черная лучевоспринимающая поверхность стены; 8 - жалюзи

Рисунок 3.7 - Пассивная низкотемпературная система солнечного отопления «стена-коллектор»

Сезонные гелиосистемы горячего водоснабжения обычно одноконтурные и работают в периоды с положительной температурой наружного воздуха. Они могут иметь дополнительный источник теплоты или обходиться без него в зависимости от назначения обслуживаемого объекта и условий эксплуатации.

Гелиосистемы отопления зданий обычно двух- или многоконтурные, причем для разных контуров могут быть применены различные теплоносители (например, в гелиоконтуре – водные растворы незамерзающих жидкостей, в промежуточных контурах - вода, а в контуре потребителя - воздух).

Для круглогодичного теплоснабжения применяются многоконтурные комбинированные гелиосистемы с дополнительными источниками теплоты в виде теплогенератора, работающего на органическом топливе или трансформатора теплоты.

Без специальных мер обогреваемая Солнцем поверхность будет иметь температуру, близкую к температуре окружающей среды за счет большой рассеянности солнечной энергии на поверхности Земли. Такая температура (теплоносителя) неприемлема для отопления и горячего водоснабжения. Поэтому применяют гелиоконцентраторы для фокусирования солнечных лучей. Аналогичное явление можно наблюдать, если заставить вспыхнуть спичку, помещенную в фокусе линзы, на которую падают солнечные лучи. Линзу можно сделать из льда — она при этом не расплавится, т. к. тепло передается электромагнитным волновым излучением.

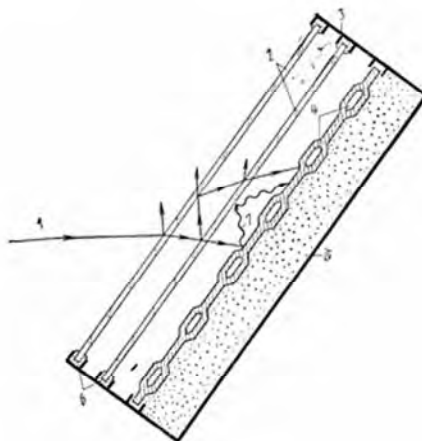
Для получения более высокой температуры за счет солнечной радиации используют солнечные коллекторы - ящик с плохо проводящими тепло стенками (рисунок 3.8). Внутри ящика размещаются трубы, по которым протекает теплоноситель, обычно вода. Трубы для лучшего восприятия тепла окрашиваются черной краской. На стороне ящика, обращенной к Солнцу, плохо проводящая тепло стенка заменяется стеклом. При этом большая часть энергии солнечного излучения лежит в видимой части спектра, для которой стекло практически прозрачно. Тепло Солнца свободно проходит через стекло, поверхность относительно слабо нагретых труб коллектора излучает в основном в инфракрасной области спектра, для которой стекло практически непрозрачно. Таким образом, стекло коллектора пропускает излучение Солнца и не пропускает излучение нагретых труб коллектора.

Гелиоустановки для получения солнечной энергии могут быть как с концентраторами солнечной энергии, так и без них. В первом случае их стоимость выше, зато выше и эффективность. Солнечные установки обычно без концентратора делаются для отопления и горячего водоснабжения, для опреснения воды и бытового назначения.

Основными элементами активной солнечной системы являются: гелиоприемник, аккумулятор теплоты, дополнительный источник или трансформатор теплоты (тепловой насос), ее потребитель (системы отопления и горячего водоснабжения зданий). Выбор и компоновка элементов в каждом конкретном случае определяются климатическими факторами, назначением объекта, режимом теплоснабжения, экономическими показателями.

Плоские солнечные концентрирующие гелиоприемники представляют собой сферические или параболические зеркала, выполненные из полированного металла, в фокус которых помещают тепловоспринимающий элемент (солнечный котел), через который циркулирует теплоноситель (рисунок 3.8). В качестве теплоносителя (вода или незамерзающие жидкости). В холодный период систему обязательно опорожняют для

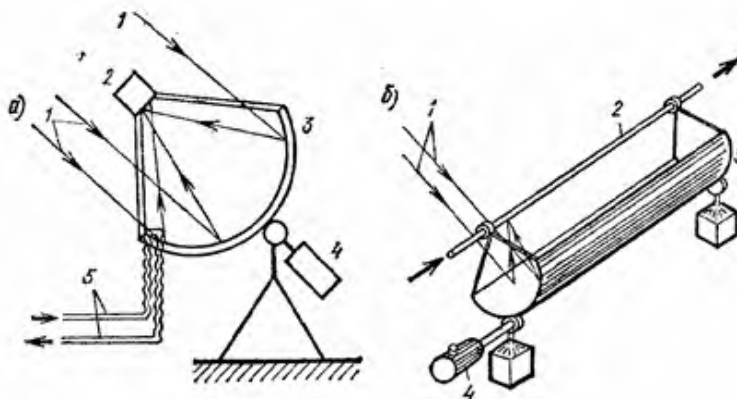
предотвращения ее замерзания.



1 - солнечные лучи; 2 - остекление; 3 - корпус; 4 - тепловоспринимающая поверхность; 5 - теплоизоляция; 6 - собственное длинноволновое излучение тепловоспринимающей пластины

Рисунок 3.8 - Плоский солнечный коллектор

Для повышения эффективности процесса улавливания солнечной радиации концентрирующий гелиоприемник должен быть постоянно направлен строго на Солнце. С этой целью его снабжают системой слежения, включающей датчик направления на Солнце, электронный блок преобразования сигналов, электродвигатель с редуктором для поворота конструкции гелиоприемника в двух плоскостях. В контуре гелиоприемника в качестве теплоносителя применен антифриз, а в контуре системы отопления – вода (рисунок 3.9).

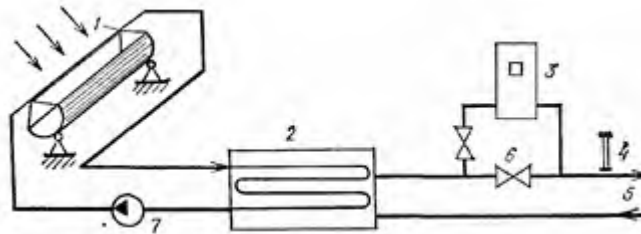


а-параболический концентратор; б - параболоцилиндрический концентратор;
1-солнечные лучи; 2-тепловоспринимающий элемент (солнечный коллектор);
3-зеркало; 4-механизм привода системы слежения; 5-трубопроводы,
подводящие и отводящие теплоноситель

Рисунок 3.9 - Концентрирующие гелиоприемники

Преимущества систем с концентрирующими гелиоприемниками -

способность выработки теплоты с относительно высокой температурой (до 100 °С) и даже пара. Недостатки: высокая стоимость конструкции; необходимость постоянной очистки отражающих поверхностей от пыли; работа только в светлое время суток, а следовательно, потребность в аккумуляторах большого объема; большие энергозатраты на привод системы слежения за ходом Солнца, соизмеримые с вырабатываемой энергией.



1-параболоцилиндрический концентратор; 2- жидкостный теплоаккумулятор; 3-дополнительный теплоисточник; 4-термометр; 5-контур системы отопления; 6-регулирующий клапан; 7-циркуляционный насос

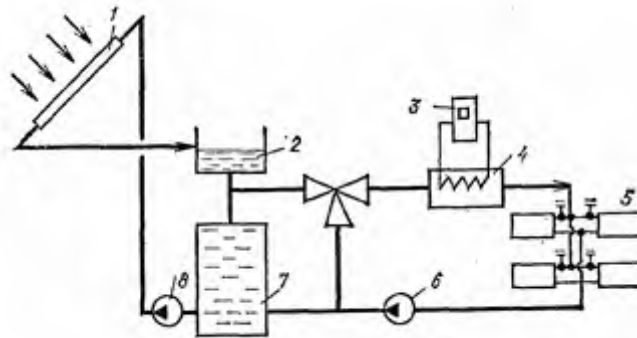
Рисунок 3.10 - Жидкостная комбинированная двухконтурная низкотемпературная система солнечного отопления с параболоцилиндрическим концентратором и жидкостным теплоаккумулятором

Эти недостатки сдерживают широкое применение активных низкотемпературных систем солнечного отопления с концентрирующими гелиоприемниками. В последнее время для солнечных низкотемпературных систем отопления применяют плоские гелиоприемники.

В водяной низкотемпературной системе солнечного отопления с солнечными коллекторами предусмотрен автоматический дренаж коллекторов при прекращении воздействия солнечной радиации (рисунок 3.11, 3.12).

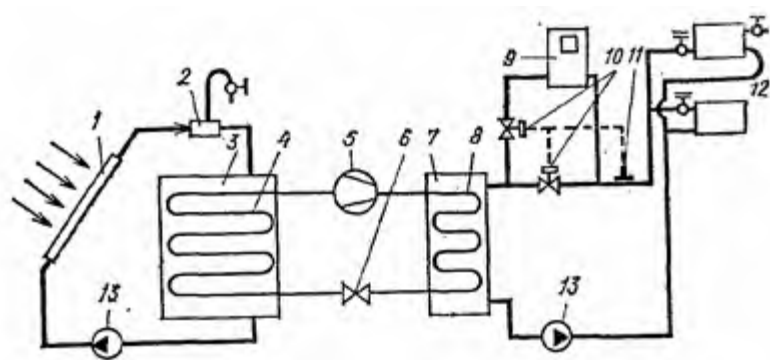
В качестве тепловоспринимающей панели можно использовать любой металлический или пластмассовый лист с каналами для теплоносителя. Их изготавливают из алюминия или стали двух типов: лист-труба и штампованные панели (труба в листе). Пластмассовые панели из-за недолговечности и быстрого старения под действием солнечных лучей, малой теплопроводности применяются редко. Под действием солнечной радиации тепловоспринимающие панели разогреваются до температур 70-80°С, превышающих температуру окружающей среды, что ведет к возрастанию конвективной теплоотдачи панели в окружающую среду и ее собственного излучения на небосвод. Для достижения более высоких температур теплоносителя поверхность пластины покрывают спектрально-селективными слоями, активно поглощающими коротковолновое излучение солнца и снижающими ее собственное тепловое излучение в длинноволновой части спектра. Такие конструкции на основе «черного никеля», «черного

хрома», окиси меди на алюминии, окиси меди на меди и другие являются дорогостоящими. Также уменьшения тепловых потерь достигается созданием вакуума между тепловоспринимающей панелью и прозрачной изоляцией, которая удорожает и утяжеляет конструкцию гелиоприемника.



1-солнечные плоские коллекторы; 2-расширительный бак; 3 - дополнительный теплоисточник; 4 - теплообменник; 5-отопительные приборы; 6 - циркуляционные насосы; 7 – бак - теплоаккумулятор

Рисунок 3.11- Водяная низкотемпературная система солнечного отопления с плоскими коллекторами и их автоматическим дренажем при прекращении циркуляции



1-солнечные коллекторы; 2-воздухосборник; 3-низкотемпературный жидкостный теплоаккумулятор; 4-испаритель теплового насоса; 5-компрессор; 6-дрессельный вентиль; 7-высокотемпературный жидкостной теплоаккумулятор; 8-конденсатор теплового насоса; 9-дополнительный теплоисточник; 10-магнитный вентиль; 11-термометр; 12-отопительные приборы; 13 -циркуляционный насос

Рисунок 3.12 - Жидкостная двухконтурная комбинированная низкотемпературная система солнечного отопления с плоскими коллекторами, тепловым насосом и двумя жидкостными теплоаккумуляторами

Недостатки подобных систем - высокая стоимость коллекторов. Увеличение эффективности их работы за счет селективных покрытий, повышение прозрачности остекления, вакуумирования, а также устройства

системы охлаждения экономически нерентабельны. Необходимость частой очистки стекол от пыли, что практически исключает применение коллектора в промышленных районах, неравномерность загрузки в течение года и суток.

Все гелиосистемы с солнечными коллекторами в средних широтах требуют устройства больших по объему баков-аккумуляторов и включения в систему дополнительного источника энергии, что снижает их экономичность. Целесообразно их использование в районах с высокой средней интенсивностью солнечной радиации (не ниже 300 Вт/м^2).

Солнечные абсорберы.

Солнечные абсорберы состоят из тепловоспринимающей панели с каналами, по которым циркулирует теплоноситель. Тепловоспринимающая панель не изолируется остеклением со стороны, обращенной к солнцу, а частично и теплоизоляцией с обратной стороны. Т.е. отпадает необходимость в корпусе, что значительно снижает стоимость данной конструкции по сравнению с солнечными коллекторами. Теплоноситель подается с постоянной температурой на $3-5 \text{ }^\circ\text{C}$ ниже температуры окружающего воздуха. Охлаждение теплоносителя производится с помощью теплового насоса, что позволяет использовать не только прямую и рассеянную солнечную радиацию, но и теплоты атмосферы, осадков, фазовых превращений при конденсации, инееобразовании на их поверхности. Возможна также утилизация теплотерь через ограждающие конструкции при совмещении с ними абсорбера.

Солнечные абсорберы имеют потери тепла лишь $5-10\%$ падающей на их поверхность солнечной радиации, которая отражается от нее в зависимости от цвета и качества покрытия. Собственное тепловое излучение абсорбера на небосвод и окружающие поверхности также или отсутствует, или абсорбер сам воспринимает длинноволновое излучение небосвода и окружающих поверхностей. Абсорберы не требуют очистки от пыли, так как она увеличивает коэффициент поглощения солнечной радиации.

К солнечным абсорберам предъявляются следующие требования: высокие поглотительные свойства поверхности за счет ее структуры, цвета, ориентации, высокая теплопроводность, долговечность (коррозионностойкость), низкая стоимость.

В качестве абсорбционных гелиоприемников чаще всего используются тепловоспринимающие панели двух типов: лист-труба и штампованные панели из алюминия к стали. Конструкция типа лист-труба обычно включает металлический лист, к которому привариваются трубы круглого сечения. Недостатками этой конструкции являются небольшая площадь контакта труб с листом. Недостаток второго типа тепловоспринимающей панели - низкая долговечность, так как такая панель быстро корродирует с внутренней стороны.

Солнечные абсорберы устанавливаются на кровле или могут служить ее конструктивным элементом, а также применяются в виде облицовочных стен, балконных ограждений или элементов ограды. При этом из-за их небольшого веса в отличие от солнечных коллекторов не требуется усиления несущих конструкций. На кровле здания абсорберы монтируются под углом к горизонту $\pm 15^\circ$.

Основной недостаток солнечных абсорберов - необходимость поддержания постоянно низкого температурного уровня теплоносителя, из-за чего невозможно его использование для отопления и горячего водоснабжения зданий в зимний период. Для повышения потенциала низкотемпературного теплоносителя применяется тепловой насос.

3.4 Паротурбинные СЭС

Схемы СЭС приведены на рисунках 3.13-3.14. На башне 2 установлен котел 3, на котором фокусируется солнечное излучение, собираемое с нескольких гектаров земной поверхности зеркалами-гелиостатами. Гелиостаты 1 отслеживают движение Солнца по небосводу. Зеркала каждого гелиостата площадью в несколько квадратных метров направляют солнечные лучи на стенки теплообменника котлоагрегата, в котором вырабатывается пар с температурой до 510°C . По паропроводу 5 пар направляется в турбину для выработки электроэнергии. Установка имеет накопитель теплоты 4 - емкость объемом в несколько тысяч м^3 заполненную щебнем, который нагревается «острым» паром в часы максимума интенсивности солнечного излучения и отдает теплоту после захода Солнца. Количество теплоты, воспринятой парогенератором СЭУ, составляет:

$$Q = \eta_{\text{и}} \cdot n \cdot F \cdot I, \text{ Вт},$$

где $\eta_{\text{и}} = (0,3 - 0,5)$ - коэффициент использования солнечного излучения;
 n - количество гелиостатов;
 F - площадь одного гелиостата, м^2 ;
 I - интенсивность солнечного излучения, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Работа килограмма пара в паротурбинной установке в цикле Ренкина равна:

$$l = h_1 - h_2, \text{ кДж/кг};$$

термический КПД:

$$\eta_t = (h_1 - h_2)/(h_1 - h_k),$$

где h_1 - энтальпия острого пара;

h_2 - энтальпия отработавшего в турбине пара (определяются по $h - s$ диаграмме водяного пара);

h_k - энтальпия конденсата (определяется по таблицам термодинамических свойств воды и водяного пара).

Теоретическая мощность паротурбинной СЭУ составит, Вт:

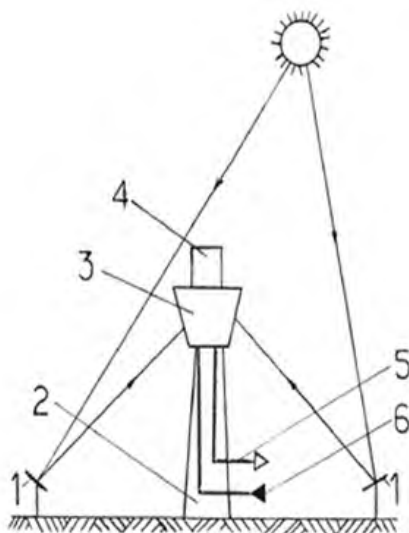
$$N_{пт} = \eta \cdot t \cdot \eta_{0i} \cdot \eta_{э} \cdot Q,$$

где η_{0i} - относительный внутренний КПД турбины,

$\eta_{э}$ - КПД электрогенератора (0,92 - 0,96).

Реальная мощность СЭС меньше теоретической вследствие затрат энергии на собственные нужды (привод насосов и т.д.).

Паротурбинные СЭС имеют высокие кап. затраты из-за высокой стоимости автоматизированных зеркал-гелиостатов. Экономичнее вместо дорогих стеклянных зеркал - гелиостатов использование пленки с металлическим напылением, натянутой на обручи диаметром 1,5 метра.



1 - гелиостаты; 2 - башня; 3 - солнечный котел; 4 - теплоаккумулятор; 5 - трубопровод острого пара; 6 - трубопровод питательной воды

Рисунок 3.13 - Схема СЭС

Созданный под пленкой вакуум придает ей параболическую форму. Эти вогнутые зеркала фокусируют солнечное излучение на трубы, в которых нагревается и испаряется питательная вода паротурбинной установки, поэтому этой СЭС башня с баком-парогенератором не нужна. Стоимость одного киловатта установленной мощности приблизилась к угольным станциям.

На СЭС «Альмерия» (Испания) в качестве теплоносителя первого

контура парогенератора на вершине солнечной башни используется жидкий натрий, во втором контуре - обычная вода.

В СЭС (Германия) солнечные лучи нагревают до 800°C сжатый воздух, который вращает газовую турбину. Теплота отработанного в газотурбинной установке воздуха затем используется в паротурбинном цикле, что повышает КПД СЭС.

Разрабатываются проекты СЭС с замкнутыми газотурбинными установками, в которых рабочим телом является гелий. Параметры гелиевого теплоносителя перед турбиной: температура 600°C , давление $0,8\text{ МПа}$; КПД - 25%. Эффективность СЭС можно увеличить, если солнечный паровой котел дополнительно оснастить гелиоконцентраторами (рис. 3.13). Задачей зеркал или линз является фокусировка солнечных лучей, следовательно, повышение температуры нагреваемого объекта. Обогреваемый объект не только воспринимает излучение, но и излучает сам, причем тем в большей мере, чем выше становится его температура.

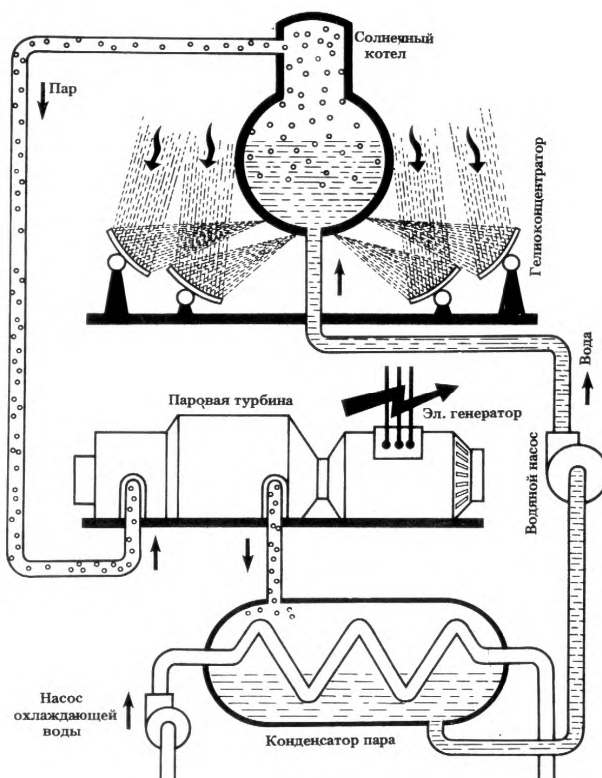


Рисунок 3.14 - Схема СЭС с гелиоконцентраторами

Из-за непостоянства солнечной радиации от погоды, времени суток и года, географического расположения необходим аккумулятор тепла - бак с водой.

Одно из направлений солнечной энергетики — утилизация солнечной тепловой энергии. С сезонной (летней) утилизацией солнечной тепловой энергии для создания ее запасов на зимний период. Подогреваемую в солнечных панелях воду до 90°C закачивают в подземные резервуары

(создаваемые искусственно или используют карстовые пустоты естественного происхождения с глиняным покрытием). В холодный период тепловая энергия этой воды, с остаточной температурой 40—45 °С, преобразуется тепловыми насосами в высокотемпературный теплоноситель.

Предлагается строительство на территории Египта, Алжира, Ливии и Марокко СЭС мощности, которая бы превосходила нынешнее мировое потребление электроэнергии (плотность солнечной энергии там около 1000 Вт/м²).

Для РФ необходимо научиться эффективно и рационально использовать средние 240 Вт/кв.м и применять солнечную технологию энергообеспечения там, где это выгодно.

3.5 Сырье для солнечной энергетики

Главным сдерживающим фактором развития СЭ является высокая стоимость материалов для ФЭП. Для солнечной энергетики применяют следующие материалы: кремний, кадмий, теллур, медь, индий, галлий, мышьяк, серебро, германий.

По прогнозам, солнечный кремний и в дальнейшем будет доминировать в фотоэлектрической промышленности, т. к. целесообразно потреблять наиболее доступные ресурсы имеющиеся на Земле. В земной коре - 29,5% кремния, который занимает второе место по запасам после кислорода.

Среднегодовой рост рынка солнечных энергетических установок составляет более 35%. Стоимость кремниевых ФЭП за последние 40 лет снизилась в 40 раз. 1 кВт установленной мощности на фотоэлектрических СЭС составляет - \$2500.

1 кг кремния на СЭУ за год вырабатывает такое количество электроэнергии, на производство которого на обычных ТЭС требуется 2,5 т нефти, а срок службы кремниевого преобразователя – 50 - 100 лет.

90% всех СЭ изготавливают в виде пластин из кремния высокой чистоты (99,999%) выращиванием из него монокристаллических или мульткристаллических слитков, резки слитков на пластины и создания в них диодной структуры.

Остальные 10% СЭ делают из сложных полупроводниковых материалов в виде тонких пленок: аморфного Si; CdS/CdTe; CuInSe₂; CuInGaSe₂; GaAs. При толщине пластин 0.3 мм, необходимой по условиям механической прочности, расход кремния 10г на 1Вт мощности СЭ. Для полного поглощения света толщина кремния должна не менее 50 мкм.

СЭ из кремния.

В 2014 г. мировое производство чистого кремния - 33 тыс. т., среднегодовой рост производства составил 9%.

Проблема с сырьем для солнечной энергетики может быть решена

только за счет увеличения производства чистого кремния. По прогнозам производство СЭ из кристаллического кремния составит 4,5-5,0 ГВт в год.

Для обеспечения дальнейшего роста необходимо использовать новые материалы, обеспечивающие полное поглощение света в микронном слое при сохранении высокой стабильности и эффективности СЭ. При изготовлении СЭ толщиной 50 мкм и сборке из них двухсторонних солнечных модулей из кристаллического кремния с КПД - 20% позволяют снизить расхода чистого кремния до 1,5 г на 1 Вт, что в несколько раз меньше, чем при выращивании кристаллического кремния в виде тонких лент. Дальнейшее снижение расхода полупроводникового материала (до 50 раз) в тонкопленочных СЭ обеспечит солнечную энергетику конкурентоспособной с традиционными источниками энергии.

Промышленные СЭ имеют КПД 16,5%. В лаборатории достигнут более высокий КПД - 24,5%. Планируется к 2020 г. достичь для промышленных СЭ КПД - 40%.

Основной проблемой при производстве СМ является сокращение стоимости при одновременном повышении качества. Цена СМ понизится до 2 евро/Вт, когда их производство достигнет 12 ГВт в год. При этом уровень 2 евро/Вт достигим для СЭ из кристаллического кремния при снижении стоимости чистого кремния за счет: роста масштабов производства, увеличения площади пластин, снижения их толщины, сокращения отходов при изготовлении и повышения КПД СЭ.

В настоящее время кремний, используемый для изготовления СЭ, представляет собой или отходы электронной промышленности, или низкосортный кремний, произведенный специально для солнечной энергетики. Цены на такой кремний в последние годы выросли с 20 до 60 евро/кг.

Снижение цены кремния может быть достигнуто при использовании новых методов его очистки.

Чтобы получить СЭ исходный кремний-сырец плавят в кварцевом тигле и из расплава вытягивают монокристаллические слитки в виде цилиндров диаметром 150-200мм (рисунок 3.15).

Для уменьшения потерь дорогого кремния разрабатываются технологии прямого его получения в виде лент и листов кремния с помощью фильер. По граням трубу режут лазером на кремниевые листы и пластины. Планируется сокращение толщины пластин до 100 мкм при выходе годного материала более 90%.

Основные этапы изготовления СЭ - создание p-n перехода, нанесение контактов и антиотражающего слоя.

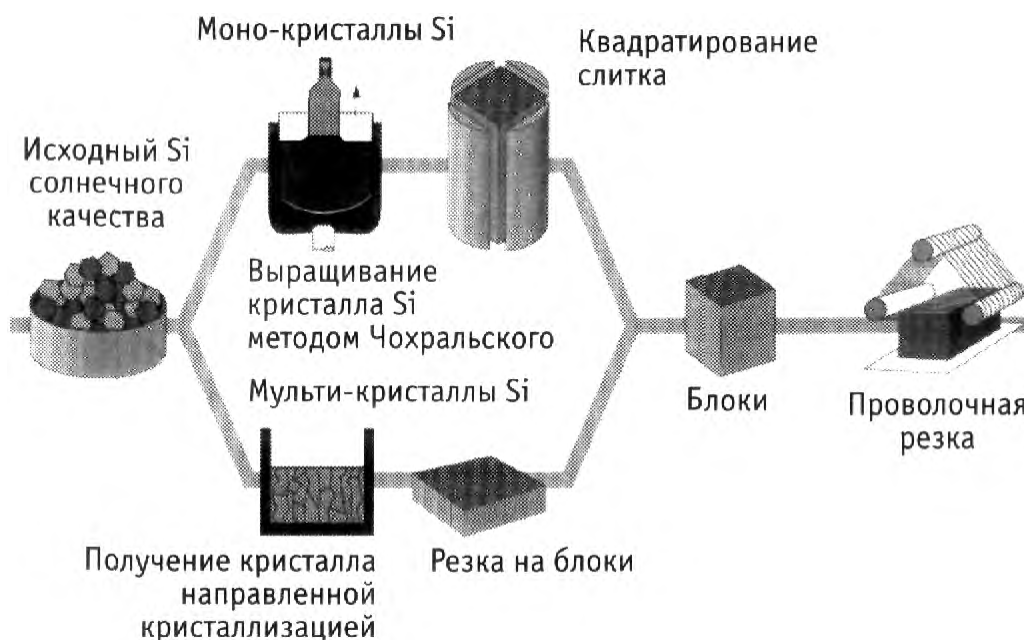


Рисунок 3.15 - Производство кристаллов и пластин для солнечных элементов

При объеме производства 100 ГВт в год и расходе кремния 10000 т/ГВт мировое потребление кремния составит 1 млн. т в год. Развиваются новые технологии получения кремния в виде тонких листов, лент, пленок с лазерным раскроем.

Срок службы СМ зависит от надежности защиты металлических контактов от воздействия окружающей среды, особенно воды. В большинстве случаев используют стеклянное покрытие с клеящим слоем из этиленвинилацетата или акриловой.

Теллурид кадмия – CdTe.

СЭ на основе тонких пленок из CdTe - КПД 7-9%. Ожидается увеличение их КПД до 15%. Для полного поглощения света достаточно иметь толщину пленки из CdTe около 1 мкм. На изготовление СЭ площадью 1 м² требуется 10 г теллура и 9 г кадмия. При КПД 15% для создания СЭ мощностью 1 кВт потребуется 60 г Те (рисунок 3.16).

Кадмий и теллур относятся к рассеянным элементам.

Кадмий получают попутно при производстве цинка. Мировые извлекаемые промышленные запасы кадмия оцениваются в 600 тыс. т. Общие же мировые запасы превышают 6 млн. т. Мировое производства кадмия в 2005 г. составило 17000-20000 т.

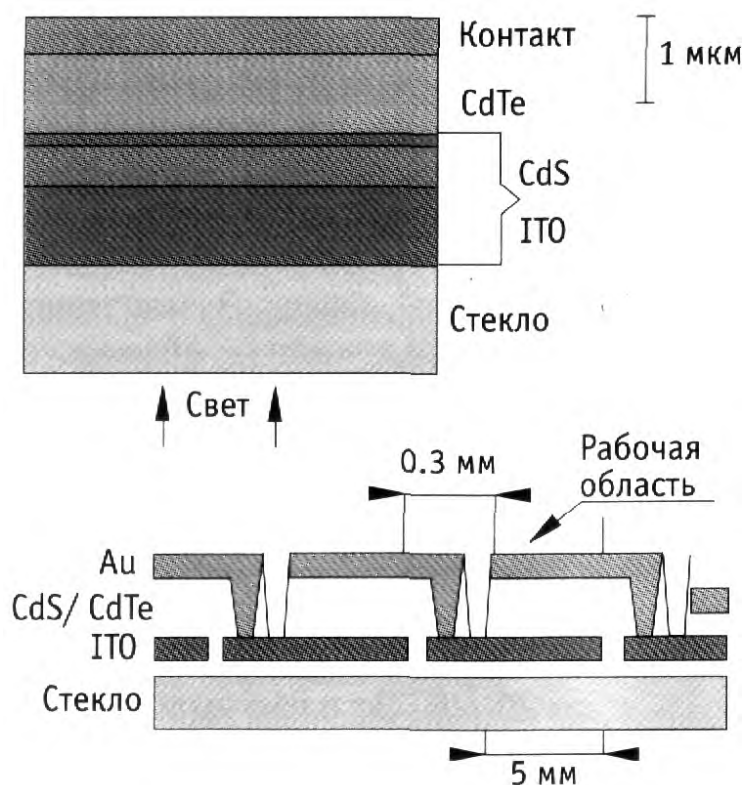


Рисунок 3.16 - Структура солнечных элементов на основе CdS/CdTe и схема их коммутации в модуле

Теллур. Мировые извлекаемые запасы теллура оцениваются 40-50 тыс. т. Главными источниками теллура служат шламы, образующиеся при электролитической очистке медных анодов, которые содержат до 3-5 % теллура в виде соединений с благородными металлами. В 2006г производство в мире теллура составило 320-360 т, при его стоимости 100-170 долл./кг.

Увеличение производства Те ограничено, но основные производители СЭ на основе CdS/CdTe планируют увеличение их выпуска до 200 МВт в год за счет снижения толщины слоя Те в 10 раз.

Диселенид меди и индия (CuInSe₂).

Высокая способность к поглощению солнечного излучения у пленок из CuInSe₂ (CIS) позволяет создавать тонкопленочные СЭ с КПД до 14,5%. Добавка галлия - Cu(In, Ga)Se₂ (такой материал называют CIGS) повысила эффективность СЭ до уровня СЭ из кремния (рисунок 3.17). На получение солнечного модуля мощностью 100 Вт расходуется 3-4 г индия и 5-6 г селена.

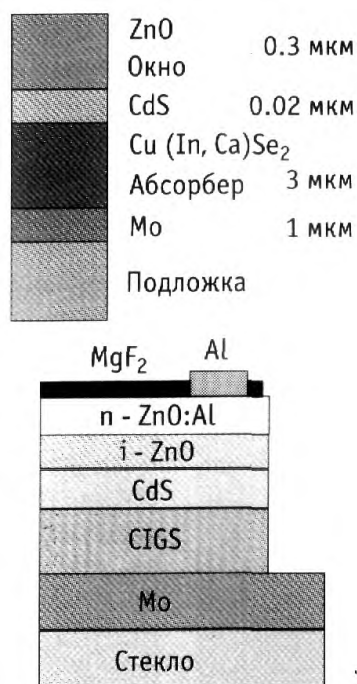


Рисунок 3.17 - Структура солнечных элементов на основе $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{Se,S})_2$

Селен. Селен встречается в сульфидных рудах в концентрациях сотых долей процента. Мировые извлекаемые запасы селена оцениваются в 80-90 тыс. т только по медным месторождениям. Селен содержится также в угле и нефти в количестве до 12 прт (прт - одна миллионная атомная доля), что увеличивает мировые запасы селена в 80-90 раз. Промышленными источниками для производства селена служат шламы, образующиеся при электролитической очистке медных анодов. Медные электролитические шламы содержат от 5 до 25% селена. Мировое производство селена в 2006 г. составило 2000 т в год при цене чистого Se 60-70 долл./кг.

Индий. В земной коре индия крайне мало и он очень рассеян. Мировые запасы индия оцениваются в 25 тыс. т, разведанные - в 5-6 тыс. т. Источниками индия служат отходы продукты производства цинка и свинца. Мировое производство индия за последние годы составило около 950 т в год. Цена на технический индий 600-700 долл./кг. Для производства CIS-СЭ лимитирующим сырьем является индий.

Производство цинка в мире растет и вместе с этим увеличивается сырьевая база для индия. Получение индия - энергоемкий процесс: на 1 кг индия требуется 3600 кВт·ч электроэнергии, что в 50 раз больше, чем на 1 кг алюминия. Однако затраты электроэнергии на производство солнечных модулей на основе CIS компенсируются за 7 недель эксплуатации.

В основном индий применяется для изготовления теплоотражающих электропроводящих покрытий на стекле с добавкой олова (ITO): жидкокристаллические мониторы, плазменные панели для компьютеров,

телевизоров, мобильных телефонов, "умные" окна.

СЭ на основе арсенида галлия (GaAs).

Первые СЭ на основе кристаллического GaAs (рис. 3.18). Уступая по эффективности кремниевым, новые СЭ были способны долго работать в космосе при значительном нагреве и радиационном воздействии. В СЭ с гетероструктурой AlGaAs-GaAs значительно выше КПД. Гетероструктуры создают методом ориентированного роста одного кристалла на поверхности другого.

Новым этапом явилось создание каскадных СЭ на кристаллической подложке из германия, который намного дешевле и механически прочнее, чем арсенид галлия при толщине фотоактивной области 1 мкм. Трехкаскадные СЭ с КПД до 25% уже применяются в космических аппаратах.

Для подложек вместо германия можно использовать более дешевый кремний. Многокаскадные СЭ на основе GaAs имеют КПД до 36%. Особенно перспективно использование таких СЭ в сочетании с оптическим концентратором солнечного излучения с кратностью от 10 до 1000. Подобные СЭС при оптической концентрации 500, занимая 5% площадей таких штатов как Невада, Аризона, Нью-Мексико, могли бы иметь мощность 1300 ГВт, или 42% всего потребления электроэнергии США.

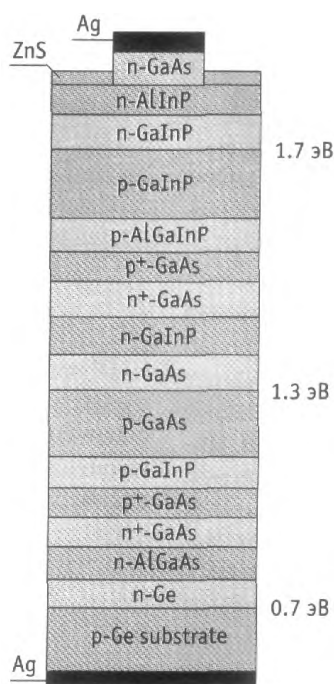


Рисунок 3.18 - Структура рекордного по КПД многокаскадного СЭ на основе пленок GaAs на подложке из кристаллического германия (цифры указывают ширину запрещенной зоны полупроводника в эВ)

Мышьяк - технически чистотый получают при переработке

концентратов меди, свинца, кобальта и фосфатов. Его производство в 2010 г. (в пересчете на трехокись мышьяка) составило 55 тыс. т, а мировые запасы в 20-30 раз больше. Для производства GaAs нужен мышьяк высокой чистоты, его стоимость составляет 90-100 долл./кг.

Если 1% мирового производства мышьяка использовать в солнечной энергетике, это даст 30 ГВт ежегодного прироста мощностей солнечных энергоустановок.

Галлий. Содержание галлия в земной коре почти равно содержанию свинца, но его мировое производство 200 т в год. В концентрациях несколько десятков ppm галлий встречается в минералах, содержащих оксиды алюминия, кремния, сульфиды цинка, мышьяка, германия и меди. Основной источник сырья - это растворы, образующиеся в процессе переработки бокситов. Мировые ресурсы галлия только в бокситах превышают 1 млн.т. Общемировое потребление галлия 150-220 т в год при цене на технический галлий 330-350 долл./кг.

Германий. В земной коре германия достаточно много (больше, чем серебра), но он очень рассеян. Германий извлекают при производстве цинка, свинца, меди. Практически весь германий, содержащийся в угле, переходит в газообразный оксид германия и конденсируется в золе. Мировые ресурсы германия - в 120 тыс. т. В мире производится 50-150 т первичного германия в год при цене 600-700 долл./кг. Основные сферы его применения - датчики приборов ночного видения, волоконно-оптические линии связи, химические катализаторы.

СЭ из серебра.

Контакты к СЭ из кремния и других полупроводников чаще всего изготавливают из серебра толщиной в несколько микрон (наилучшего по электропроводности металла). На 1 ГВт СЭ расход серебра составит около 250 т. В 2004 г. в мире добыча серебра составила 19.8 тыс.т. При этом 32% серебра было получено при добыче свинца и цинка, 26% - при добыче меди, 12% - при добыче золота и только 30% - из серебряных руд. Добыча серебра в России в 2004 г. составила 1178 т.

Мировой расход серебра для разных целей в 2012 г. составил, т:

промышленность	11416;
ювелирные изделия	7697 ;
фотография	5629;
монеты и медали	1278;
Итого:	26020.

Традиционная фотография быстро уступает свои позиции цифровой фотографии и в перспективе будет вытеснена ею. Снижение потребности в серебре для фотографии в 2004 г. по сравнению с 2003 г. составило 6%, или 370 т, что превысило потребности солнечной энергетике в то время.

Объемы потребления серебра в пленочной фотографии эквивалентны

его расходам на производство в год СЭ суммарной мощностью. Вклад стоимости серебросодержащих паст в себестоимость современного СЭ составляет около 1 %. Таким образом, стоимость и масштабы производства серебра не ограничивают дальнейшее развитие солнечной энергетики.

3.6 Перспективы солнечной энергетики

Все СЭС можно разделить на два типа: соединенные с промышленной электрической сетью и автономные. Станции первого типа отдают выработанную энергию в сеть, которая служит одновременно накопителем и распределителем энергии. Мощность таких станций уже сегодня достигает нескольких мегаватт.

Автономная СЭС имеет мощность до 10 кВт и состоит из набора СМ, размещенных на опорной конструкции или крыше здания, АБ с номинальным напряжением, кратным 12 В, регулятора заряда-разряда АБ, соединительных кабелей. Если потребителю необходимо переменное напряжение 220 или 380 В, добавляется инвертор - преобразователь постоянного напряжения АБ в переменное.

Максимальный достигнутый в лабораторных условиях КПД СЭ на основе каскадных гетероструктур составляет 37% (фирма Спектролаб, США), из кремния - 24%. Пока же практически все заводы в России и за рубежом выпускают солнечные элементы с КПД 14-17%. Разрабатывается новое поколение СЭ с предельным КПД до 93%, с применением новых физических принципов, материалов и структур. Основные усилия направлены на более полное использование всего спектра солнечного излучения.

Повышение КПД связано с концентрированием солнечного излучения, созданием полимерных элементов, а также наноструктур на основе кремния и фуллеренов, что позволит увеличить КПД СЭ на основе каскадных гетероструктур в лаборатории до 40%, в производстве до 26-30%.

Число часов использования установленной мощности в год составляет для СЭС 1000-2500 ч, для тепловых электростанций в среднем 5200 ч, для ГЭС 1000-4800 ч, для ВЭС 2000-3000 ч.

Стационарная солнечная электростанция с КПД - 20% и пиковой мощностью 1 кВт вырабатывает за год в центральной России и Германии 2000 кВт ч. в пустыне Сахара до 3500 кВт ч.

При слежении СЭ за Солнцем производство электроэнергии при тех же условиях возрастет на 40%. Зависимость вырабатываемой энергии от времени суток и погодных условий является основным недостатком СЭС в конкуренции с электростанциями на органическом топливе. Поэтому в крупномасштабных проектах предусматривается аккумулярование солнечной энергии путем электролиза воды и накопления водорода.

Проведено компьютерное моделирование параметров глобальной

солнечной энергетической системы, состоящей из трех СЭС, установленных в Австралии, Африке и Латинской Америке и соединенных линией электропередачи с малыми потерями. Размеры каждой из трех СЭС составляют 210 x 210 км, электрическая мощность 2,5 ТВт, при КПД - 20%. Такая объединенная СЭС способна генерировать электроэнергию круглосуточно и равномерно в течение года.

В связи с развитием объединенных энергосистем в Европе, Северной и Южной Америке и предложениями по созданию глобальной солнечной энергосистемы появились задачи по созданию устройств для передачи терраваттных трансконтинентальных потоков электрической энергии. В конкуренцию между системами передачи на переменном и постоянном токе может вступить третий метод - резонансный волноводный - передачи электрической энергии на повышенной частоте, впервые предложенной Н. Тесла в 1897 г.

Срок службы ТЭС и АЭС составляет 30—40 лет, а для полупроводниковых СЭ превышает 50 лет, так как взаимодействие фотонов с атомами и электронами не приводит к деградации кристаллической. Для увеличения срока службы модулей необходимо исключить из их конструкции полимерные материалы. В конструкции СЭ помещены в стеклопакет из двух листов стекла, что гарантирует герметичность модуля в течение 50 лет. Для снижения температуры СЭ и оптических потерь внутренняя полость модуля заполнена кремнийорганической жидкостью.

Новая бесполимерная технология сборки солнечного модуля была использована для создания эффективной вакуумной прозрачной теплоизоляции (ВПТИ), которая состоит из двух сваренных по торцам пластин стекла с вакуумным зазором 50 мкм (рисунок 3.21). В таблице 3.1 представлены теплоизолирующие характеристики ВПТИ. При наличии инфракрасного (ИК) покрытия на внутренней поверхности стекол сопротивление теплопередаче может быть увеличено в 10 раз по сравнению с одинарным остеклением зданий. Солнечные коллекторы с вакуумным остеклением будут нагревать воду не до 60°, а до 90°С, то есть из установок для горячего водоснабжения они переходят в класс установок для отопления зданий (в теплицах и зимних садах потери энергии благодаря ВПТИ уменьшаются на 50%). Облицовка южных фасадов зданий плитами ВПТИ с селективным покрытием превращает здание в гигантский солнечный коллектор и эквивалентно увеличению толщины стен на 1 м кирпичной кладки при толщине ВПТИ 12 мм.

Стоимость установленного киловатта мощности составляет для различных электростанций: ГЭС - 1000-2500, ТЭС - 800-1400, ВЭС - 800-3000, АЭС - 2000-3000 долл./кВт.

Таблица 3.1 - Сопротивление теплопередаче прозрачных ограждений зданий теплиц и солнечных установок

Наименование	Толщина, мм	Сопротивление теплопередачи $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$
Один лист стекла	6	0,17
Два листа стекла с зазором 16 мм	30	0,37
Вакуумный стеклопакет	6	0,44
Вакуумный стеклопакет с ИК-покрытием на одном стекле	6	0,85
Вакуумный стеклопакет с ИК-покрытием на двух стеклах	6	1,2
Двойной вакуумный стеклопакет с ИК-покрытием на двух стеклах	12	2,0
Кирпичная стена в 2.5 кирпича	300	1,2

Основным компонентом современных СЭС, определяющим их стоимость, является солнечный модуль (СМ), изготавливаемый из солнечных элементов на основе кремния. Стоимость СМ составляет сейчас 3500-4000 долл/кВт при объеме производства 1 ГВт/год, стоимость СЭС 6000-8000 долл/кВт. К 2020 г. прогнозируется достигнуть стоимости СЭС 1000 долл./кВт.

Основные пути снижения стоимости солнечной электростанции: повышение ее КПД, увеличение размеров СМ, снижение стоимости и расхода солнечного кремния на единицу мощности СЭС, комбинированное производство электроэнергии и теплоты. Максимальный размер солнечного модуля ограничен размерами стекла и составляет сейчас 2.5 x 3 м при электрической мощности 1 кВт. Объем производства СМ растет на 30% в год, а их стоимость с 1976 г. снизилась в 10 раз.

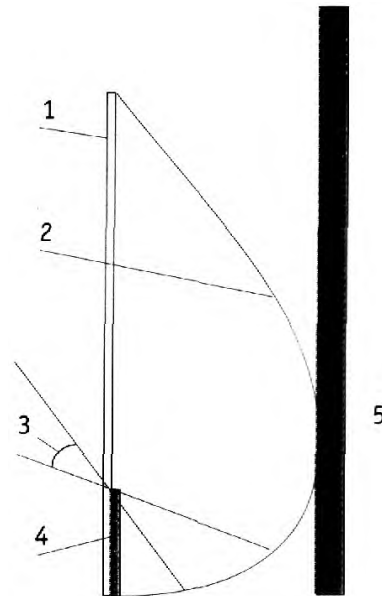
В структуре цены солнечного элемента стоимость кремния и других материалов составляет 76%. Снижения расхода кремния можно обеспечить за счет выращивания кристаллических слитков и снижение толщины солнечных элементов с 200 мкм до 100 мкм и до 2-20 мкм.

Для снижения стоимости и достижения гигаваттного уровня производства СЭС необходимо использовать концентраторы солнечного излучения. Стоимость 1 м^2 площади стеклянного зеркального концентратора в 10 раз меньше стоимости 1 м^2 площади солнечного модуля.

Разработаны стационарные концентраторы с коэффициентом концентрации 3,5-10 и угловой апертурой 48, позволяющие концентрировать прямую и рассеянную солнечную радиацию. Использование солнечного поликремния низкой стоимости и стационарных концентраторов позволяет снизить стоимости до 1000 долл./кВт.

Комбинированные солнечные электростанции могут обеспечить производственные и жилые объекты электрической энергией, горячей водой и

теплом. Коэффициент использования энергии Солнца составляет 50-60% при электрическом КПД 10-15%. Применение стационарных концентраторов позволяет увеличить температуру теплоносителя до 90° и снизить стоимость СЭС до 1000 долл./кВт.



1-стеклянное покрытие; 2-отражатель; 3-апертурный угол; 4 - двухсторонний приемник; 5 - южный фасад здания

Рисунок 3.19 - Солнечный фасад с вертикальным асимметричным модулем

На основе концентраторных модулей возможно соединение их с энергосистемой солнечных микро-ТЭЦ для односемейных, многоквартирных, домов и промышленных зданий.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое фотоэффект?
2. Дайте характеристику ресурсов солнечной энергетике?
3. Какие преимущества и недостатки солнечной энергетике?
4. Как производится солнечное теплоснабжение?
5. Какие существуют типы солнечных преобразователей?
6. Опишите системы солнечного отопления?
7. Опишите устройства паротурбинной СЭС.
8. Какие применяются материалы для изготовления солнечных модулей?
9. Какие существуют методы для повышения КПД солнечных модулей и снижения их стоимости?
- 10 Как устроен многокаскадный солнечный элемент?
- 11 Каковы перспективы солнечной энергетике?

4 Ветроэнергетика

4.1 Ресурсы ветровой энергетики

Ветроэнергетика самая перспективная экологически чистая возобновляемая энергия т.к. имеет следующие преимущества.

ВЭУ не загрязняют атмосферу, не требуют поставок топлива и практически безопасны.

Монтаж ВЭУ мощностью 1-2 МВт может быть осуществлен за 3-10 дней, а весь строительно-монтажный цикл составляет 1,5-2мес. Ветроэнергетика в состоянии конкурировать с новыми электростанциями, работающими на угле, а в некоторых случаях — и природным газом.

Недостатки ВЭУ:

- ветряки и линии электропередачи портят пейзаж;
- на расстоянии до километра слышен шум, возможны инфразвуковые колебания и помехи телевидению;
- от лопастей ветродвигателей могут страдать птицы;
- проблема доставки вырабатываемой энергии к потребителю.

Поэтому в Западной Европе все чаще строят ВЭС на мелководье, на некотором расстоянии от берега моря. Суммарная кинетическая энергия ветра оценивается величиной $0,7 \times 10^{21}$ Дж.

За последние 15 лет в мире построены свыше 110 тыс. ветроустановок. Широкое распространение получают кооперативы мелких собственников (фермеров), которые с использованием государственных кредитов строят ВЭС и поставляют электроэнергию в энергосистему.

Мировой объем ветроэнергетического рынка ежегодно возрастает на 30% и удваивается каждые 3 года.

Ветровые установки могут использоваться для механизации подъема воды в отгонном животноводстве на засушливых землях, для опреснения соленых вод, выработки водорода, мелиорации земель. За последние 10 лет установленная мощность ВЭС увеличилась в 10 раз.

Единичная мощность ветроагрегатов достигла 4,5 МВт, диаметр ветроколеса самой мощной ВЭС составляет 112 м.

Сегодня ВЭУ — самые конкурентоспособные из всех возобновляемых источников энергии. Стоимость электроэнергии, вырабатываемой на ВЭС, с начала 80-х годов 20 столетия снизилась с 38 до 1,5 цента и станет ниже стоимости энергии, производимой традиционными электростанциями, работающих на органическом топливе.

Производство электроэнергии на ВЭУ напрямую зависит от силы ветра. Они эффективно работают при скоростях ветра от 5 до 25 м/с (от 3 до 9 баллов по шкале Бофорта). В штилевую погоду и при слабых ветрах, при сильных штормах недовыработка энергии должна компенсироваться резервными мощностями традиционных электростанций.

Прибрежные ВЭУ - при установке поодаль от берега снимаются проблемы отчуждения земель под строительство, снижаются шумовые нагрузки. В проливе Эрезунд между Данией и Швецией сооружаются 20 установок с единичной мощностью по 2 МВт.

Причины возникновения ветра. Неравномерное нагревание солнцем земной поверхности. Земная поверхность неоднородна: суша, океаны, горы, леса обуславливают различное нагревание поверхности под одной и той же широтой.

Вращение Земли также вызывает отклонения воздушных течений. Все эти причины осложняют общую циркуляцию атмосферы. Возникают отдельные циркуляции, в той или иной степени связанных друг с другом (рисунок 4.1).

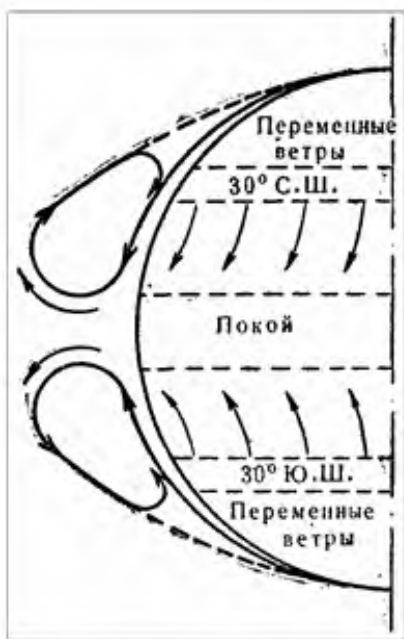


Рисунок 4.1 - Схема общей циркуляции земной атмосферы

На экваторе у земной поверхности лежит зона затишья со слабыми переменными ветрами. На север и на юг от зоны затишья расположены зоны пассатов, которые вследствие вращения Земли с запада на восток имеют отклонение к западу.

В северном полушарии постоянные ветры приходят с северо-востока, в южном с юго-востока. Пассаты простираются до 30° северной и южной широт и отличаются равномерностью воздушных течений по направлению и скорости 6-8 м/сек. Эти ветры вблизи больших континентов нарушаются сильными годовыми колебаниями температуры и давления над материками. Высота слоя пассатов простирается от 1 до 4 км.

Выше над пассатами находится слой переменных ветров, а над этим слоем находится зона антипассатов, дующих в направлении, противоположном направлению пассатов. Высота слоя антипассатов

меняется от 4 до 8 км в зависимости от времени года и от места.

Местные ветры зависят от условий рельефа земной поверхности (моря, горы и т. п.) вызывают местные ветры.

Бризы - береговые морские ветры возникающие вследствие изменения температур днём и ночью. Днём при солнечной погоде суша нагревается сильнее, чем поверхность моря, поэтому нагретый воздух становится менее плотным и поднимается вверх. Вместе с этим более холодный морской воздух устремляется на сушу, образуя морской береговой ветер.

Таким образом возникает циркуляция воздуха с направлением внизу - на берег моря, вверху - от суши к морю. Ночью над сушей воздух охлаждается сильнее, чем над морем, поэтому направление циркуляции изменяется: внизу воздух течёт на море, а вверху с моря на сушу. Зона распространения бриза около 40 км в сторону моря и 40 км в сторону суши, высота от 200 до 300 м.

Муссоны. Летом континент нагревается сильнее, чем окружающие его моря и океаны; поэтому над континентом образуется пониженное давление, воздух внизу устремляется к континенту от океанов, а вверху наоборот: от континентов к океанам. Зимой континенты значительно холоднее, чем поверхность моря, над ними образуется область повышенного давления, вследствие этого нижние слои воздуха направляются от континента к океанам, а в верхних слоях - наоборот, от океанов к континентам.

4.2 Классификация и устройство ветродвигателей

ВЭУ классифицируют следующим образом (рисунок 4.2):

- по мощности — малые (до 10 кВт), средние (от 10 до 100 кВт), крупные (от 100 до 1000 кВт), сверхкрупные (более 1000 кВт);
- по числу лопастей рабочего колеса: — одно-, двух-, трех- и многолопастные.

Ветродвигатели по устройству ветроколеса и его положению в потоке ветра разделяются на три класса (рисунок 4.2).

Первый класс - ветровое колесо располагается в вертикальной плоскости, при этом плоскость вращения перпендикулярна направлению ветра и ось ветроколеса параллельна потоку они называются крыльчатými.

Быстроходность - отношение окружной скорости конца лопасти к скорости ветра.

Крыльчатые ветродвигатели в зависимости от типа ветроколеса и быстроходности, разделяются на три группы:

- ветродвигатели многолопастные, тихоходные, быстроходные;
- ветродвигатели малолопастные, тихоходные, в том числе ветряные мельницы;
- ветродвигатели малолопастные, быстроходные.

Второй класс - с вертикальной осью вращения ветрового колеса они

подразделяются на группы:

- карусельные, у которых нерабочие лопасти либо прикрываются ширмой, либо располагаются ребром против ветра;
- роторные ветродвигатели системы Савониуса.

Третий класс - ветродвигатели, работающие по принципу водяного мельничного колеса и называются барабанными. У них ось вращения горизонтальна и перпендикулярна направлению ветра.

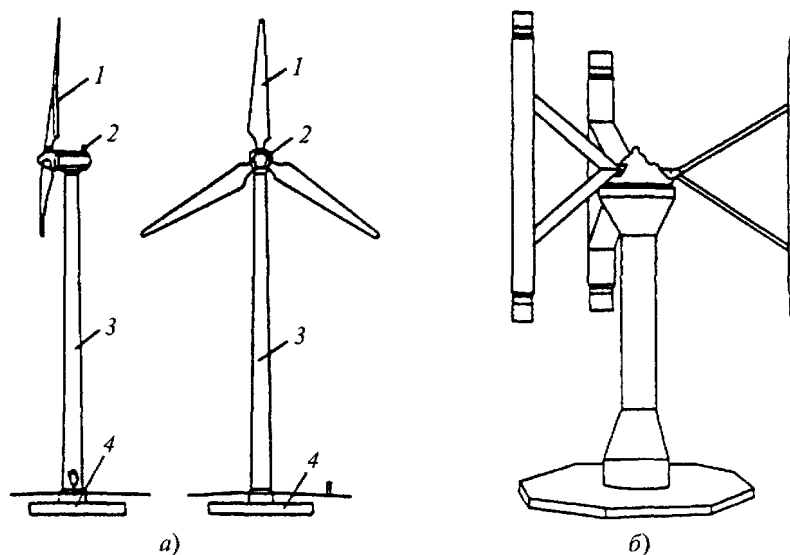


Рисунок 4.2 - ВЭУ с горизонтальной (а) и вертикальной (б) осями вращения

Основные недостатки карусельных и барабанных ветродвигателей.

1. Рабочие лопасти колеса перемещаются в направлении воздушного потока, поэтому ветровая нагрузка действует не одновременно на все лопасти, а поочередно. В результате каждая лопасть испытывает прерывную нагрузку, коэффициент использования энергии ветра не превышает 10%.

2. Движение поверхностей ветроколеса в направлении ветра не позволяет развить большие обороты, так как поверхности не могут двигаться быстрее ветра.

3. Малая ометаемая поверхность по сравнению с размерами самого колеса, что значительно увеличивает его вес, отнесённый к единице установленной мощности ветродвигателя.

У роторных ветродвигателей системы Савониуса наибольший коэффициент использования энергии ветра - 18%.

Крыльчатые ветродвигатели имеют хорошие аэродинамические качества и меньший вес на единицу мощности.

Коммерческое применение крыльчатых ветродвигателей началось с 1980 года. Их мощность увеличилась в 100 раз: от 20-60 кВт при диаметре ротора около 20 м; до 5000 кВт при диаметре ротора свыше 100 м.

4.3 Режимы работы ветроколеса

Вырабатываемую мощность ВЭС (рисунок 4.3) рассчитывается следующим образом. Кинетическая энергия, Дж, воздушного потока со средней скоростью v , м/с, проходящего через поперечное сечение площадью F , м^2 , перпендикулярное направлению v , и массой воздуха m , кг, рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{кин}} = m \cdot v^2 / 2.$$

Примем, что m — секундная масса воздуха, кг/с, тогда мощность, развиваемая потоком воздуха составит, Дж/с (или Вт):

$$N = 0,5 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot F,$$

где ρ — плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Секундная масса воздуха определяется по формуле:

$$m = \rho \cdot v \cdot F.$$

Значение $\rho = 1,226 \text{ кг}/\text{м}^3$, соответствующее нормальным климатическим условиям: $t = 15^\circ\text{C}$, $p = 760 \text{ мм рт. ст.}$ ($101,3 \text{ кПа}$).

Для $F = 1 \text{ м}^2$ получаем удельную мощность ветрового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$:

$$N_{\text{уд}} = 0,5 \cdot \rho \cdot v^3.$$

Сила ветра возрастает с высотой, поэтому ВЭУ размещают на высоких башнях. Немецкая ВЭУ «Гровиан-1» мощностью 3 МВт на берегу Северного моря, имеет диаметр ротора 100 м, высоту башни 110 м.

В ветроэнергетике скорость ветра, не более 25 м/с, что соответствует 9-балльному ветру (шторм) по 12-балльной шкале Бофорта. Значения удельной выработки энергии $N_{\text{уд}}$ в зависимости от скорости ветра составляют:

v , м/с	2	3	4	5	10	14	18	20	23	25
$N_{\text{уд}}$, $\text{Вт}/\text{м}^2$	4,9	16,55	39,2	76,6	613	1682	3575	4904	7458	9578.

Преобразование кинетической энергии ветра в электрическую происходит с помощью ВЭУ. Обобщенной характеристикой ВЭУ является коэффициент удельной выработки электроэнергии:

$$K_{\text{уд}} = W_{\text{год}} / (\pi \cdot R^2),$$

где $W_{\text{год}}$ — годовая выработка электроэнергии, кВт·ч;
 $\pi \cdot R^2$ — площадь ометаемой поверхности ветроколеса, м^2 .

Для расчетов в диапазоне скоростей ветра от v_p^{min} до v_p^{N} полезная мощность ВЭУ, кВт, при заданных скоростях ветра v , м/с, на высоте башни H_6 , м, и диаметре ротора D , м, рассчитывается по формуле:

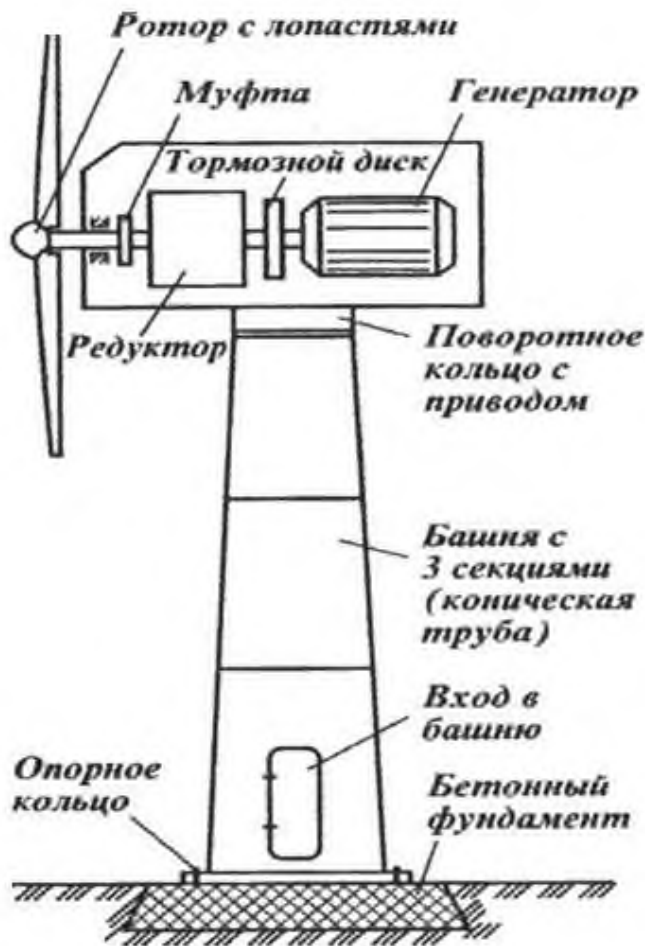
$$N_{\text{ВЭУ}} = N_{\text{уд}} \cdot F_{\text{ВЭУ}} \cdot \eta_p \cdot \eta_r \cdot \xi \cdot 10^{-3},$$

где $F_{\text{ВЭУ}} = \pi \cdot D^2 / 4$ — ометаемая площадь ВЭУ с горизонтальной осью вращения, м^2 ;

$\eta_p = 0,9$ — КПД ротора;

$\eta_r = 0,95$ — КПД электрогенератора;

ξ — коэффициент мощности, который учитывает долю получаемой мощности ветродвигателем от мощности воздушного потока (в практических расчетах $\xi = 0,45$).



1 - башня; 2 - токосъемник; 3 - гондола; 4 - электрогенератор; 5 - редуктор;
 6 – ротор, 7 - фундамент

Рисунок 4.3 - Схема ВЭУ

После подстановки указанных значений получим выражение:

$$N_{ВЭУ} = 1,85 \cdot D^2 \cdot v^3.$$

Предельная допустимая скорость ветра с точки зрения прочности ВЭУ равна 60 м/с.

Уровень шума крупных ВЭУ у основания башни не превышает 100 дБ. Обычно для энергетических целей используют кинетическую энергию приземного слоя воздуха высотой не более 200 м. Для повышения мощности единичной ВЭУ с диаметром ротора D стремятся увеличить высоту башни H_6 , так как скорость ветра возрастает с высотой.

Ветряки с вертикальной осью ротора менее эффективны, чем с горизонтальной осью и двумя - тремя лопастями. Современные лопасти изготавливают из стеклопластика. Ширина (хорда) лопасти уменьшается к концу для ослабления шума. Уровень шума около ВЭУ, работающей на полную мощность, не превышает 100 дБ. Длина лопасти более 100 м, соответственно высота башни мачты превышает 100 м и более. КПД современных ветродвигателей $\eta_v = 25 \dots 33\%$.

При разной силе ветра должно регулирование числа оборотов ротора автоматическим регулированием угла атаки лопасти. Гондола ветроагрегата автоматически разворачивается на башне против ветра.

4.4 Ветроэнергетические установки (ВЭУ)

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) — это комплекс технических устройств для преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую. Он включает в себя: ветроагрегат (ветродвигатель в комплекте с одной или несколькими рабочими машинами); устройство, аккумулирующее энергию или резервирующее мощность; в ряде случаев — дублирующий двигатель (чаще всего тепловой); системы автоматического управления и регулирования режимов работы установки.

Различают ветросиловые установки (ВЭУ) и ветроэлектрические станции (ВЭС). Ветродвигатель использует кинетическую энергию ветра для выработки механической энергии. Существуют крыльчатые ветродвигатели (наиболее распространенные) с коэффициентом использования энергии ветра до 0,48, карусельные (роторные) с коэффициентом использования не более 0,15 и барабанные. В основном ветродвигатели применяются на ВЭС.

Механическая энергия ветроколеса передается через редуктор и муфту на асинхронный генератор, размещенный в капсуле ВЭУ.

Постоянный ток от нескольких ВЭУ, входящих в состав ВЭС, преобразуется в переменный со стандартной частотой и подается в энергосистему. Обеспечивается синхронизация частоты и группового регулирования ВЭУ при работе на энергосистему при толчках, связанных с

изменением скорости ветра. Вместо асинхронного генератора используют генератор постоянного тока высокого напряжения (до 20 кВ). В этом случае становятся ненужными редуктор, система плавного запуска, трансформатор, соответственно уменьшаются габаритные размеры и масса капсулы. Энергия от ВЭУ по кабелю поступает к потребителю или в сеть.

Скорость ветра меняется в течение суток, испытывает сезонные и другие изменения. Соответственно меняется мощность, вырабатываемая ветровым и электростанциями, имеют место набросы и провалы их доли в нагрузке энергосистемы. Поэтому для поддержания частоты тока необходимо иметь в составе энергосистемы запас резервных мощностей. Проще всего эта задача решается при совместной работе на энергосистему ветровых и гидравлических станций, в том числе ГАЭС. Избыточная энергия, которая вырабатывается ВЭС в часы минимального потребления энергосистемой, может аккумулироваться закачкой воды в расположенный выше бассейн. Можно использовать ее, закачивая сжатый воздух в подземные резервуары, или вырабатывая водородное топливо электролизом воды.

ВЭУ мощностью 1000 - 1500кВт - лопастные машины с горизонтальным валом, установленным по направлению ветра. Они могут быть изолированными или с резервом. Последние комплектуются дизельными электростанциями, приводимыми в действие в безветренную погоду.

Происходит увеличение единичной мощности отдельных ветроагрегатов, работающих на крупную энергосистему, а также объединение их в единый технологический комплекс — ветро-электростанцию (или ветропарк). Единичная мощность горизонтально-осевого агрегата достигла 3,5 МВт (офшорный морской вариант GE), ветропарк — 47 МВт (наземный вариант) и 250 МВт (проектируемый парк в немецком секторе Северного моря).

Перспективны технологии с безредукторными схемами: соединения ветроколеса и генератора, что повышает КПД установки (таблица 4.1).

Разрабатываются ВЭУ новых типов для изолированных потребителей, которые будут иметь более высокие аэродинамические характеристики.

Эксплуатируемые ВЭУ мощностью 1000 — 1500кВт (таблица 4.1) представляют собой лопастные машины с горизонтальным валом, установленным по направлению ветра. Они могут быть изолированными или с резервом. Последние комплектуются дизельными электростанциями, приводимыми в действие в безветренную погоду.

Разрабатываются ВЭУ новых типов для изолированных потребителей, которые будут иметь более высокие аэродинамические характеристики по сравнению с их аналогами.

Таблица 4.1 - Эксплуатируемые ВЭУ мощностью 1000 — 1500кВт

Характеристика ВЭУ	Тип ВЭУ				
	P-1	ВТО-1250	Gamma-60	Vestas 1500	Nordic 1.0
Мощность, кВт	1000	1250	1500	1500	1000
Турбина	Трехлопаст. горизонт.	Трехлопаст. вертикальн.	Двухлопаст. горизонт.	Трехлопаст. горизонт.	Двухлоп. горизонт.
Шаг лопастей	Регулируемый	Фиксированный	Фиксированный	Регулируемый	Регулируемый
Диаметр ветроколеса, м	48	27	60	60	53
Высота, м	42	27	66	-	58
Пределы скорости ветра, м/с	5-25	6-30	5-27	4-20	-
Ном. скорость ветра, м/с	13,6	20,0	13,3	15	-
Частота вращения, мин ⁻¹	24-42	18-30	15-44	28	-
Генератор	АСГ	АСГ	СГ+ПЧ	АГ	СГ+ПЧ
Разработчик	МКБ "Радуга" (Россия)	НПО "Южное" (Украина)	Alenia Spa (Италия)	Vestas AG (Дания)	Nordic AB (Швеция)

4.4 Производство электрической и механической энергии ВЭУ

Со средних веков и до начала XIX столетий ветер использовался как основной и единственный источник энергии в морском парусном флоте. Можно определить механический эквивалент парусного вооружения крупного судна в современных единицах измерения мощности. Для этого парусность, то есть суммарную площадь парусов F судна, примем равной 1200 м^2 . Коэффициент использования энергии ветра k при движении судна с попутным ветром, считаем равным $0,4$, а плотность воздуха $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$. Тогда мощность, развиваемая судном при свежем ветре, то есть при скорости ветра $v = 9 - 10 \text{ м/с}$, будет равна:

$$W = \frac{\rho \cdot F \cdot v^3 \cdot k}{2} = 300 \text{ кВт.}$$

Для судов тех лет, обычно имевших водоизмещение не более 1000 т , это значительная мощность, позволявшая кораблям достигать скорости 15 узлов (28 км/ч). Для сравнения: первый небольшой российский пароход "Елизавета", построенный в 1815 г. и ходивший на линии Петербург - Кронштадт, имел паровую машину мощностью всего 4 л.с. (около 3 кВт).

Парусный флот давно исчез, и сейчас, пройдя путь развития от самых простых тепловых машин до атомных электростанций, мы снова ищем способы оптимального использования ветра как экологически чистого источника энергии.

В наше время ветроустановки находят все более широкое применение для выработки электроэнергии. Однако известно, что нерегулярность и колебания мощности ветрового потока вынуждают усложнять электротехническую часть ветроустановок системами автоматического регулирования и дублирования электроснабжения объектов.

Проблема нестабильности ветровой энергии может быть решена и другими способами. Ветроустановки можно применять не только для выработки электроэнергии, но и для непосредственного привода различных агрегатов. Есть целый ряд производств, где не имеет значения ритмичность производства и срок годности продукции мало зависит от длительности ее хранения. К ним можно отнести выпуск сырья и полуфабрикатов для изготовления строительных материалов: дробления и измельчения щебня, известняка, глины для производства кирпича гипса и алебаstra, мергеля и клинкера в производстве цемента и др.

Дробление и помол любого продукта очень энергоемкие процессы. Например, установка начинает помол продукта только при достижении необходимой мощности ветрового потока для привода механической мельницы. Для обеспечения работы автоматики и привода вспомогательных механизмов (подачи сырья в технологическую машину, транспортировки готового продукта или полуфабриката на склад и т.п.) возможно потребление незначительной электрической мощности от существующих электросетей. На рисунке 4.5 приведена схема такой ветроустановки.



Рисунок 4.5 - Схема автоматической ВЭУ для производства полуфабрикатов строительных материалов

Оценим производительность ветроустановки для измельчения сырья:

- среднее количество часов со скоростью ветра не менее 6-8 м/с – 3000 часов в год;

- средняя эффективная мощность ветроустановки при скорости ветра 6-8 м/с -200 кВт;

- вид измельчаемого сырья, подвергаемого дроблению или помолу, - известняк, щебень, вторичный бетон, гипс, клинкер, отходы кирпично-черепичного производства и т.п.;

- подача сырья для помола и транспортировки измельченного продукта в накопитель - полуавтоматическая;

- средние удельные затраты энергии при помолу сырья средней и высокой твердости составляют 28.6 кВт • ч/т.

При указанных условиях годовой объем производства продукции составит:

$$Q = (3000 \times 200)/28,6 = 21000 \text{ т/год.}$$

До широкого применения электроэнергии в сельскохозяйственном производстве, небольшие ветряные мельницы мощностью от 2 до 10 кВт были весьма распространены. До 1917 г. в России было около 250 тыс. крестьянских ветряных мельниц, перемалывавших ежегодно более 32 млн. т зерна, что вполне сопоставимо с объемами производства современной мукомольной промышленности России.

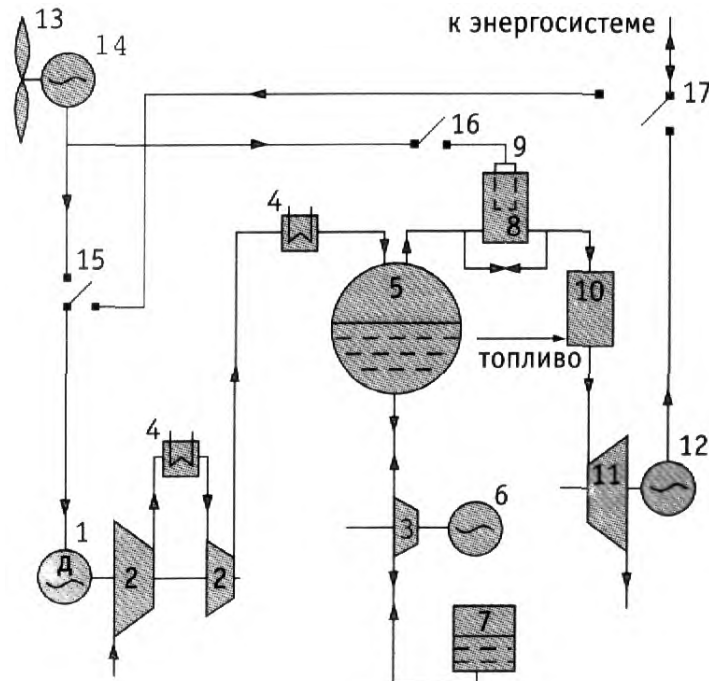
Использование энергии ветра целесообразно, когда мощность ВЭУ составляет не менее 100-200 кВт, а годовое число часов со скоростью ветра 6-8 м/с в данной местности - не менее 2000-3000 ч. Для ветроустановок подобного типа в настоящее время появилась возможность использования списанных несущих винтов средних и тяжелых вертолетов. По действующим в авиации правилам, после наработки определенного количества часов в воздухе вертолетный винт, несмотря на его годное состояние, с летательного аппарата снимается.

Несущий винт вертолета МИ-8 имеет диаметр 22 м и при скорости ветра 8 м/с на ветроустановке может развить мощность 150 кВт, а винт вертолета МИ-6 диаметром 35 м применим для ветроустановки мощностью 300 кВт. Ветроустановки для привода дробильно-помольного оборудования можно использовать без цикла "электрогенератор-электродвигатель", т.е. механической передачей мощности от винта к редуктору мельницы или дробилки. Это снизит капитальные затраты на оборудование и уменьшит расходы на эксплуатацию установки.

4.5 ВЭУ совместно с ВАГТУ

Из-за непостоянства ветрового потока ВЭС зачастую используются совместно с аккумуляторами энергии - воздухоаккумулирующие газотурбинные установки (ВАГТУ, рисунок 4.6) и гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС, рисунок 4.7)

Применение ВАГТУ обусловлено особенностями местности, при этом их технико-экономические показатели достаточно высоки. Например, в США, в штате Огайо планируется построить электростанцию мощностью 2700 МВт, на которой электроэнергия, вырабатываемая ВЭС, будет использоваться для закачки воздуха под давлением 11 МПа в подземное хранилище емкостью 9,6 млн. м³. Во время пикового энергопотребления воздух с давлением 6,1 МПа, нагретый выхлопными газами газовой турбины, будет поступать на воздушную турбину. Стоимость проекта 750-1500 млн. долл.



1 - электродвигатель; 2 - компрессор; 3 - насос-гидротурбина; 4 - воздухоохладитель; 5 - аккумулятор сжатого воздуха; 6 - двигатель-генератор; 7 - аккумулятор воды; 8 - аккумулятор тепла; 9 - ТЭН; 10 - камера сгорания; 11 - турбина; 12 - генератор; 13 - ветроустановка; 14 - генератор ветроустановки; 15, 16 и 17- электрические переключатели

Рисунок 4.6 - Схема ВАГТУ

Электродвигатель компрессора ВАГТУ работает в определенном диапазоне мощности, напряжения и частоты тока. Поэтому для стабилизации частоты тока и уровня напряжения генератора ВЭУ необходимо применять механическое управление лопастями ветроколеса, что дорого и ведет к большим потерям ветрового потока. Гораздо эффективнее регулировать эти

параметры, изменяя электрическую нагрузку генератора ВЭУ, так как в этом случае лопасти ветроколеса работают в оптимальном режиме, а электронное регулирование дешевле по сравнению с механическим.

Поскольку значительная часть электроэнергии ВЭС (в некоторых режимах - до 70%) гасится на балластном сопротивлении, в качестве последнего можно использовать тепловой электронагреватель (ТЭН), встроенный в аккумулятор тепла, который устанавливается во входном тракте турбины ВАГТУ. Тогда сбросная электроэнергия, запасенная в виде тепла, будет использоваться для подогрева воздуха, поступающего в турбину, что снизит расход топлива.

ТЭН также будет потреблять всю электроэнергию, вырабатываемую ВЭС, при недостаточной силе ветра, когда мощности ВЭС не хватает даже для привода компрессора ВАГТУ, в период дозарядки аккумулятора сжатого воздуха с целью исключения электрических помех, генерируемых ВЭС в электроэнергетическую систему, и в случае, если аккумулятор сжатого воздуха заряжен полностью.

Аккумулятор сжатого воздуха обычно выполняется в подземных полостях. Но по условиям местности вблизи ВЭС это не всегда возможно. В таком случае предусматривается использование искусственно создаваемого аккумулятора постоянного объема (газгольдера). Однако он имеет большой объем и, соответственно, высокую материалоемкость. С целью снижения материалоемкости ВАГТУ можно осуществлять гидрокомпенсацию объема воздуха в аккумуляторе: при срабатывании воздуха из него путем нагнетания воды насосом, а при его заполнении воздухом - срабатыванием вытесняемой воды в гидротурбине.

В состав ВАГТУ входят: электродвигатель 1, связанный с компрессором воздуха 2, насос-турбина 3, охладители 4, аккумулятор сжатого воздуха 5, двигатель-генератор 6, бак-аккумулятор воды 7, аккумулятор тепла 8 со встроенным ТЭНом 9, камера сгорания топлива 10, газовая турбина 11 и генератор 12, а также ВЭУ 13 с генератором 14, электрические переключатели 15, 16 и 17 (рисунок 4.6).

При достаточной силе ветра генератор ВЭУ подключен к электродвигателю 1 с помощью переключателя 15. ТЭН 9 аккумулятора тепла 8 используется в это время как балластная нагрузка при регулировании уровня напряжения и, в случае необходимости, частоты тока генератора 14 путем изменения его нагрузки. Электродвигатель 1 приводит во вращение компрессор 2, нагнетающий воздух в аккумулятор 5, при этом воздух после ступеней компрессора охлаждается в устройствах 4.

При больших электрических нагрузках воздух из аккумулятора 5 подается через аккумулятор тепла 8, где подогревается, и через камеру сгорания 10 поступает к турбине 11. Сжиганием соответствующего количества топлива в камере 10 поддерживается постоянная температура газа на входе в турбину 11, которая вращает генератор 12, передающий через

выключатель 17 электроэнергию в энергосистему.

В период провала электрических нагрузок, если аккумулятор 5 заряжен не полностью, электродвигатель 1 подключается с помощью переключателей 15 и 17 к энергосистеме для дозарядки аккумулятора 5, чтобы ВАГТУ была способна покрыть расчетную нагрузку в течение дня. Одновременно замыкается переключатель 16, так что вся электроэнергия, вырабатываемая ветроагрегатом, подается на нагреватель 9 аккумулятора 8.

Во всех режимах работы ВАГТУ в аккумуляторе сжатого воздуха 5 поддерживается постоянное давление с помощью насоса-гидротурбины 3. При работе газовой турбины 11 насос 3 потребляет часть ее электрической мощности на нагнетание необходимого количества воды в аккумулятор 5, а при работе компрессора 1 насос-гидротурбина 3 срабатывает соответствующий объем воды из аккумулятора 5 и передает свою электрическую мощность компрессору 1. Постоянство перепада давления на компрессоре 1, насосе-турбине 3 и турбине 11 обеспечивает выработку качественной электроэнергии.

Данная ВАГТУ может работать в комплексе с ВЭС (а также малыми и бесплотинными ГЭС (рисунок 4.7), приливными и волновыми станциями), так как обеспечивает возможность размещения ВАГТУ вблизи ВЭС независимо от условий местности (в отличие от ГАЭС).

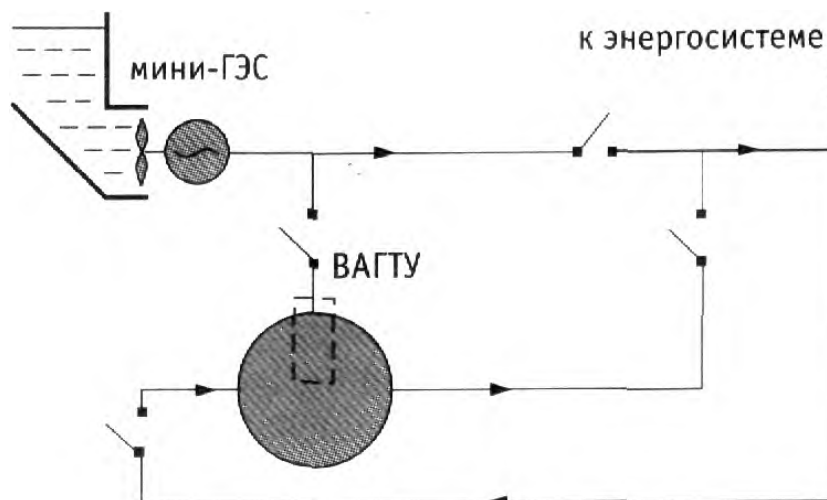


Рисунок 4.7- Использование ВАГТУ в комплексе с мини-ГЭС

Регулирование напряжения и частоты тока генераторов ВЭС производится наиболее эффективным и дешевым способом - изменением их нагрузки; использование всей электроэнергии, вырабатываемой ВЭС, для производства высококачественной электроэнергии; постоянное давление газа на входе в турбину, хотя при этом и приходится использовать часть мощности турбины на нагнетание воды в аккумулятор сжатого воздуха. Мощность насоса составляет около 10% от мощности газовой турбины. Это

сравнимо с потерями мощности (6-10%) при дросселировании воздуха на ВАГТУ с аккумулятором сжатого воздуха постоянного объема. При дросселировании также на 5% снижается экономичность, чего нет в данной установке: основная часть (~60-70%) затраченной на привод насоса энергии не рассеивается, а возвращается в цикл установки - идет на привод компрессора при зарядке аккумулятора сжатого воздуха. Кроме того, требуемый объем последнего уменьшается в 3-4 раза. При этом обеспечиваются высокие технико-экономические показатели установки (общий КПД, удельный расход топлива, стоимость) в зависимости от выбранных параметров оборудования (соотношения мощностей ВЭС, компрессора, газовой турбины и ТЭНа, емкости аккумуляторов сжатого воздуха и тепла, параметров газа на входе в газовую турбину), что дает возможность оптимизации установки. При выбранных параметрах установки удельный объем аккумулятора сжатого воздуха составляет 54 м³ на 1 МВт·ч отпущенной электроэнергии, а удельный расход топлива, сжигаемого в камерах сгорания - 0,2 т у.т./МВт · ч. Значение последнего показателя с учетом полностью заряженного аккумулятора тепла уменьшается в 4 раза, если топливо будет сжигаться только в дополнительной камере сгорания.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Ресурсы ветровой энергетики.
2. Классификация и устройства ветродвигателей.
3. Режимы работы ветроколеса.
4. Ветроэнергетические установки (ВЭУ).
5. Производство электрической и механической энергии.
6. Ветроэнергоустановки совместно с ВАГТУ.
7. В чем заключаются преимущества и недостатки ветровой энергетики?

5 Энергия морских волн

5.1 Энергия морских течений и приливов

Станции, использующие энергию движения океанов и морей, подразделяются на три типа:

- использующие разность высот между приливом и отливом;
- преобразующие энергию морских течений;
- использующие энергию волнового колебания поверхности водоема.

Энергия приливов и отливов. Явления приливов и отливов связаны с положением Луны на небосклоне. Солнце также влияет на приливы и отливы, однако эффект его влияния примерно в 2,6 раза меньше. В течение лунных суток, т. е. за 24 ч 50 мин, дважды повышение и понижение уровня воды в морях и океанах. Амплитуда колебаний уровня воды в различных точках земного шара зависит от широты и характера берега континента и может составлять от 0,5 до 21 м. В закрытых морях (Каспийском, Черном) приливы и отливы практически незаметны. Максимального уровня приливная волна достигает в тех случаях, когда Земля, Луна и Солнце находятся на одной прямой (рисунок 5.1).

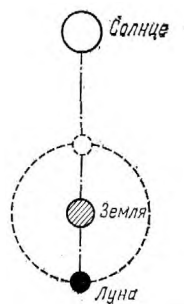


Рисунок 5.1 - Положения Солнца, Луны и Земли, влияющие на приливы

На Землю в направлении LB действует сила притяжения Луны, которая создает ускорение Земли a_3 , направленное по прямой LB (рисунок 5.2). Ускорение воды, находящейся в зоне A , больше ускорения Земли, а ускорение воды, находящейся в зоне B , меньше ускорения Земли. При вращении Земли выпуклости воды перемещаются относительно поверхности, создавая трение, называемое приливным и приводящее к замедлению вращения Земли.

Энергия приливов имеет постоянный характер и выгодно отличается от энергии (стока) рек, зависящей от атмосферных факторов, имеющих вероятностный характер.

Сотни лет назад на побережье Европы и Северной Америки соорудились приливные мельницы, некоторые из них и сейчас работают в Англии и во Франции. Водяные колеса таких мельниц приводились во вращение течением воды.

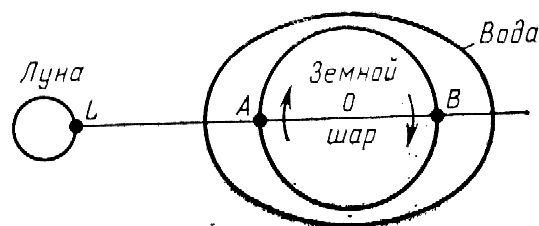


Рисунок 5.2 - Характер распределения воды по поверхности Земли под действием Луны

Волновая энергия имеет преимущества среди других НВИЭ, так как представляет собой ветровую энергию (которая, является трансформированной энергией солнечного излучения): среднегодовая мощность волнения достигает 40-100 кВт на 1 м волнового фронта, превосходя в десятки раз ветровую энергию (на единицу площади поверхности преобразователя). В мире возрастает интерес к устройствам, генерирующим энергию волн, в этой области выданы десятки тысяч патентов (первый - в 1898 г).

Ввиду огромного энергетического потенциала волнения мирового океана (10^{13} - 10^{15} Вт) ВлЭС могут применяться в системах энергоснабжения побережий, островов и плавучих населенных пунктов, фабрики по производству водорода (для использования в топливных элементах, в том числе энергоустановок судов), кислорода, аммиака, опреснения морской воды.

В настоящее время используются тысячи небольших преобразователей энергии волн для подзарядки аккумуляторов морских буев. Однако по стоимости получаемой энергии, КПД преобразующих устройств и масштабам развития волновая энергетика уступает ветровой. Но волновая энергия превосходит ветровую по перспективности для освоения, за счет более высоких стабильности и плотности потока энергии.

5.2 Приливные электростанции (ПЭС)

Морские приливы и отливы — следствие воздействия на Землю лунного и солнечного притяжения, а также воздействия центробежных сил, образующихся в результате вращения систем Земля — Луна и Земля — Солнце.

Во время приливов и отливов скорость водных масс в прибрежных проливах и между островами может достигать 5 м/с. Таких мест на земном шаре очень мало — менее 30, поэтому ПЭС для энергетики малоперспективны.

Поднятая на максимальную высоту во время прилива вода отделяется от моря дамбой или плотиной в бассейне площадью А. Места с наибольшими высотами приливов обладают большими потенциалами приливной энергии (рисунок 5.3).

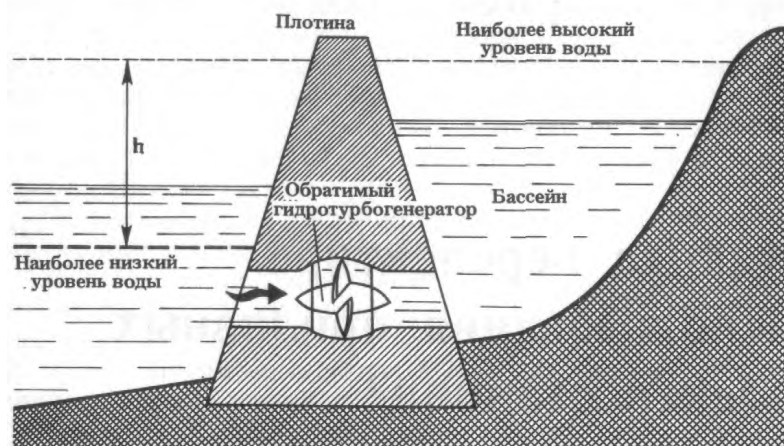


Рисунок 5.3 - Упрощенная схема ПЭС

ПЭС – предназначена для преобразования перепада высоты водяного столба во время морского прилива или преобразования энергии приливного течения. Для строительства станции должно быть выбрано место с максимальной разностью уровней воды во время прилива и отлива - h . Плотина образует необходимый бассейн, в ее теле устанавливается «обратимый» гидротурбогенератор, т. е. действующий при протекании через него воды в обе стороны: справа налево и слева направо. ПЭС может работать как при опустошении бассейна, так и при его наполнении. За счет использования реверсивных гидроагрегатов ПЭС могут работать и в насосном режиме для повышения уровня в бассейне - перерабатывать до 90% потенциальной энергии прилива.

Бассейн ПЭС (площадью A) наполняется при высокой воде и опустошается через турбины при малой воде. Поступившая в бассейн вода имеет массу ρAh , сосредоточенную в центре тяжести на высоте $h/2$ от уровня малой воды, при условии, что вся вода вытекает из бассейна при малой воде. Потенциально максимальную энергию от прилива можно получить, если вся вода падает с высоты $h/2$.

Если энергия преобразуется в течение продолжительности периода прилива, то средняя потенциальная мощность за приливный период:

$$E = \frac{\rho \cdot A \cdot h^2 g}{2 \cdot \tau},$$

где A – площадь бассейна.

На практике в системе, использующей сбрасывание запаса воды из заполняемого в прилив бассейна, несмотря на достаточно высокую эффективность преобразования получить максимальную мощность нельзя по следующим причинам.

Генерирование электроэнергии не может быть обеспечено вплоть до условий малой воды, таким образом, часть потенциальной энергии прилива не может быть преобразована.

Турбины ПЭС должны работать при низком напоре и при больших скоростях потоков - условия необычные для практической гидроэнергетики.

Невозможно равномерно снабжать потребителей электроэнергией из-за изменения уровня воды в бассейне. ТЭП приливных электростанций невысокие. Приливная электростанция, построенная во Франции на берегу Ла-Манша, мощностью 240 тыс. кВт имела стоимость строительства значительно выше, чем обычной гидроэлектростанции такой же мощности, а число часов работы в год на номинальной мощности гораздо ниже.

Энергия приливных течений.

Вблизи побережья и между островами приливы - достаточно сильные течения, пригодные для преобразования энергии. Устройства для преобразования энергии приливных течений будут практически аналогичны устройствам, приводимым в действие течениями рек (рисунок 5.4).

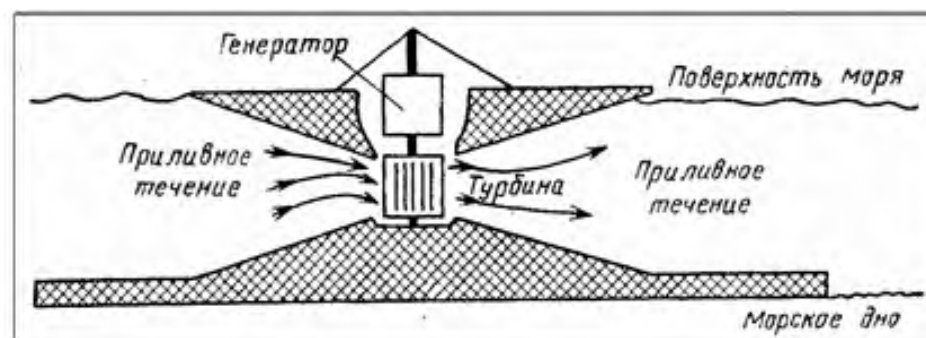


Рисунок 5.4 - Схема электростанции на приливном течении

Плотность воды во много раз выше плотности воздуха, а скорости течения воды сравнительно низки. Плотность мощности потока воды, Вт/м², равна:

$$q = \rho \cdot \frac{V^3}{2}.$$

В приливном или речном течении только часть полной энергии потока может быть преобразована в полезную. Как и для ветра, это значение η не может превышать 60%. На практике η можно довести максимум до 40%. Скорости приливных течений изменяются во времени:

$$V = V_0 \cdot \sin \frac{2}{\pi \cdot t} - \tau,$$

где τ - период естественного прилива, 12 ч 25 мин для полусуточного; V_0 -максимальная скорость течения, м/с.

Таким образом, электрическая мощность, снимаемая с 1 м² площади поперечного сечения потока (с учетом 40%-ной эффективности преобразования энергии потока в электрическую), в среднем равняется:

$$q \approx 0,1 \cdot \rho \cdot V^3.$$

При максимальной скорости течения около 5 м/с, образующихся в проливах между островами удельная электрическая мощность составит $q \approx 14$ кВт/м². Перекрыв площадь 1000 м², можно получить полную среднюю мощность электростанции до 14 МВт.

Устройства для преобразования энергии приливных течений. Кап. затраты в расчете на 1 кВт мощности высоки, поэтому их строительство целесообразно лишь в отдаленных районах с высокими скоростями приливных течений, где любые альтернативные источники энергии еще более дороги.

5.3 Волновые электростанции

В преобразователях волновой энергии выделяют два контура:

- первый воспринимает воздействие волн и превращает их энергию в потенциальную или кинетическую энергию рабочего тела (жидкого или газообразного);

- во втором контуре происходит преобразование энергии рабочего тела в электроэнергию (обычно турбиной).

ВлЭС отличаются от традиционных конструкцией первого контура (рисунок 5.5). Существуют две группы ВлЭС:

- установки, в которых волны воздействуют непосредственно на рабочее тело ВлЭС;

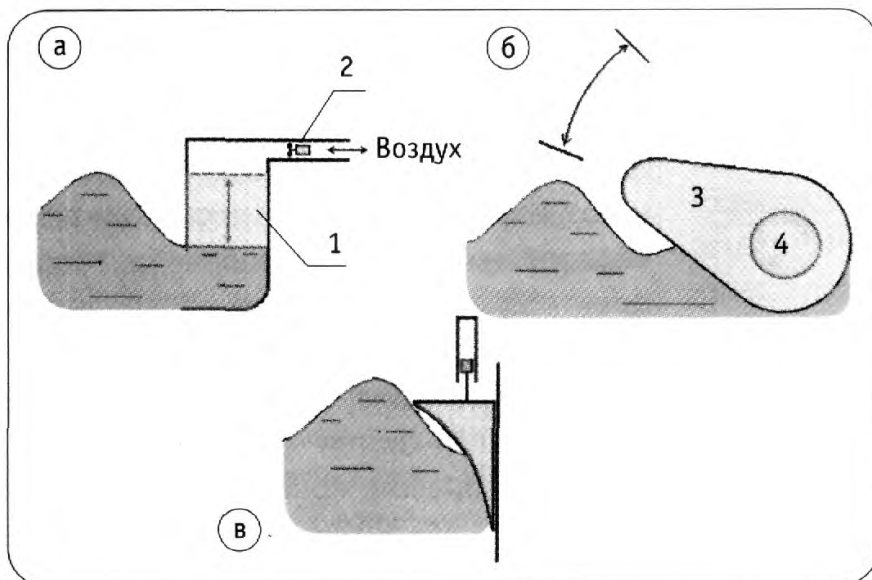
- установки, где воздействие волн передается через промежуточное звено, которое, используя свойство рычага, сжимает рабочее тело ВлЭС.

Первый контур перспективных ВлЭС первого типа ("осциллирующий водный столб" (ОВС), "Каймей", "выпрямитель" Рассела) прост по конструкции и недорог, но имеет невысокий КПД, переменное и низкое давление рабочего тела на выходе (избыточное давление не может быть выше высоты столба воды в гребне), поэтому невозможно объединить несколько устройств первого контура для перехода на один преобразователь второго контура, что ведет к большим энергетическим потерям в нем и низкому качеству генерируемой электроэнергии (рисунок 5.5).

ВлЭС - станции типа ОВС в настоящее время являются единственно применяемыми на практике. Однако эта конструкция не соответствует почти половине требований, предъявляемых к ВлЭС.

Цена вырабатываемой энергии ВлЭС типа ОВС высокая, КПД 0,17-0,23 из-за того, что турбина работает на низкопотенциальном и переменном по величине и направлению потоке воздуха, тогда как КПД собственно установки $\eta_v = 0,6-0,7$. Получается, что 2/3 установки работают вхолостую. Следовательно, необходимо кардинальное совершенствование принципа ОВС.

ВлЭС второго типа ("ныряющая утка" Солтера, "контурный плот" Коккерела, "несимметричный клин" Паркса, гидропарусная ВлЭС - это громоздкие и сложные сооружения, имеющие высокий КПД преобразования энергии волн и сравнительно высокое давление рабочего тела на выходе, что позволяет объединять несколько устройств первого контура для перехода на один вторичный преобразователь (рисунок 5.5б). В результате снижаются энергетические потери во втором контуре и его удельная стоимость. Поэтому генерируемая электроэнергия получается дорогой из-за наличия в первом контуре сложного промежуточного звена, которое, включает узлы трения в шарнирах и гидравлических системах сжатия, коррозии снижает надежность установки.



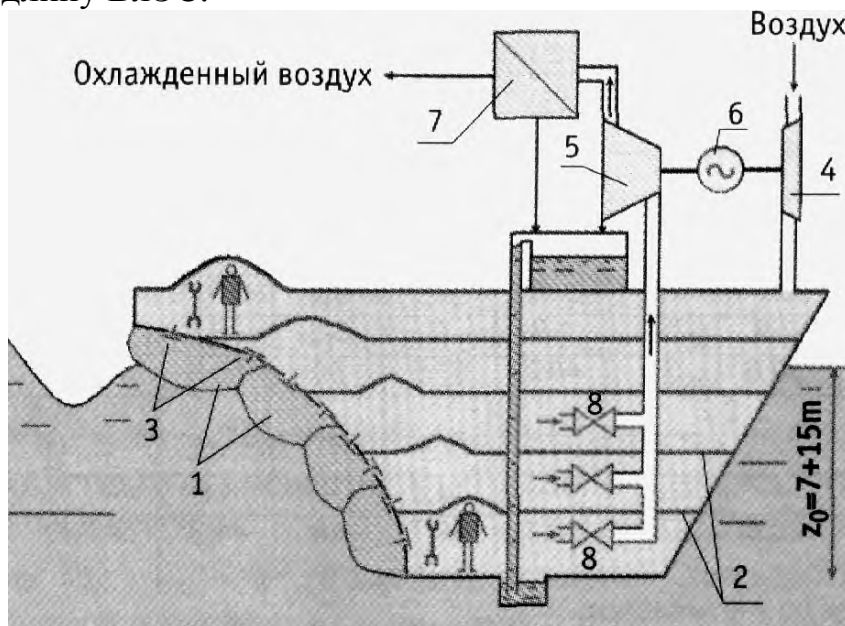
а - ОВС; б - "ныряющая утка"; в - "несимметричный клин"
 1 - волноприемная камера; 2 – турбогенератор; 3- "клюв"; 4 - вал
 Рисунок 5.5 - Схемы ВлЭС

"Клювы" имеют собственные частоты колебаний, что снижает эффективность установки на некоторых режимах волнения.

Совмещение достоинств ОВС и "утки" достигается в ВлЭС, в волноприемных камерах (несимметричный клин), объединенных в систему многоступенчатого сжатия воздуха (рисунок 5.6).

Установка состоит из эластичных волноприемных камер 1 и ресиверов постоянного объема 2, последовательно сообщенные между собой через обратные клапаны 3, а также якорное устройство (не показано),

ориентирующее установку камерами 1 к волнам. Корпус установки - стальной или железобетонный. Рабочие камеры в плане имеют форму квадрата либо вытянутого в горизонтали прямоугольника, ресиверы вытянуты во всю длину ВлЭС.



1 - волноприемные камеры; 2 - ресиверы; 3 - обратные клапаны; 4 - компрессор; 5 - турбина; 6 - генератор; 7- сепаратор влаги; 8 - запорные клапаны.

Рисунок 5.6 – Схема ВлЭС

Компрессор 4 создает в первом ресивере давление выше атмосферного. Колебание волн, воздействующих на камеры 1, вызывает в них колебания давления воздуха. Под влиянием перепадов давления обратные клапаны открываются, пропуская порции воздуха, либо запираются, чем обеспечивается однонаправленное движение рабочего тела. Постепенно в каждом ресивере устанавливается давление, при котором воздух может под воздействием волн перетекать из предыдущей камеры в ресивер и из него в следующую камеру. Каждый ресивер периодически принимает воздух из предыдущей камеры и сохраняет его, выдавая по мере возможности в следующую камеру. Таким образом, воздух из атмосферы постепенно закачивается все глубже под поверхность воды, достигая ресивера, связанного с турбиной 5.

Турбина, работая на выхлоп в атмосферу, генератором 6 преобразует энергию сжатого воздуха в электроэнергию. При работе установки также будет образовываться пресная вода за счет конденсации влаги из воздуха.

Установка имеет следующие преимущества.

- 1 Неподверженность влиянию приливов.
- 2 Совместное использование кинетической и потенциальной энергии волны по всему слою их переноса благодаря заглубленным

мягкооболочечным камерам, образующим наклонную лицевую поверхность. По эффективности такая ВлЭС сравнима с "уткой", имеющая, наклонную воспринимающую поверхность (и "несимметричный клин", КПД которого достигает 0,9) и глубину осадки 10-20 м.

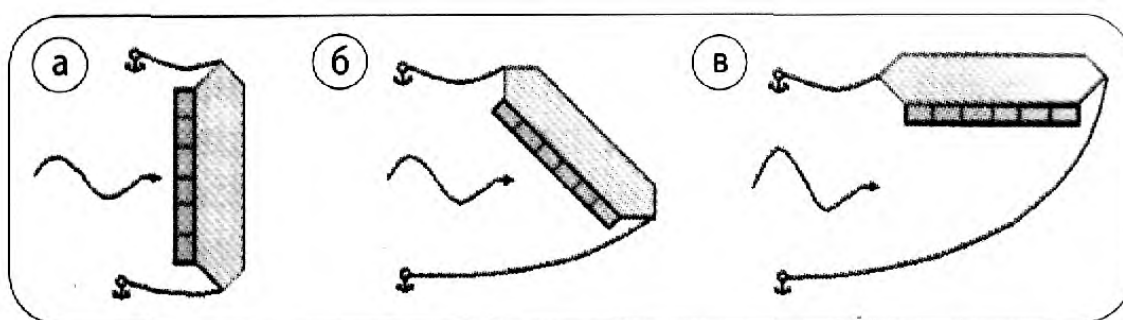
3 Возможность отбора энергии, в том числе нерегулярных волн, т. к. мягкооболочечные волноприемные камеры (следовательно, не имеющие собственной частоты колебаний) работают независимо друг от друга, причем ресиверы сглаживают неравномерность поступления воздуха.

4 Ресиверы обеспечивают концентрация волновой энергии с большой площади на вторичном преобразователе, в результате низкие потери энергии в нем и высокое качество генерируемой электроэнергии. Система, объединяющая многие ряды сжатия, обеспечивает равномерную подачу воздуха на турбогенератор под практически постоянным и относительно высоким давлением.

5 Способность изменять режим работы в зависимости от интенсивности волнения: путем управления глубиной осадки за счет изменения количества воды в балластных емкостях (не показаны) и переключения турбины на разные ресиверы с помощью запорных клапанов 8;

6 "Живучесть" - при штормовом волнении: возможен разворот вдоль луча распространения волны ВлЭС, выполненной наподобие морского судна с расположенными вдоль борта рядами камер. ВлЭС может работать и в шторм. При этом используется гидростатическое давление волн (рисунок 5.7).

7 Ремонтопригодность: ремонт (замена) наиболее нагруженных элементов, клапанов может производиться во время работы ВлЭС. Если какая-либо камера будет прорвана, то механик может заблокировать оба клапана, и ВлЭС будет работать без этой камеры.



а - номинальный; б- промежуточный; в- штормовой

Рисунок 5.7 - Режимы работы ВлЭС

8 Надежность и экологичность: в первом контуре ВлЭС нет узлов трения, которые могли бы снизить надежность и срок службы установки (по этой же причине отсутствует система смазки, которая могла бы быть источником загрязнения воды), используется экологически нейтральное рабочее тело -

воздух.

9 Возможно строительство таких ВлЭС на судостроительных и судоремонтных заводах с дальнейшей отбуксировкой их к месту работы. Верфи могут выпускать ВлЭС типовыми сериями для районов со сходными показателями волновой интенсивности.

Параметры ВлЭС определяются предполагаемым местом работы. Уникальное свойство морских волн - экспоненциальное снижение потока энергии с глубиной позволяет находить оптимальную осадку ВлЭС.

5.4 Энергия океанских течений и морских волн

Океанские течения обладают огромным запасом энергии. Которая может быть использована не только в полосе прибоя, но и в открытом море, причем мощность установок будет весьма скромная.

Достоинство океанских течений по сравнению с ветровыми потоками - отсутствие резких изменений скорости (сравните с изменениями скорости при порывах ветра, ураганах и т.п.). При достаточном заглублении в толщу воды турбины океанских электростанций надежно защищены от волн и штормов.

Морские волны — порождение ветра. Среднегодовая мощность морских волн довольно велика и составляет в десятки киловатт на 1 м длины фронта волн.

Коэффициент преобразования энергии, зависящий от типа турбины, - 0,6 для свободно вращающегося рабочего колеса и 0,75 для того же колеса в насадке. Строительство крупных ветровых турбин (диаметром до 150 м) практически невозможно из-за ограничений, связанных с прочностью материалов и массовыми характеристиками подобных устройств.

Для турбин, работающих в морской среде, массовые ограничения менее существенны из-за действия на элементы конструкций силы Архимеда. Повышенная плотность воды позволяет, кроме того, уменьшить столь существенное для воздушных турбин воздействие вибраций, вызывающих усталостное разрушение материалов.

Для эффективного использования течений в энергетике необходимо, чтобы они обладали: высокими скоростями потоков, устойчивостью по скорости и направлению, удобным для строительства и обслуживания рельефом дна и побережья.

Современная техника позволяет извлекать энергию течений при скорости потока более 1 м/с. При этом снимаемая мощность от 1 м² поперечного сечения потока составляет около 1 кВт. Перспективно использование таких мощных течений как Гольфстрим, Куроисио и Флоридское, несущих соответственно 83, 55 и 30 млн м³.

Удаленность от побережья удорожает транспортировки энергии и обслуживания этих станций. Большие глубины требуют увеличения затрат на

сооружение и обслуживание якорных систем, малые - создают помехи судоходству. Именно географические факторы не позволяют строить океанские электростанции в открытом океане, где несут свои воды наиболее мощные течения. При средних и малых глубинах, особенно в местах образования приливных течений, важную роль играет рельеф дна.

Недостатки преобразователей энергии океанских течений - необходимость создавать и обслуживать гигантские конструкции в морской воде, подверженность этих конструкций обрастанию водорослями, моллюсками и коррозии, трудности передачи энергии по специальному кабелю.

Устройство, имеющее большие линейные размеры, расположено на плавающей платформе, обращено открытой стороной вниз с тем, чтобы его колебания под действием волн были небольшими (рисунок 5.8). Платформа разделена на открытые снизу секции, заполненные воздухом, играющие роль цилиндров поршневой воздушной машины. Волны, проходя под платформой, сжимают поочередно находящийся в секциях воздух - вода играет роль поршня. В секциях поочередно по мере прохождения под ними волн давление будет то больше, то меньше. Когда данная секция находится над гребнем волны, объем находящегося в ней воздуха уменьшается, воздух сжимается, давление его растет. Когда секция находится над межволновой впадиной, давление воздуха снижается.

Направление протекания воздуха из одной секции в другую будет периодически изменяться. При штиле устройство работать не будет. Поэтому на платформе устанавливают электрический аккумулятор. В Японии подобные устройства используются для питания электроэнергией плавающих биев.

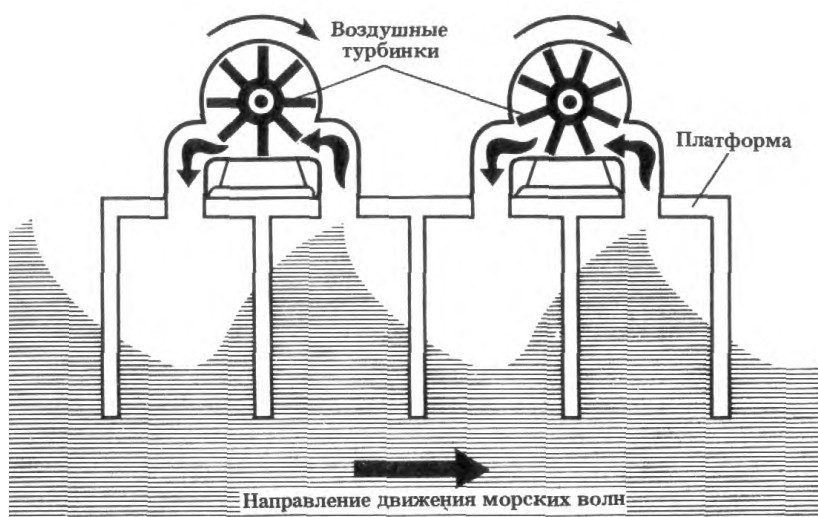


Рисунок 5.8 - Схема воздушного двигателя, использующего энергию морских волн

Преобразователи энергии течений можно разделить на две группы.

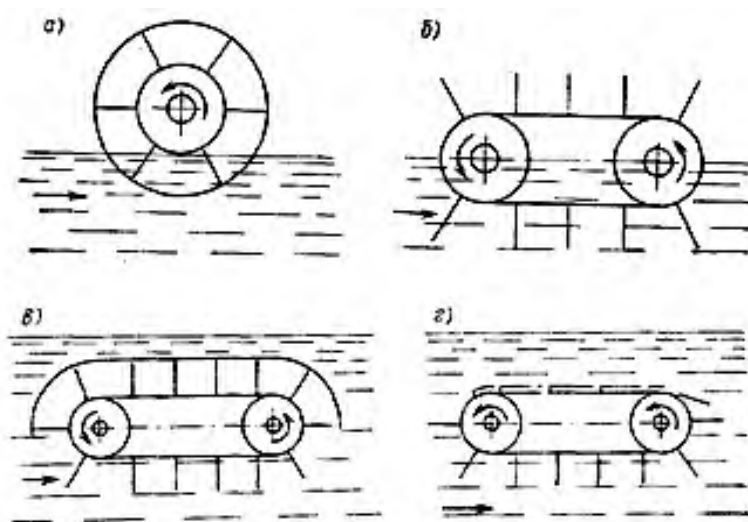
В первой используется принцип преобразования скоростного напора во вращательное движение турбин.

Ко второй малочисленной относят преобразователи, работающие на других физических принципах (объемные насосы, упругие преобразователи и др.).

Существуют две схемы преобразователей: - сооружения, закрепляемые на морском дне, и сооружения, плавающие в толще воды и заякоренные к дну. Родоначальником устройств первой группы почитают водяное колесо (рисунок 5.9а). Совершенствование водяного колеса происходило за счет оптимизации конструкции ферм, лопастей, механизмов передачи энергии, расположения по отношению к потоку, применения современных материалов.

Ленточное колесо (рисунок 5.9б) более компактно требует меньше материалов, менее подвержено воздействию атмосферы. Оно может быть установлено в потоке на понтонах так, чтобы нижние лопасти входили в воду, а верхние оставались «сухими». Эффективность преобразования скоростного напора повышается за счет того, что сразу несколько лопастей оказываются под воздействием потока. Однако, простое увеличение числа лопастей ленточного колеса не приведет к существенному увеличению момента на валах.

На базе ленточного колеса созданы устройства, полностью погружаемые в толщу потоков. Для таких устройств предлагается несколько способов уменьшения сопротивления движению ленты во время холостого хода. Это и сооружение воздушной камеры над колесом и применение механизмов складывания лопастей.



а - колесо-прототип; б – ленточное колесо на плавучем основании; в - ленточное колесо в толще потока; г - ленточное колесо со складными лопастями

Рисунок 5.9 - Эволюция водяного колеса

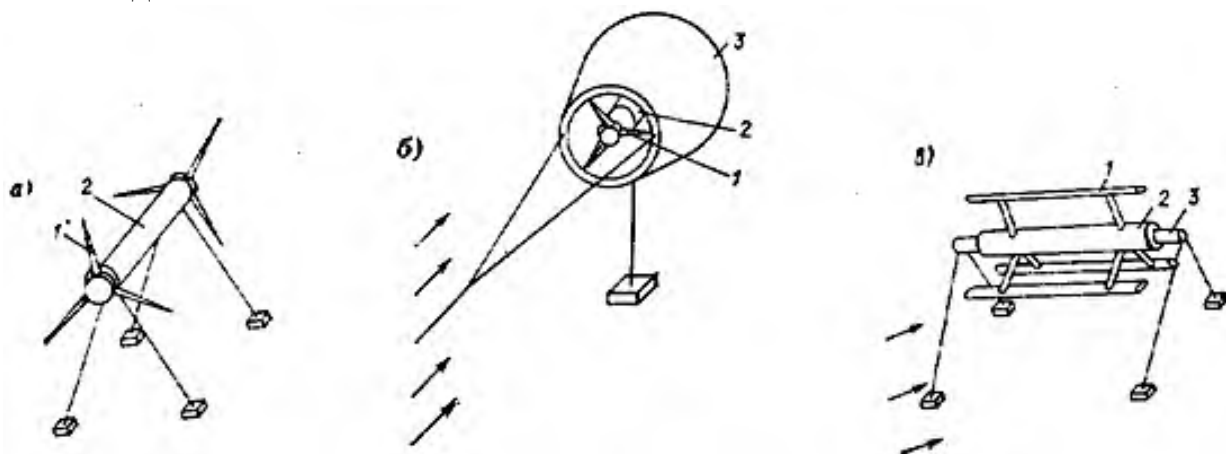
Наиболее эффективны агрегаты в виде свободного пропеллера в насадке, водяной аналог турбины Дарье, системы с управляемым крылом (рисунки 5.10

а-в). Во всех этих конструкциях, так же как и у ветровых турбин, главный преобразующий элемент - лопасти, обтекание которых потоком вращает турбину.

Лучшими показателями обладает турбина в виде рабочего колеса с горизонтальной осью в насадке. Такое рабочее колесо меньше возмущает поток, не так сильно, как свободное, вовлекая жидкость во вращательное движение. Насадок отделяет возмущенную часть потока от невозмущенной и обеспечивает некоторую концентрацию энергии. Форма насадка должна обеспечивать плавное безотрывное течение потока на подходе к турбине, сделать всю систему устойчивой на потоке, максимально снизить завихренность потока на выходе из нее.

Увеличения мощности такого агрегата можно достигнуть за счет удлинения крыла. По сравнению с ветровыми преобразователями океанские турбины имеют преимущество: критический размер крыла, при котором в нем достигается предел прочности материалов для такой турбины выше. Но есть ограничения и в воде: при слишком большой длине крыла на смену изгибающим моментам, создаваемым под воздействием силы тяжести, приходят моменты, создаваемые силой давления потока.

Другое ограничение диаметра рабочего колеса связано с технологическими трудностями при постройке и установке столь громоздких сооружений в океане. Диаметр турбин в насадках не превысит 200 м (по габаритам подобное сооружение аналогично крытому стадиону на 20 тысяч зрителей). Опыт строительства платформ для добычи нефти и газа водоизмещением в сотни тысяч тонн показывает, что такие объекты могут быть созданы

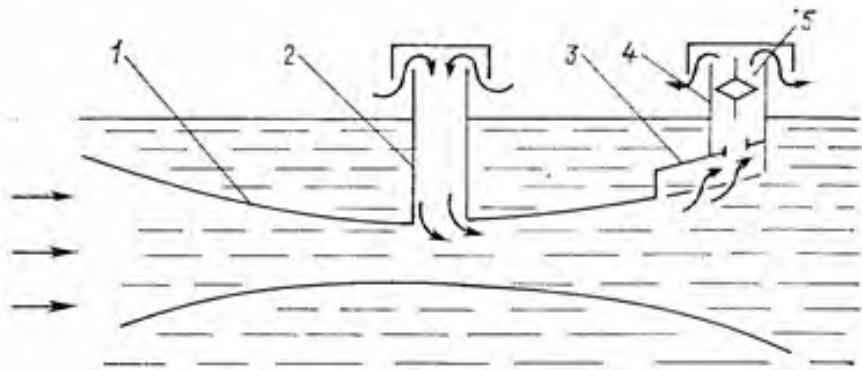


а - свободный ротор; б - ротор в насадке; в - ротор, устанавливаемый поперек потока

Рисунок 5.10 - Схемы перспективных турбин для ОГЭС

Разработаны преобразователи энергии потоков типа объемного насоса: в основе которого - неподвижно закрепленное в потоке сопло Вентури (рисунок 5.11). В пережатом сечении сопла из-за увеличения скорости жидкости

происходит падение статического давления, которое засасывает воздух с поверхности.



1 - профилированный корпус; 2 - шахта воздухозаборника; 3 - воздухоотборник;
4 - выхлопная шахта; 5 - воздушная турбина с электрогенератором

Рисунок - 5.11 Схема объемного насоса

В выходном сечении уже сжатый воздух вытесняется из потока в напорную камеру, откуда поступает в воздуховод турбины, соединенной с электрогенератором. Производительность такого насоса зависит от сечения насоса и может достигать 20% объемного расхода. Эжекционные свойства сильно зависят от способа ввода в поток подсосываемого газа.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. В чем заключается энергия приливов и отливов?
2. Дайте характеристику морских течений.
3. Опишите устройства приливные электростанции (ПЭС).
4. Волновые электростанции.
5. Как можно аккумулировать энергию морских волн?
6. Энергия океанских течений.
7. В чем заключаются преимущества и недостатки волновой энергетики?
8. В каких местах мирового океана целесообразно устанавливать волновые электростанции?
9. Каковы перспективы волновой энергетики?

6 Геотермальная энергетика

6.1 Основные понятия геотермальной энергии

Критерием теплового состояния земного шара является поверхностный градиент температуры. Величина, соответствующая углублению в метрах, при котором температура повышается на 1°С, называется геотермической ступенью.

В связи с изменением интенсивности солнечного излучения тепловой режим первых 1,5-40 м земной коры характеризуется суточными и годовыми колебаниями. Далее имеют место многолетние и вековые колебания температуры, которые с глубиной постепенно затухают. На любой глубине температура горных пород может быть определена по формуле:

$$T = t_B + \frac{(H + h)}{\sigma},$$

где t_B - средняя температура воздуха данной местности;
 H - глубина, для которой определяется температура;
 h - глубина слоя постоянных годовых температур;
 σ - геотермическая ступень.

Средняя величина геотермической ступени равна 33 м, и с углублением от зоны постоянной температуры на каждые 33 м температура повышается на 1°С.

Геотермические условия чрезвычайно разнообразны. Это связано с геологическим строением того или иного района Земли. Известны случаи, когда увеличение температуры на 1°С происходит при углублении на 2-3 м. Эти аномалии находятся в областях современного вулканизма. На глубине 400-600 м в некоторых районах, например Камчатки, температура достигает до 150-200°С и более.

Получены данные о глубоком промерзании верхней зоны земной коры до 1,5 тыс. м.

В земной коре существует подвижный и теплоемкий энергоноситель - вода, играющая важную роль в тепловом балансе верхних геосфер. Вода насыщает все породы осадочного чехла. Она содержится в породах гранитной и осадочной оболочек и в верхних частях мантии. Жидкая вода существует только до глубин 10-15 км, ниже при температуре около 700°С вода находится исключительно в газообразном состоянии.

На определенной глубине, зависящей от геотермических особенностей района, залегают пласты горных пород, содержащие термальные воды (гидротермы). В земной коре следует выделять еще одну зону, называемую «гидротермальной оболочкой». В районах вулканизма гидротермальная

оболочка иногда выходит на поверхность - горячие источники, кипящие грифоны и гейзеры, но и парогазовые струи с температурой 180-200° С и выше.

В соответствии с температурой теплоносителя все геотермальные источники подразделяют на эпитермальные, мезотермальные и гипотермальные.

Эпитермальные - источники горячей воды с температурой 50-90 °С, расположенные в верхних слоях осадочных пород, куда проникают почвенные воды.

Мезотермальные - источники с температурой воды 100-200 °С.

Гипотермальные источники температура в верхних слоях превышает 200 °С и практически не зависит от почвенных вод.

Вода, попадая в пласт породы разогревается, отбирая тепло у пород. Перегретая вода в виде паровых струй выделяется из расплава вместе с газами и легколетучими компонентами, устремляясь в верхние, более холодные горизонты. При температурах 425-375 °С пар может конденсироваться в жидкую воду, в ней растворяется большинство летучих компонентов - так появляется гидротермальный раствор «ювенильного» (первозданного вида) - воды, которых никогда прежде не участвовали в водообороте.

По пути движения они насыщаются различными солями, растворяют подземные газы, нагреваются, отбирая тепло у водопроницающих пород.

Инфильтрационные гидротермы способны изливаться на поверхность в виде горячих источников. Причем, чтобы вода оставалась термальной, подъем ее к поверхности должен происходить очень быстро - по широким трещинам разломов. При медленном подъеме гидротермы остывают, отдавая тепло вмещающим породам. Если пробурить скважину на глубину 3-4 тыс. м и обеспечить быстрый подъем воды, можно получить термальный раствор с температурой до 100 °С.

Вулканический тип термальных вод. Помимо гейзеров вулканический тип гидротерм включает грязевые грифоны и котлы, паровые струи и газовые фумаролы.

Все перечисленные типы термальных вод имеют разнообразный химический и газовый состав. Их минерализация колеблется от ультрапресных категорий (менее 0,1 г/л) до сверхкрепких рассолов (более 600 г/л). Гидротермы содержат в растворенном состоянии различные газы: активные (углекислота, сероводород, атомарный водород и малоактивные (азот, метан, водород).

В геотермальной энергетике могут быть использованы практически все виды термальных вод: перегретые воды - при добыче электроэнергии, пресные термальные воды - в коммунальном теплоснабжении, солоноватые воды - в медицинских целях, рассолы - как промышленное сырье.

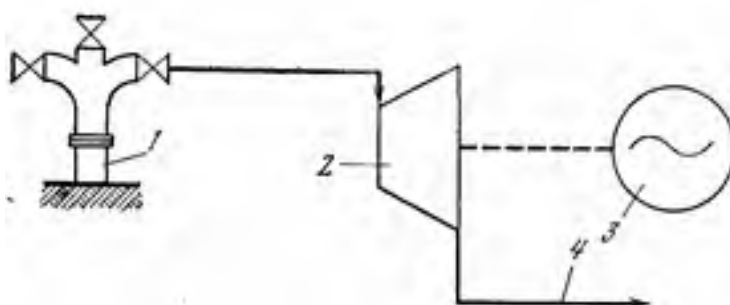
6.2 Геотермальные электростанции

Прямое использование геотермальной энергии

Геотермальные станции в вулканических районах на месторождениях пароводяной смеси, добываемой из глубины 0,5-3 км. Пароводяная смесь в среднем имеет степень сухости 0,2-0,5 и энтальпию 1500-2500 кДж/кг. В среднем одна скважина обеспечивает электрическую мощность 3-5 МВт, средняя стоимость бурения составляет 900 долларов за метр.

Геотермальная электростанция с использованием природного пара представляет собой паротурбинную установку с противодавлением.

Природный пар из скважины подается прямо в турбину с последующим выходом в атмосферу или в устройство, улавливающее ценные химические вещества. В турбину с противодавлением можно подавать вторичный пар или пар, получаемый из сепаратора. По этой схеме электростанция работает без конденсаторов, и отпадает необходимость в компрессоре для удаления из конденсаторов неконденсирующихся газов. Эта установка наиболее простая с минимальными кап. и эксплуатационными затратами. Она занимает небольшую площадь, почти не требует вспомогательного оборудования и ее легко приспособить как переносную ГеоТЭС (рисунок 6.1).



1 - скважина; 2 - турбина; 3 - генератор; 4 - выход в атмосферу или на химический завод

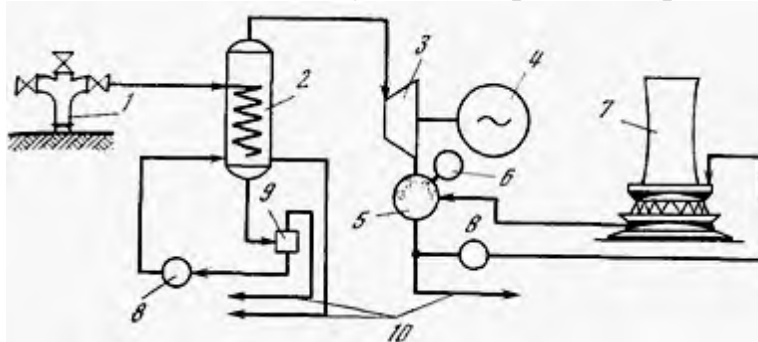
Рисунок 6.1 - Схема ГеоТЭС с использованием природного пара

Геотермальные электростанции с бинарным циклом.

ГеоТЭС с паропреобразователем - конденсационная турбина работающая на вторичном паре (рисунок 6.2). Для этих станций выгоднее, чтобы природный пар имел высокую температуру и большое содержание газов. Природный пар из скважины поступает в паропреобразователь и свое тепло отдает вторичному теплоносителю, после чего чистый вторичный пар направляется в конденсационную турбину. Отработанный пар идет в конденсатор. Неконденсирующиеся газы, содержащиеся в паре, отделяются в паропреобразователе и выбрасываются либо в атмосферу, либо идут на химические заводы. Недостатком этой схемы является снижение параметров пара перед турбиной. По сравнению с ГеоТЭС, непосредственно

использующими природный пар, удельный расход пара здесь больше на 30%, но эта схема позволяет полностью использовать все химические вещества, содержащиеся в природном паре.

Стоимость геотермальной электростанции с паропреобразователем немного больше стоимости электростанции с прямым использованием пара в конденсационной турбине. На станции Лардерелло-2 (Италия) установлено 7 турбин мощностью по 11 тыс. квт., удельный расход пара — 14 кг/квт.



1-скважина; 2-паропреобразователь; 3-турбина; 4-генератор; 5- конденсатор; 6-вакуумный насос; 7-градирня; 8-насос; 9-дегазатор; 10-сброс

Рисунок 6.2 - Схема ГеоТЭС паропреобразователем

ГеоТЭС с конденсационной турбиной работают на отсепарированном паре и строятся там, где из скважины получают пар с большим содержанием воды. Пар или пароводяная смесь из скважины направляется в специальное устройство, расположенное на скважине. Под давлением в сепараторе происходит разделение пароводяной смеси на пар и воду. Отсепарированный пар по трубопроводу направляется в турбину и т. д. Данная схема имеет свои преимущества, полученный в сепараторе пар практически не содержит газов, что облегчает работу турбин.

ГеоТЭС с конденсационными турбинами, работающие на отсепарированном паре построены в России (Паужетская на Камчатке), в Исландии (месторождение Хверагерди) и в других странах.

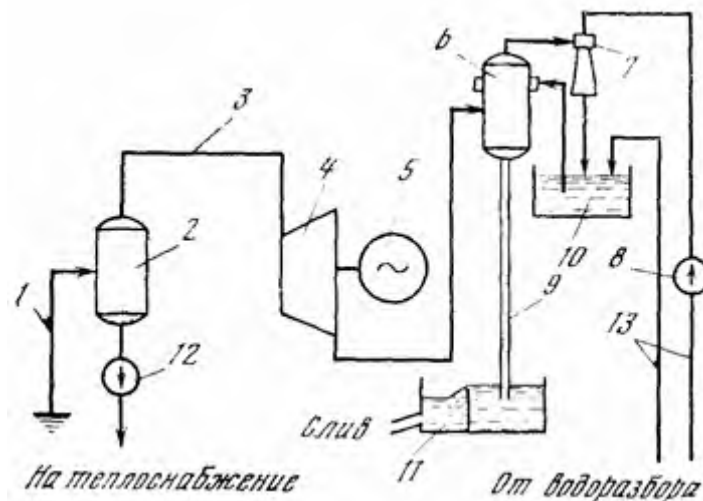
Паужетская ГеоТЭС.

На Камчатке имеются большие ресурсы геотермальных вод с высокой температурой. Там построили опытно-промышленную ГеоТЭС в долине реки Паужетки, расположенную на юге Камчатки, в 35 км от побережья Охотского моря (рисунок 6.3).

Были пробурены 21 скважина глубиной от 220 до 480 м. Каждая в среднем давала около 10 кг/сек пароводяной смеси с теплосодержанием 170 ккал/кг, с температурой 195 – 200 °С, давлением 2-4 атм.

По химическому составу Паужетские гидротермы принадлежат к типу хлоридных натриевых вод с минерализацией 1,0-3,4 г/л; рН от 8,0 до 8,2; с повышенным количеством кремниевой (250 мг/л) и борной кислоты (150 мг/л). Пар насыщен также газами: углекислым - 500 мг/кг, сероводородом - 25

мг/кг, аммиаком - до 15 мг/кг и др.



1-скважина; 2-сепаратор; 3-паропровод; 4-турбина; 5-генератор;
6-смешивающий конденсатор; 7-водоструйный эжектор; 8- эжекторный насос;
9-барометрическая труба; 10-бак охлаждающей воды; 11-сливной колодец;
12-насос горячей воды; 13-трубопровод холодной воды

Рисунок 6.3 - Схема Паужетской опытно-промышленной ГеоТЭС

Пароводяная смесь из скважины поступает в сепаратор (емкостью 10 м³, с расходом 600-800 м³/час), расположенный на скважине. При давлении 1,5 атм происходит разделение пара и воды. Отсепарированный пар по паропроводу поступает к турбинам. Горячая вода с температурой 100-110 °С сбрасывается в реку, и только небольшая часть ее идет по трубам для отопления и горячего водоснабжения. На станции установлены смешивающие конденсаторы. Поскольку конденсат отработавшего в турбинах пара здесь бесполезен, такие конденсаторы компактнее и требуют меньше охлаждающей воды. Для удаления газов из конденсаторов установлены водоструйные эжекторы с расходом воды 800-900 м³/час.

На станции установлены две турбины по 2,5 тыс. кВт каждая.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что является критерием теплового состояния земного шара?
2. Как подразделяются геотермальные источники?
3. Как изменяется минерализация термальных вод?
4. Какие существуют типы геотермальных электростанций?
5. Почему геотермальные электростанции можно строить только в нескольких местах планеты?
6. В чем преимущества и недостатки ГеоТЭС?

7 Биоэнергетика

Человечество имеет две глобальные проблемы: энергетика и экология.

Первую проблему создают крупные энергетические мощности - это выбросы, тепловые и углекислого газа ("парниковый эффект"), кислые дожди и горы шлака, огромные искусственные моря и изменение микроклимата, нарушение режима мощных водных артерий, опасность радиационного заражения.

Вторую проблему порождают массовые органические отходы - продукт жизнедеятельности человека - для утилизации которых необходимы огромные затраты энергии и кап. вложения.

Органические отходы сельскохозяйственного производства и городов, составляющие основную массу отходов в мире, входят в состав энергетических биомасс и технологий, а их переработка позволит получить значительное количество топлива и энергии.

Экологически опасные отходы: птицефабрик, свинокомплексов, животноводческих комплексов крупного и городов.

Общий выход органических отходов растительного и животного происхождения в России составляет 620 млн. т/год (с влажностью 75%): в сельском хозяйстве - до 200 млн.т (промышленное животноводство, свиноводство, птицеводство и растениеводство); муниципальных отходов - до 50-60 млн. т/год. Энергетический запас этого количества отходов - 870 млрд. кВт · ч/год, что равно годовому производству электроэнергии на 124 Бурейских ГЭС.

Переработка органических отходов растительного и животного происхождения по биогазовым технологиям может дать до 450 млн. т высокоэффективных твердых органических удобрений.

В России накапливается ежегодно ТБО от 50 до 60 млн. т (только по Москве - до 15 млн. т, или до 20 млн. м³). Это не просто экологическая, но и энергетическая проблема.

Создание эффективных безотходных технологий переработки и утилизации концентрированных органических отходов растительного и животного происхождения в топливо, энергию и другие коммерчески выгодные продукты позволит также решить экологическую, энергетическую, агрохимическую и социальную проблемы (рисунок 7.1).

Для птицефабрик, животноводческих комплексов и крупных городов нужны новые технологии переработок с полной утилизацией органических отходов и возможностью производства дополнительной энергии.

В Англии в 1992 г. была построена электростанция на основе технологии сжигания крупных партий куриного помета в смеси с другими твердыми органическими отходами (опилками, соломой, стеблями, твердыми бытовыми отходами). Для снижения влажности помета в эти отходы добавляют твердые бытовые отходы городов и растительные остатки -

солому, стебли, древесные опилки, торф или, подсушивают их с использованием традиционного топлива (природный газ, каменный уголь); отходы лесопроизводства, биогаза, получаемого из отходов или электроэнергии (рисунок 7.2). Значение в "числителе" относится к теплофикационному пути, а в "знаменателе" - к конденсационному.

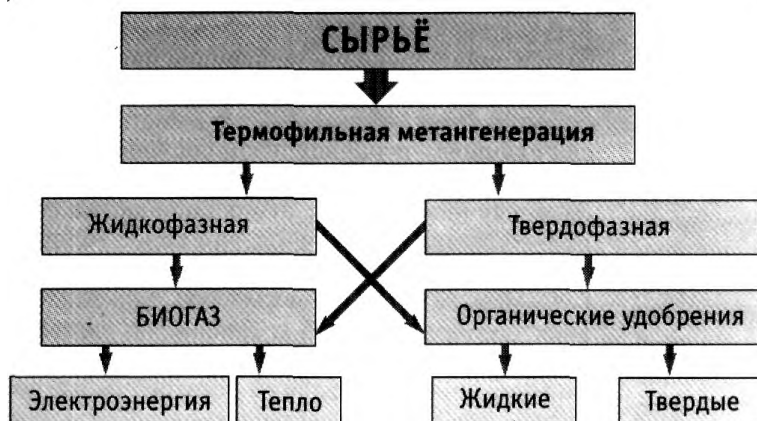
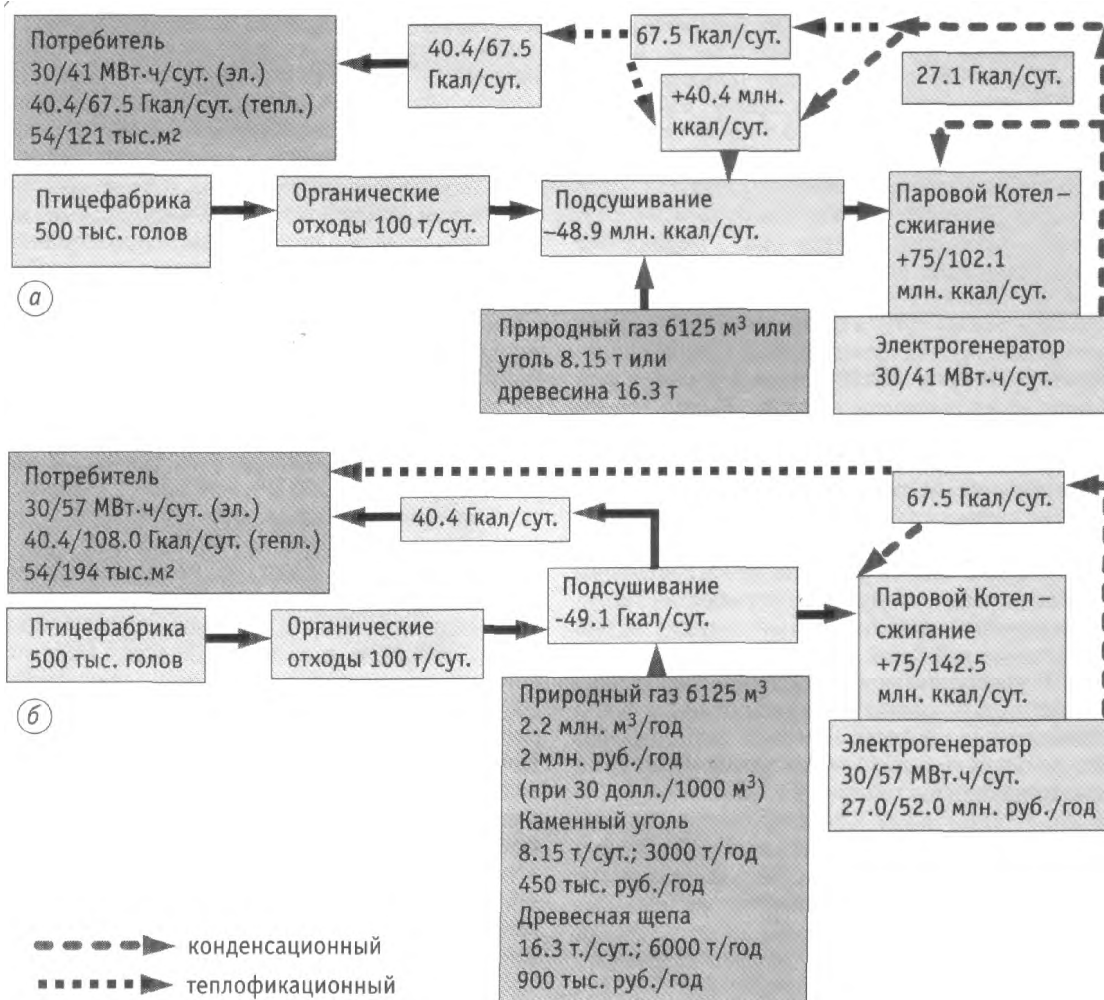


Рисунок 7.1 - Схема производства биогаза, электроэнергии, тепла и органических удобрений

Возможно применение комбинированной энергетической технологии получения электроэнергии, тепла и минеральных удобрений при сжигании помета с использованием природного газа, каменного угля или древесной щепы.

Аналогичные технологии рентабельны и при переработке отходов животноводческого комплекса крупного рогатого скота. Для комплекса на 2500 голов (выход отходов: навоз + опилки/солома - 115 т/сут.) такая технология может обеспечить до 18 МВт·ч/сут электроэнергии при затрате всего лишь 7000 м³ природного газа на сумму 7 тыс. руб. Расходы комплекса на собственные нужды составляют 6,25 МВт·ч/сут., выход товарной электроэнергии равен 11,75 МВт·ч/сут., что позволят обеспечить электроэнергией 1175 сельских домов, или до 5 тыс. жителей. Стоимость биогазовой станции - 65 млн. руб. Годовой объем удобрений (при 80 % влажности) - 24570 т.

Следовательно, энергетические технологии производства дополнительного количества электроэнергии и тепла за счет утилизации органических отходов птицефабрик, крупных животноводческих и свиноводческих комплексов и ТБО городов высокорентабельны и энергоэффективны.



а - для запуска всей технологической цепочки б - для подсушивания сырья.
Рисунок 7.2 - Схема производства электроэнергии, тепла и минеральных удобрений при сжигании органических отходов птицефабрики с использованием традиционного топлива

Контрольные вопросы для самопроверки

1. В чем заключаются особенности биоэнергетики?
2. Какие попутные продукты можно получать при работе БиоТЭС?
3. Что такое термофильная метангенерация?
4. Как можно повысить показатели работы БиоТЭС при переработке отходов животноводческих и свиноводческих комплексов?
5. Опишите технологию производства и использования древесных гранул.

8 Переработка отработанных шин

Ежегодно в мире изнашивается до 17 млн. т покрышек (1,4 млрд. шт.). Перерабатываются с целью получения вторичного продукта не более 30% от этого количества, остальные захораниваются на полигонах.

Природоохранными органами многих стран вводятся законодательные нормативы, запрещающие захоронение автопокрышек и определяются более эффективные способы их переработки и регенерации (рисунок 8.1).

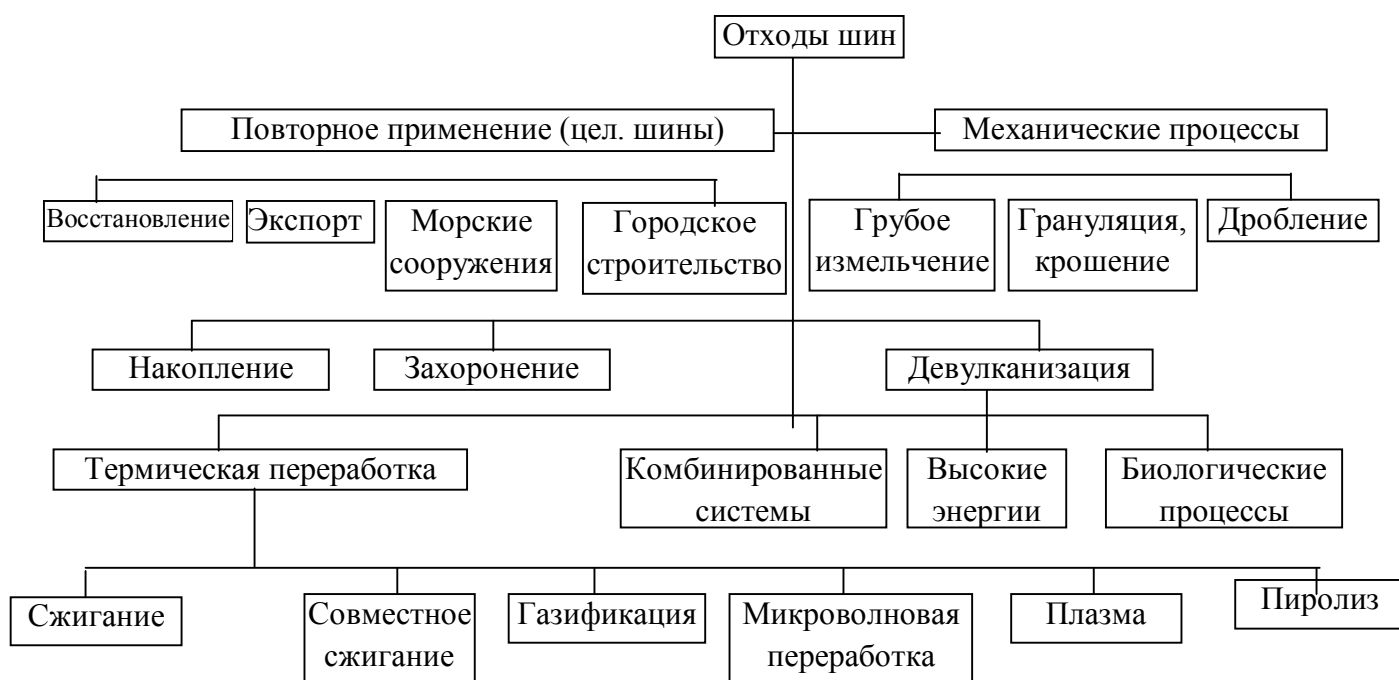


Рисунок 8.1 - Основные способы переработки отработанных автопокрышек

В настоящее время существуют следующие технологии переработки отработанных автопокрышек:

- сжигание шин с целью получения энергии;
- повторное использование шин в инженерных сооружениях: набережные и берегоукрепительные конструкции;
- механическое измельчение для более экономичного размещения на полигонах, либо для изготовления относительно дешевых продуктов;
- химическая обработка с целью девулканизации резины для получения новых латексов, используемых при производстве резиновых продуктов;
- грануляция, в том числе в криогенных условиях, и дробление для производства других продуктов;
- термическая обработка путем пиролиза для производства вторичных материалов - сажа или активированный уголь;
- использование шин в металлургии, т.к. в них содержится углерод – восстановитель и металл.

Необратимый процесс вулканизации резины приводит к тому, что старую резиновую матрицу нельзя применять для изготовления новых шин, так же как нельзя повторно использовать материалы, гарантирующие устойчивость к износу покрышек, например, сталь.

Автопокрышка (рисунок 8.2) - сложное композитное изделие, состоящее из множества материалов, включая синтетическую и натуральную резину, текстиль, сталь, сажу и множество химических добавок (таблица 8.1). Эти компоненты варьируются в зависимости от специфических характеристик шины и ее предполагаемого использования. Например, грузовые шины обычно содержат больше натуральной резины, чем легковые. При этом каждый из производителей предлагает индивидуальные марки шин с отличительными свойствами.



Рисунок 8.2 – Структура автомобильной покрышки

Таблица 8.1 - Состав автомобильной покрышки

Компонент покрышки	Процент по весу
Каучук и эластомеры	46-62,1
Сажа	21-31
Металл	17
Текстиль	6
Масляные наполнители	1,9
Окись цинка	1-1,9
Стеариновая кислота	1,2
Сера	1,1
Катализаторы	0.7

Добавки, применяемые для улучшения качества шин (прочность, износостойкость, свойства заноса и сцепления с дорожным полотном) могут воздействовать на состав материалов, получаемых при переработке шин.

Например, различные классы утилизируемых шин содержат различные типы сажевых наполнителей. Кокс, образующийся при термической переработке грузовых шин, больше подходит для производства высококачественной сажи, чем кокс, получаемый при переработке легковых шин, так как грузовые шины содержат большее количество чистой сажи.

Для изготовления основного протектора, боковых стенок и каркаса шин используются натуральные и синтетические материалы. В чистом виде эти эластомеры недостаточно прочны, поэтому их усиливают такими добавками как газовая сажа и сера при вулканизации каучука.

Шины усилены стальным кордом, который обеспечивает её жесткость и прочность. Для бортовых колец, которые прикрепляют шину к ободу колеса, используется стальная проволока, покрытая мягкой бронзой или мягкой латунью (66-70% Cu и 30-34% Zn).

Дополнительную прочность шинного корда придают волокна из ароматических полиамидов, стекловолокно, нейлон, полиэстер и вискозное волокно, которые классифицируются как "текстиль". Классификация продуктов переработки шин представлена в таблице 8.2.

Таблица 8.2 - Классификация продуктов переработки шин

Материалы	Код	Размер
Целые шины	W	-
Куски (cuts)	X	>300 мм
Клочки (shreds)	S	50-300 мм
Чипсы (chips)	C	10-50 мм
Крошка (crumb)	B	0-40 мм
Гранулят	G	1-10 мм
Порошок (пудра)	P	<1 мм
Тонкая пудра	F	<500 мкм

Содержание оксида цинка в легковой автопокрышке составляет 1-2 %. Его добавляют для повышения устойчивости к ультрафиолетовому излучению и для улучшения процесса вулканизации. Присутствие оксида цинка в продуктах, производимых из отходов шин, является существенным препятствием к их коммерческому использованию.

Добавки в виде масляных наполнителей содержат большое количество тяжелых органических компонентов, которые облегчают обработку каучука при производстве шины.

При изготовлении шины резиновая матрица, текстильный и стальной корд прочно связываются вместе, что обеспечивает необходимые эксплуатационные параметры шин, но они же создают проблемы при разделении этих компонентов во время переработки отходов шин: практически невозможно выделить чистые, дискретные фракции, которые можно было бы

использовать повторно без дальнейшей дорогостоящей обработки. Поэтому рециклинг автопокрышек, в отличие от утилизации стеклянной или металлической тары, достаточно сложен и требует:

- механического разрушения резины на мелкие части с последующим дроблением, крошением, грануляцией с отделением компонентов стали и текстиля;

- разрушения сложных углеводородов резиновой матрицы термическими методами для получения энергии и химических соединений с последующей сепарацией металла и золы;

- разрушения связей с серой для восстановления каучука путем девулканизации.

Из таблицы 8.3 видно, что теплотворная способность отходов самая высокая по сравнению с другими видами топлив.

Таблица 8.3 – Теплота сгорания различных видов топлив

Топливо	Теплота сгорания (МДж/кг)
Каменный уголь	27,0-32,6
Нефтяной кокс	28
Масла	40,1
Природный газ	33,8
ТБО	12,5-18,0
Отходы шин	28,5-36,0

При термической переработке измельчение шин играет важную роль при подаче (загрузке) сырья в реакторы и повышении эффективности процессов теплообмена. Механическое измельчение также может использоваться для сокращения объема отходов шин, предназначенных для захоронения.

Механические методы, применяемые для получения резинового гранулята и чипсов, становятся существенным источником дохода компаний, занимающихся рециклингом отработанных шин. Существует устойчивый спрос на резиновую крошку, применяемую в дорожном строительстве, покрытиях спортивных сооружений, легких наполнителей, в производстве матов, ковровых изделий, подошв для обуви и деталей автомобилей (таблица 8.2).

Во всем мире увеличилось производство систем механического измельчения отработанных шин.

Процесс измельчения шин до чипсов, гранулята и порошка является очень энергоемким: 10-50 кВт на тонну шин. При гранулировании и тонком размоле значительно увеличиваются удельная поверхность дробленого материала и соответственно энергозатраты. При этом энергия используется неэффективно: менее 2% энергии- расходуется на увеличение поверхности,

остальная часть теряется на нагрев, вибрацию, трение и шумы в самом оборудовании.

При криогенном помоле резиновые материалы охлаждают до температур (ниже $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$) жидким азотом или охлажденным воздухом с температурой $-123\text{ }^{\circ}\text{C}$, т. е. данный процесс также является энергоёмким. Охлаждение измельченной резины до низких температур приводит к ее "стеклованию", при котором частицы становятся твердыми и хрупкими и относительно легко разрушаются. Чем больше степень вулканизации, применяемая при изготовлении шин, тем ниже температура, при которой достигается стеклование. Для помола используют обрезки 50-80 мм. Поэтому криогенным процессам должно предшествовать достаточное измельчение шин.

Термическая переработка отработанных шин заключаются в их сжигании, то есть с использованием в качестве топлива в энергоемких процессах для замены природных топлив в следующих вариантах:

- цементные печи;
- котельные целлюлозно-бумажной промышленности;
- коммунальные энергосистемы;
- металлургические производства (компонент доменной шихты).

Наибольшее применение термическая переработка автопокрышек получила в цементной промышленности - т.к., производство цемента - энергоемкий процесс. Для размолта и обработки сырьевых материалов при производстве 1 т цемента требуется в среднем 180 кг топлива и 100 кВт ч электроэнергии. При этом стоимость энергии, потребляемой при производстве цемента, составляет 30-40% всех производственных расходов. Сокращение этих затрат заменой части природного топлива отходами шин снижает расход топлива.

Калорийность отходов шин составляет 36 МДж/кг (таблица 8.3), что в сравнении с теплотой сгорания других видов топлив велико, поэтому они являются ценным источником тепла.

Причем при сжигании шин в цементных печах их горючие компоненты используются как источник тепла, а негорючие попадают в состав цементного клинкера. Поэтому помимо замещения природного топлива, сокращения эксплуатационных расходов и снижения эмиссии парниковых газов исключается также образование не утилизируемых остатков, требующих захоронения.

В состав шин входит несколько органических компонентов. При горении шин масла и полимерные компаунды могут образовывать смесь токсичных летучих и полуметучих органических веществ, наиболее опасными из которых являются диоксины/фураны, газы H_2S и SO_2 . Тяжелые металлы: цинк, медь, свинец и кадмий, сталь, содержащиеся в шинах, могут входить в состав цементного клинкера.

Следовательно, сжигание шин тем или иным способом дает

возможность производить энергию и компенсировать некоторую потребность в органическом топливе.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. В чем заключается основная проблема переработки отработанных шин?
2. Какие существуют способы утилизации и переработки отработанных шин?
3. Из каких материалов состоит современная шина?
4. В чем главная проблема переработки отработанных шин?
5. Что такое пиролиз и вулканизация?
6. Какой способ переработки шин является оптимальным?
7. Почему отработанные шины выгодно использовать при производстве цемента?
8. Почему отработанные шины нежелательно складировать на полигонах, свалках, а также сжигать?

9 Тепловые насосы

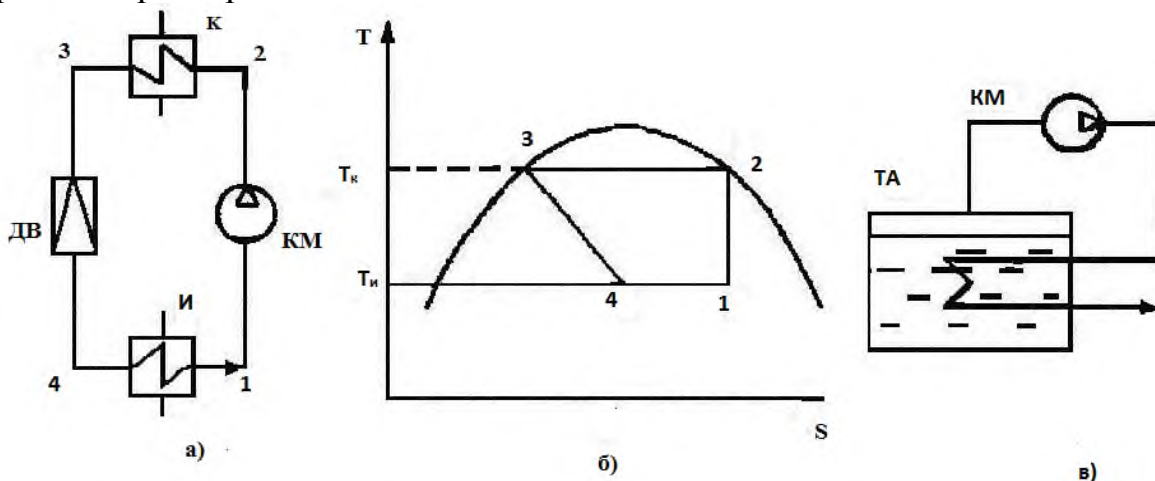
9.1 Показатели эффективности цикла

История тепловых насосов началась в 1852 г., когда Уильям Томсон (лорд Кельвин) предложил устройство, названное им умножителем теплоты, и показал, как можно эффективно использовать холодильную машину для целей отопления. С тех пор принцип действия парокомпрессионного теплового насоса не претерпел существенных изменений.

В результате подвода низкопотенциальной теплоты в испаритель теплового насоса (рисунок 9.1а) происходит кипение рабочего тела, пары которого сжимаются в компрессоре с повышением энтальпии и температуры за счет работы сжатия. В конденсаторе теплота фазового перехода рабочего тела передается технологическому теплоносителю.

На рисунке 9.1б изображен круговой процесс идеальной парокомпрессионной теплонасосной установки в T, S -диаграмме, на которой 1-2-изоэнтропное сжатие влажного пара от давления в испарителе до давления в конденсаторе; 2-3-изобарно-изотермическая конденсация рабочего тела; 3-4-изоэнтальпийное расширение в дроссельном клапане до давления в испарителе; 4-1-изобарно-изотермическое кипение (испарение) рабочего тела.

В случае, когда испаритель и конденсатор можно совместить в технологическом агрегате (процессы выпаривания, разделение смесей и т.п.), схема теплового насоса значительно упрощается (рисунок 9.1, в). Такой тепловой насос называется тепловым насосом открытого цикла или термокомпрессором.



К - конденсатор; И - испаритель; КМ - компрессор; ДВ - дроссельный клапан; ТА технологический агрегат

Рисунок 9.1 - Принципиальные схемы парокомпрессионного теплового насоса (а) и термокомпрессора (в). Цикл парокомпрессионного теплового насоса в T, S - диаграмме (б)

Основной термодинамической характеристикой теплового насоса является коэффициент преобразования, который определяется отношением количества теплоты, отданной в конденсаторе, к затраченной в компрессоре работе. Для идеального теплового насоса (рисунок 9.1б) коэффициент преобразования выражается формулой:

$$\varphi_{ид} = T_k / (T_k - T_i),$$

где T_k и T_i — температуры конденсации и испарения.

Из соотношения видно, что при уменьшении разности между температурами конденсации и испарения увеличивается коэффициент преобразования, а это делает применение теплового насоса более эффективным. Значение φ всегда больше единицы, и его неудобно использовать для оценки эффективности преобразования энергии в самом тепловом насосе. Для этих целей может использоваться эксергетической КПД:

$$\eta_e = e_k / e,$$

где e_k - эксергия теплового потока в конденсаторе;

e - подведенная эксергия, необходимая для работы теплового насоса.

Эффективность применения теплового насоса показана на рисунке 9.2. В исходном варианте энергоснабжения промышленного предприятия 24% подводимой энергии отдавалось охлаждающей воде в градирне. Установка теплового насоса позволяет использовать эту теплоту и отказаться от котельной. При этом возрастает расход электрической энергии на предприятии. Суммарная экономия топлива, как видно из рисунка 9.2, составит 16 %.

Основное назначение всех промышленных тепловых насосов использование сбросной теплоты для теплоснабжения технологических процессов. При достаточно высокой температуре сбросных потоков возможно использование их теплоты и без тепловых насосов — путем передачи в другой процесс (каскадирование теплоты) с помощью теплообменников или котлов-утилизаторов. Тепловой насос применяется лишь тогда, когда температурный уровень сбросного потока не позволяет использовать его в других процессах. Это широко применяется, так как количество сбросной теплоты особенно велико при низких температурах и существенно снижается с ростом температуры.

На рисунке 9.3 представлен график распределения количества сбросной теплоты по температуре в промышленности США. Видно, что при температуре ниже 100°C сбрасывается около 1019 Дж теплоты ежегодно. Это потенциальный источник теплоты для промышленных тепловых насосов с фреонами в качестве рабочего тела. При более высоких температурах чаще используются тепловые насосы открытого цикла (с рекомпрессией пара).

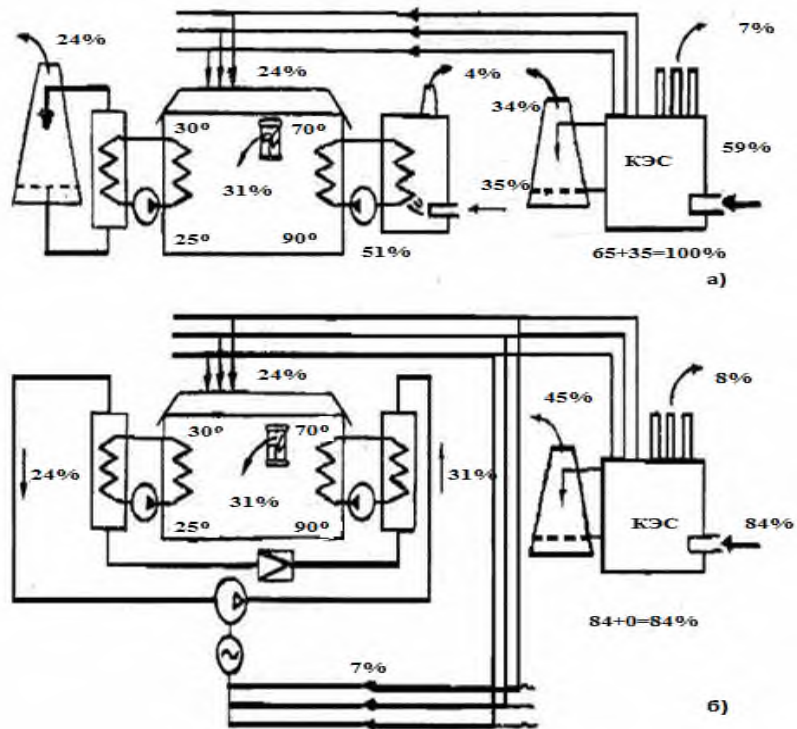


Рисунок 9.2 - Схемы теплоснабжения предприятия от котельной (а) и теплового насоса (б)

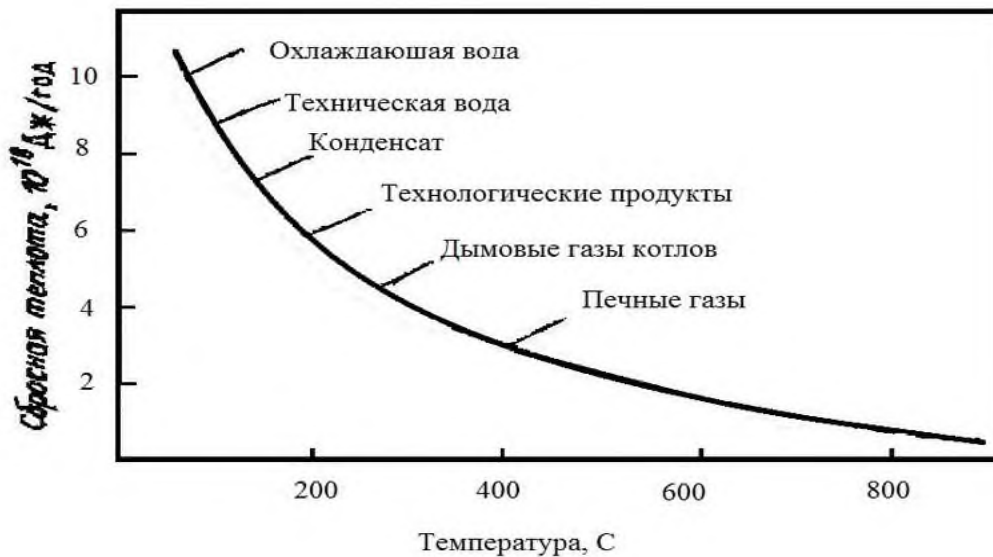


Рисунок 9.3 - Распределение потоков сбросной теплоты по температуре

Вопрос о возможности утилизации теплоты является комплексным, он связан с работой теплопотребляющих технологических установок, учитывая следующие особенности:

- совпадение по времени выхода сбросных тепловых потоков и потребления теплоты;
- место выхода сбросных тепловых потоков и место потребления теплоты;

- фазу носителя сбросной теплоты (твердая, жидкая, газообразная);
- расход сбросных потоков и потребность в теплоте;
- потенциал сбросной и потребной теплоты.

Конкурирующим способом утилизации теплоты по отношению к тепловому насосу является применение регенераторов и рекуператоров. Теплообменник проще в монтаже и быстрее окупается, но применение его во многих случаях оказывается ограниченным, в частности, при низких (30—50 °С) температурах сбросного потока. При использовании тепловых насосов для выработки теплоты и холода они оказываются предпочтительнее. Во многих случаях сочетание теплового насоса с теплообменником может явиться наиболее рациональным решением.

Выгодна установка аккумуляторов, которые, кроме аккумуляирования теплоты, уменьшают количество включений и отключений. Приводом компрессора может служить как электродвигатель, так и двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Привод от электродвигателя является более распространенным, что объясняется его дешевизной, простотой в эксплуатации и высокой надежностью. Вместе с тем электродвигатель менее эффективен по первичной энергии. При использовании ДВС в качестве привода появляется возможность использовать теплоту воды, нагретой в охлаждающем контуре двигателя, и теплоту выхлопных газов. Эффективность применения ДВС в качестве привода компрессора в тепловом насосе видна из сравнения энергетических диаграмм двух типов тепловых насосов, изображенных на рисунке 9.4.

Как видно из первой диаграммы, для того чтобы получить 100 кВт тепловой мощности, в тепловом насосе на привод компрессора необходимо затратить 43 кВт электрической мощности, что эквивалентно 170 кВт от топлива, сжигаемого на электростанции. В случае дизельного двигателя для отпуска такого же количества теплоты требуется только 88 кВт мощности сожженного топлива.

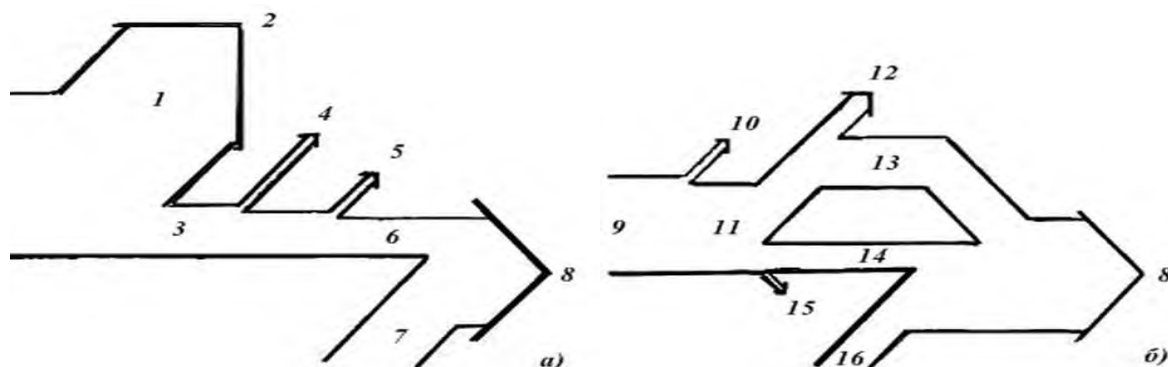
Возможность повышения ϕ при применении ДВС с использованием теплоты охлаждающей воды и выхлопных газов видна также из следующих цифр. При температуре кипения 4,5°С и температуре конденсации 53°С ϕ теплового насоса с электроприводом равен 3,7, с приводом от ДВС — 5,5. Здесь сохранено определение ϕ как отношения отданной потребителю теплоты к затрате мощности на привод компрессора.

Для более точной оценки эффективности тепловых насосов с приводом от ДВС применяется коэффициент использования первичной энергии (КПЭ), определяемый отношением отпущенной теплоты к энергии первичного топлива, затраченной на привод теплового насоса:

$$\text{КПЭ} = \eta_q \cdot \phi + (1 - \eta_q) \cdot \alpha,$$

где η_q — КПД двигателя внутреннего сгорания;

α - коэффициент использования сбросной теплоты двигателя в теплообменнике после конденсатора.



1 - энергия топлива, сжигаемого на электростанции, 170 кВт; 2 - потери при выработке и передаче электроэнергии, 119 кВт; 3 - электроэнергия, подведенная к электродвигателю, 51 кВт; 4 — потери в электродвигателе, 5 кВт; 5 - привод вентилятора, 3 кВт; 6 - привод компрессора, 43 кВт; 7 - от источника низкопотенциальной теплоты, 57 кВт; 8 - отпущенная тепловая энергия, 100 кВт; 9 - энергия топлива, сжигаемого в камере сгорания, 88 кВт; 10 - потери в камере сгорания, 5 кВт; 11 - энергия, подведенная к двигателю, 83 кВт; 12 - не утилизируемые потери, 15 кВт; 13 - утилизируемые потери, 46 кВт; 14 - привод компрессора, 20 кВт; 15 - привод воздушного вентилятора, 20 кВт; 16 - от источника низкопотенциальной теплоты, 34 кВт

Рисунок 9.4 - Энергетические диаграммы получения теплоты в тепловых насосах с электроприводом (а) и с приводом от ДВС (б)

Если тепловой насос с электроприводом имел $\phi = 3,7$ то, используя в качестве привода двигатель с $\eta_q = 0,3$ и принимая $\alpha = 0,7$, получим КПЭ = 1,6. КПЭ получения теплоты от котельных (в этом случае он соответствует КПД котельной) обычно равен 0,8. Отсюда видно, что использование теплового насоса с приводом от двигателя внутреннего сгорания позволит снизить расход топлива вдвое по сравнению с котельной.

9.2 Воздушно - контактный тепловой насос

В тепловом насосе, работавшем по циклу Кельвина, рабочим телом был воздух. Он засасывался из атмосферы при низкой температуре и подвергался расширению, отчего температура воздуха дополнительно снижалась. Затем в теплообменнике воздух пониженного давления догревался атмосферным воздухом почти до его температуры, после чего сжимался компрессором до атмосферного давления и приобретал температуру существенно выше атмосферной. Этот воздух предложили использовать для отопления зданий.

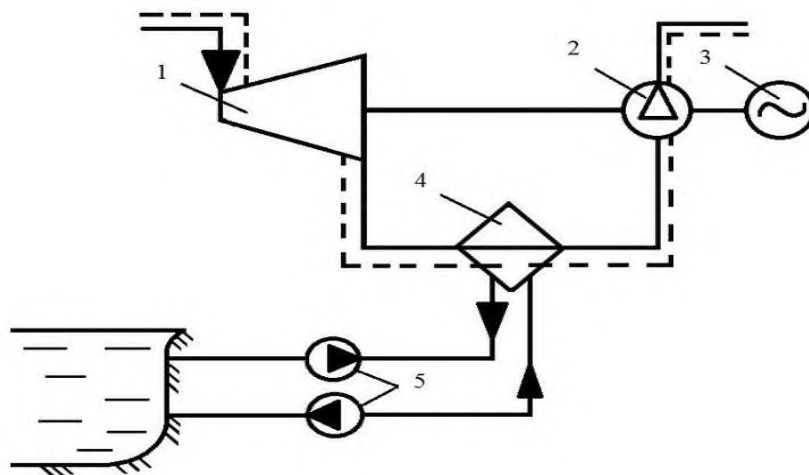
Дальнейшее развитие тепловых насосов - вместо воздуха использовали в качестве рабочих тел легкокипящие хладагенты, использующиеся в

холодильной технике, что позволило реализовать обратный цикл Ренкина. В сравнении циклов Ренкина и Кельвина преимущество отдавалось первому, потому что для его реализации детандер - расширительная машина оказался не нужным и был заменен простым устройством - дросселем. Изотермические процессы испарения и конденсации позволили получить достаточно высокие показатели, несмотря на замену детандера дросселем.

При работе на воздухе нет изотермических фазовых переходов испарения и конденсации и работа по циклу Кельвина невозможна без эффективного детандера.

В последние годы развитие газовых и воздушных турбин привело к существенному прогрессу в КПД до 90 %. Кроме того, широкое развитие получили контактные воздухонагреватели, в которых холодный атмосферный воздух нагревается за счет непосредственного контакта с водой. Эти два обстоятельства возрождают интерес к первому теплонасосному циклу — схеме Кельвина. Она может представлять интерес в случаях воздушного отопления (отопления, совмещенного с вентиляцией) для больших залов, цехов, теплиц, метрополитенов, вентиляции шахт.

Схема воздушного теплового насоса с контактным воздухонагревателем (ВКТН) представлена на рисунке 9.5. Атмосферный воздух поступает в детандер. После расширения холодный воздух подается в контактный подогреватель, нагревается водой, затем в компрессоре сжимается до атмосферного давления. В результате сжатия воздух нагревается до температуры, необходимой для отопления и вентиляции.

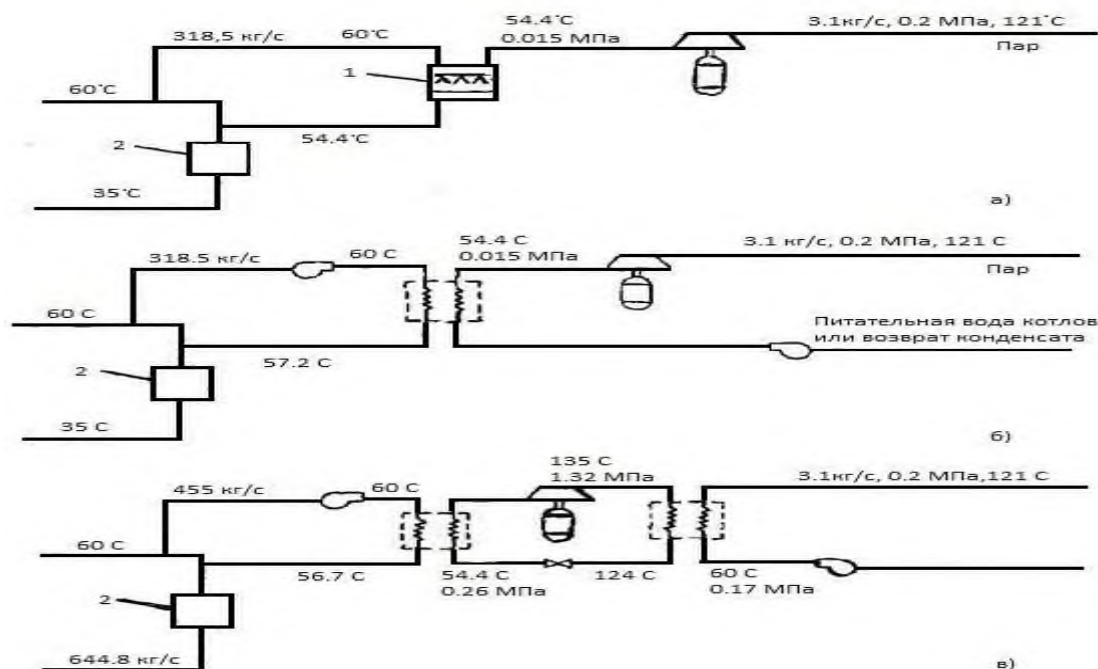


1-турбодетандер; 2-компрессор; 3-электродвигатель; 4-контактный теплообменник; 5 – насосы

Рисунок 9.5- Схема воздушного теплового насоса с контактным воздухонагревателем

9.3 Выработка пара с использованием тепловых насосов

Тепловой насос позволяет использовать теплоту сточных вод для получения пара, направляемого в технологический процесс. На рисунке 4.6 изображены три принципиальные тепловые схемы получения пара с помощью теплового насоса.



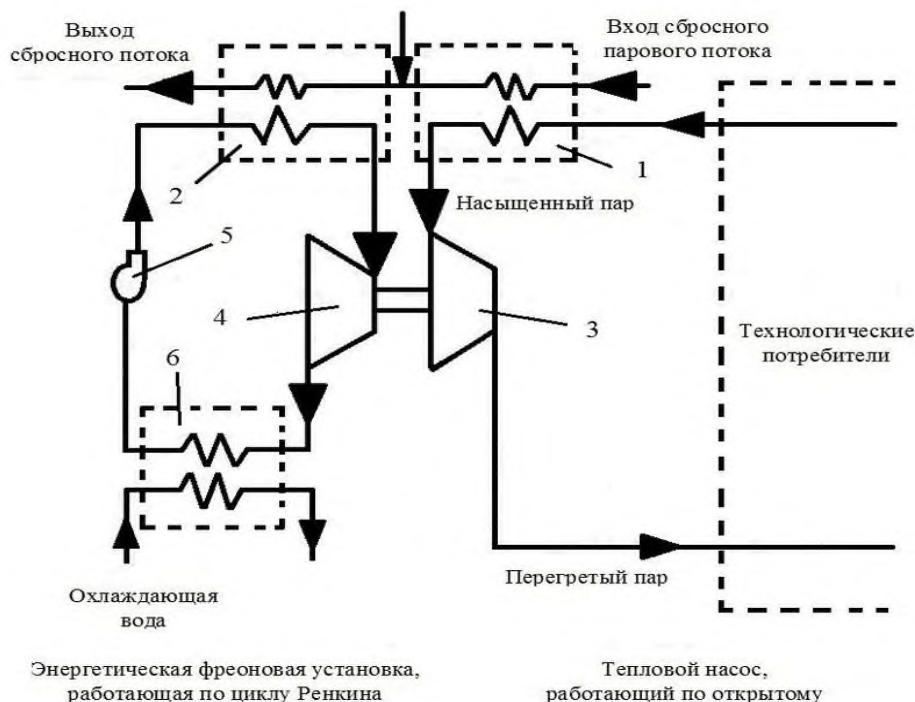
а - термокомпрессор; б - термокомпрессор с поверхностным испарителем;
в - тепловой насос замкнутой схемы; 1 - испаритель мгновенного вскипания;
2 - градирня

Рисунок 9.6- Принципиальные тепловые схемы получения пара с помощью теплового насоса

Первая схема (рисунок 9.6а) представляет собой термокомпрессор. Теплая вода направляется в испаритель. Пар из испарителя поступает на вход компрессора и после сжатия направляется потребителю. Во избежание загрязнения пара можно применить поверхностный испаритель (рисунок 9.6б). Для получения пара возможно также использование теплового насоса замкнутой схемы (рисунок 9.6в). В этом случае рабочим телом теплового насоса может быть как вода, так и фреон. Данная схема используется для охлаждения химочищенной воды на химическом предприятии. До установки теплового насоса вода охлаждалась в вентиляторной градирне. В настоящее время в вентиляторной градирне. Для сжатия пара применен шестиступенчатый центробежный компрессор с промежуточным охлаждением. Вырабатываемая вода с температурой 91,7°C направляется в бак-испаритель, в котором поддерживается давление 0,048 МПа. Вода охлаждается до 80,6 °С, при этом 1,8 % воды превращается в пар. Пар поступает на всас компрессора и после

сжатия до 0,5 МПа направляется потребителю. Дальнейшее охлаждение воды до 60 °С производитсвает 4,1 кг/с пара, мощность привода 2500 кВт.

Для более глубокого использования теплоты сбросных потоков наряду с тепловым насосом можно использовать энергетическую фреоновую установку, работающую по циклу Ренкина. Выработанная энергия используется для привода компрессора теплового насоса. Схема такой комбинированной установки представлена на рисунке 9.7.



- 1 - испаритель; 2 - испаритель фреона; 3 - компрессор; 4 — турбина;
5 - питательный насос; 6 - конденсатор

Рисунок 9.7 - Схема теплового насоса с приводом от фреоновой турбины

Сбросной тепловой поток (загрязненный пар) конденсируется в испарителе при 116 °С, отдавая $18,4 \cdot 10^6$ кДж/ч. За счет теплоты конденсации в испарителе вырабатывается 2,3 кг/с вторичного пара с давлением 0,15 МПа. Он направляется на всас компрессора, в котором сжимается до давления 0,28 МПа и направляется потребителю. Сбросной поток после конденсации охлаждается в испарителе фреона до температуры 86 °С, отдавая при этом $11,5 \cdot 10^6$ кДж/ч теплоты, которая идет на получение паров фреона. Пары фреона проходят через турбину и конденсируются при температуре 40 °С, вырабатывая мощность 365 кВт. Конденсат фреона насосом возвращается в испаритель. Для того чтобы сконденсировать пары фреона, в конденсатор подается 88,3 кг/с охлаждающей воды.

Тепловой баланс установки характеризуется следующими показателями:

- энергия, утилизированная в испарителе фреона - $11,5 \cdot 10^6$ кДж/ч;
- энергия, отданная в конденсаторе фреона - $10,2 \cdot 10^6$ кДж/ч;

- энергия, использованная в турбине - $1,3 \cdot 10^6$ кДж/ч;
- энергия, утилизированная в испарителе - $18,4 \cdot 10^6$ кДж/ч;
- энергия, отдаваемая в технологический процесс - $19,7 \cdot 10^6$ Дж/ч.

Фирмой Вестингауз создан опытный парокompрессионный тепловой насос для получения технологического пара. В качестве источника теплоты в тепловом насосе используется сбросной насыщенный пар давлением 0,17 МПа, поступающий из технологического процесса. Для получения пара в конденсатор подается вода, нагретая до температуры насыщения при давлении 0,54 МПа. Параметры отпускаемого пара: давление 0,54 - МПа; температура - 163 °С. Для того чтобы получить такие параметры пара в тепловом насосе, одним из основных вопросов был выбор теплоносителя - был выбран метанол CH_3OH .

Контрольные вопросы для самопроверки

1. В чем заключается принцип работы теплового насоса?
2. Объясните круговой процесс идеальной парокompрессорной установки на T,S диаграмме.
3. Что является основной термодинамической характеристикой теплового насоса?
4. Какое основное назначение теплового насоса и когда их целесообразно применять?
5. Почему возможность использования теплового насоса связана с работой тепловых потребителей и какие при этом учитываются особенности?
6. Что такое коэффициент использования первичной энергии теплового насоса?
7. Какие «рабочие тела» применяются в тепловых насосах?
8. Как производится выработка пара с использованием тепловых насосов?

Рекомендуемая литература

1. Картавец С.В., Нешпоренко Е.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие. – Магнитогорск, МГТУ, 2007. – 52 с.
2. Велькин В.И. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. - Екатеринбург: УГТУ, 2000. - 68 с.
3. Щеклеин С.Е. Мини- и микрогидроэлектростанции. - Екатеринбург: УГТУ, 2000. - 90 с.
4. Щеклеин С.Е. Человек. Энергия. Природа. - Екатеринбург. УГТУ, 1998. - 58 с.
5. Колтун М.М. Солнечные элементы. - М.: Наука, 1987. - 248 с.
6. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 297 с.
7. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 392 с.
8. Рэнделл Д.Е. Энергия окружающей среды и строительное проектирование. - М.: Стройиздат, 1983. - 350 с.
9. Дядькин Ю.Д., Парийский Ю.М. Извлечение и использование тепла Земли: Учеб. пособие. – Л.: ЛГИ, 1977. - 114 с.
10. Геотермальное теплоснабжение. / А.Г. Гаджиев, Ю.И. Султанов, П.Н. Ригер и др. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 120 с.

Братковский Евгений Владимирович

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Учебное пособие по дисциплине
«Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»
для бакалавров, обучающихся по направлению
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Подписано в печать 18.11.2015		
Формат 60x90 $\frac{1}{16}$ Рег.№ 74	Печать офсетная Тираж 25 экз.	Уч.-изд.л. 6,0

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
Новотроицкий филиал
462359 Оренбургская обл. г. Новотроицк ул. Фрунзе 8.
E-mail: nfmisis@yandex.ru
Контактный тел. 8(3537) 679729.