

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович
Должность: Врио ректора
Дата подписания: 21.12.2022 09:22:22
Уникальный программный ключ:
b261c06f25acbb0d1e0de3c64ab04e60094d138

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИСМАЙЛОВ Т.А., ШАНГЕРЕЕВА Б.А.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ
И УСТАНОВКИ НА ИХ ОСНОВЕ

КУРС ЛЕКЦИЙ

для студентов направления подготовки магистров
130402 «Электроэнергетика и электротехника»
всех форм обучения



Махачкала 2016

УДК. 620.9

Исмаилов Т.А., Шангереева Б.А. Преобразование возобновляемых видов энергии и установки на их основе. Курс лекций для студентов направления подготовки магистров 130402.68 «Электроэнергетика и электротехника». – Махачкала: ИПЦ ДГТУ, 2016. -88с.

В курсе лекций изложены основные направления развития возобновляемых источников энергии, как возможной альтернативы традиционной энергетики. Рассмотрены способы преобразования энергии ветра, Солнца, геотермальной энергии, а также энергии океана в электрическую и тепловую с учетом последних достижений техники и технологий.

Возобновляемая энергетика сегодня является наиболее динамично развивающимся направлением электро- и теплоэнергетики. Особое значение возобновляемые ресурсы имеют в децентрализованных системах электроснабжения, характерных для значительных территорий России и других стран.

В курсе лекций рассмотрены энергетические характеристики основных видов природных возобновляемых источников энергии (ВИЭ): ветра, потоков воды, солнечного излучения, геотермальных вод, биомассы и способы их преобразования в электроэнергию. Значительное внимание уделено вопросам повышения энергоэффективности преобразования первичного энергоресурса и рациональному построению автономных систем электроснабжения с использованием электростанций, использующих различные виды ВИЭ.

Курс лекций предназначен для студентов электроэнергетических и электротехнических специальностей.

Составители: д.т.н., профессор каф. ТиОЭ
к.т.н., доцент каф. ТиОЭ

Исмаилов Т.А.,
Шангереева Б.А.

Рецензенты: Ведущий инженер Филиала
ОАО «Русгидро»-«Дагестанский филиал»
д.т.н., профессор каф. ТиОЭ

Кадиев С.М.
Саркаров Т.Э.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Использование возобновляемых источников энергии - важное направление в области защиты окружающей среды.

Энергетика является сердцем промышленного и сельскохозяйственного производства и обеспечивает комфортное существование человечества. Основным энергоносителем в XIX веке являлся уголь, сжигание которого приводило к росту выбросов дыма, сажи, копоти, золы, вредных газовых компонентов: CO, SO₂, оксидов азота и т. д. Развитие научно-технического прогресса привело к существенному изменению энергетической базы промышленности, сельского хозяйства, городов и других населённых пунктов. Существенно возросла доля таких энергоносителей, как нефть и газ, экологически более чистых, чем уголь. Однако ресурсы их не беспредельны, что накладывает на человечество обязанность поиска новых, альтернативных возобновляемых источников энергии. К ним относятся солнечная и атомная энергия, геотермальный и гелиотермальные виды энергии, энергия приливов и отливов, энергия рек и ветров. Эти виды энергии являются неисчерпаемыми и их производство практически не оказывает вредного воздействия на окружающую среду.

Достаточно широко применяются геотермальные и гелио-термальные источники энергии. Циркулирующая на глубине 2-3 км вода нагревается до температуры, превышающей 100°C за счёт радиоактивных процессов, химических реакций и других явлений, протекающих в земной коре. В ряде районов земли такие воды выходят на поверхность. Значительные запасы их имеются в нашей стране на Дальнем Востоке, Восточной Сибири, Северном Кавказе и других районах. Существуют запасы высокотемпературного пара и пароводяной смеси на Камчатке, Курильских островах и в Дагестане.

Технологические процессы получения тепловой и электрической энергии из таких вод достаточно хорошо разработаны, их себестоимость в 2-2,5 раза ниже тепловой энергии, получаемой в обычных котельных. На Камчатке работает геотермальная электростанция мощностью 5 кВт. Предполагается сооружать такие, но более мощные 100 и 200 МВт блоки. В Краснодарском крае теплота подземных вод используется для теплоснабжения промышленных предприятий, населения, животноводческих комплексов, многочисленных теплиц.

За последнее время все шире используется солнечная энергия. Солнечные энергетические установки могут быть тепловыми, в которых используется традиционный паротурбинный цикл и фотоэлектрическими, в которых солнечное излучение с помощью специальных батарей преобразуется в электроэнергию и теплоэнергию. Стоимость таких гелиоэлектростанций пока ещё велика: для станций мощностью в 5-100 МВт она в 10 раз превышает капитальные затраты ТЭС аналогичной мощности. Кроме того, для получения энергии требуются большие площади зеркал - около 50 км² на 109 кВтч электроэнергии. Солнечные электростанции являются перспективными, так как они экологически чистые, а стоимость произведённой на них электроэнергии будет неуклонно снижаться по мере совершенствования технологических процессов, оборудования и используемых материалов. Вода с давних пор используется челове-

чеством в качестве источника энергии. ГЭС остаются перспективными и экологически чистыми энергетическими установками при условии, если при их строительстве не происходит затопления пойменных земель и лесных угодий.

Энергию океана можно использовать, сооружая волновые электростанции, установка, использующие энергию морских течений, разницу температур поверхностных теплых и глубинных холодных слоев воды или подледных слоев воды и воздуха. Проекты таких энергетических установок разрабатываются в ряде стран: США, Японии, России.

Одним из основных источников вредных веществ в окружающей среде является транспорт. Рассматривается возможность замены используемого в настоящее время углеводородного топлива на чистый водород, при сгорании которого образуется вода, позволила бы исключить проблему загрязнения атмосферы отработанными газами автомобильных двигателей. Использование водорода затрудняется тем, что в настоящее время недостаточно отработана технология его получения, транспортировки и хранения, что приводит к большим затратам электроэнергии при производстве водорода методом электролиза и высокой его стоимости. Совершенствование указанных технологических процессов позволит снизить стоимость водорода, который станет топливом, способным конкурировать по экономическим показателям с традиционными видами топлива, а по экологическим - превосходить их.

Возобновляемыми энергоресурсами называют целую гамму энергетических ресурсов, основной характеристикой которых является то, что они постоянно возобновляются, не смотря на их использование. Кроме энергии приливов и отливов, все возобновляющиеся энергоресурсы получают подпитку от солнца – практически единственного источника энергии на нашей планете.

Структура нашей планеты достаточно сложная включает литосферу, гидросферу и атмосферу, из которых каждая обладает специфическими качествами и по разному реагирует на воздействие солнечной радиации. Наряду с неравномерным распределением солнечного света по земной поверхности всё это вызывает разницу в давлении, температуре, химическом потенциале и уровня солености воды. Эти различия, поддерживаемые солнечным излучением, и есть потенциальные источники энергии. В естественных условиях эти различия постепенно сглаживаются вследствие необратимого рассеивания, и какая-то определенная часть энергии, в конечном счете, уходит в космос.

Использование возобновляющихся источников энергии, по сути, есть вмешательство в процесс распределения солнечной энергии и использование этой энергии на нужды человека. К счастью в большинстве случаев между поглощением солнечной энергии тем или иным объектом и её выделением в космос в виде инфракрасных излучений проходит достаточно много времени. Это дает возможность воспользоваться выше упомянутой энергией.

Так как Земля находится в среднем на расстоянии 150 млн. км от Солнца, только малая часть радиации, зависящая от угла падения, попадает на Землю. Однако даже это количество оказывается достаточно большим и поддерживает практически все процессы, происходящие на Земле, включая жизнь.

К возобновляемым источникам энергии, которые в настоящее время принимают во внимание, относятся:

- геотермальная энергия земли;
- солнечная энергия;
- биомасса в пределах возобновляемости;
- гидроэнергия;
- энергия Мирового океана;
- энергия ветра.

Следует сразу же подчеркнуть, что возобновляемая энергия не значит неисчерпаемая, т.е. сколь угодно большая по величине. Для оценки ее величины используют понятие «*потенциал*». Потенциал возобновляемых источников энергии - это количество энергии, которое можно использовать от данного источника в течение года. При этом различают следующие градации потенциала: теоретический; технически возможный; экономически или экологически целесообразный.

Теоретический потенциал - это количество энергии, которое образуется от данного источника в течение года. Технически возможный - часть этой энергии, для использования которой у нас имеются технические средства. Например, современные ветротурбины начинают вращаться при скорости ветра 2 м/с и выше. Значит, при меньшей скорости мы технически не можем использовать энергию ветра. Аналогичная ситуация и с гидротурбинами: для каждого типа есть определенная минимальная скорость, при которой гидроколесо способно вращаться. Экономически целесообразный составляет, в свою очередь, часть технически возможного потенциала, способного конкурировать с другими источниками энергии. В настоящее время ветроустановки рентабельны в местах, где средняя скорость ветра составляет 8 м/с и выше. Наконец, в последнее время все более актуальными становятся экологические факторы (они подробно будут рассмотрены ниже). Экологически целесообразный - это тоже часть технически возможного потенциала, применение которого не наносит существенного ущерба окружающей среде.

I. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ ДАГЕСТАНА

До революции электроэнергетика в Дагестане практически отсутствовала, несмотря на значительные гидроэнергетические ресурсы рек Сулака и Самура и наличие запасов нефти.

Крупная промышленность появилась в Дагестане после ввода Владикавказской железной дороги, соединивший Дагестан с центром России и давшей толчок капиталистическому развитию. Здесь были построены бондарный, небольшие нефтеперегонные заводы, бумагопрядильная и ткацкая фабрики.

Первые электростанции в Дагестане появились в начале 20 в. Во всех пяти городах Порт-Петровске, Темир-Хан-Шуре, Дербенте, Кизляре и сл. Хасавюрт были построены мелкие электростанции. Самой крупной из них была Махачкалинская городская электростанция мощностью 140 кВт. Общая суммарная мощность всех 14 электроустановок, имевшихся здесь, не превышала 1100 кВт.

С утверждением Советской власти молодое государство ставило перед собой сложные задачи возрождения производительных сил, развития крупного машинного производства с применением электрической энергии. Необходим был единый народнохозяйственный план, обеспечивающий наиболее эффективное использование всех естественно-природных ресурсов страны. Такой план был разработан комиссией в составе более 200 крупных специалистов во главе с Г.М. Кржижановским. Могучие водные ресурсы горных рек должны были быть освоены для развития электрификации и орошения.

В июле 1925 г. Госплан СССР утвердил программу электрификации Дагестана. Считалось целесообразным построить шесть электростанций: в Ахтах, Кумухе, Ходжалмахи, Гунибе, Хунзахе, Махачкале. В 1932 г. была утверждена первая схема энергетического использования р. Сулака, согласно которой на реке было запланировано построить 10 электростанций общей мощностью 2,5 млн. кВт. Река Сулак считался лучшей в мире рекой для строительства экономичных и мощных электростанций. Работы по изучению и использованию энергетических ресурсов реки, начатые еще в 1927 г., продолжаются и поныне. Проектные работы по гидроэлектростанциям Сулакского каскада проводились под руководством опытных и авторитетных инженеров, таких как профессор Скрыльников, инженеры: Зобков, Анисимов, Лубны-Герцык. К консультации и экспертизе привлекались иностранные специалисты: инженер-строитель плотин в высокогорных районах Анжелико Амадео (Италия), инженер-эксперт Торпен и геолог Герцоги (США), доктор Кэлен (Германия). К началу Великой Отечественной войны электроэнергетическая отрасль Дагестана была представлена несколькими колхозными ГЭС в сельской местности, пятью городскими электростанциями промышленного значения с дизельными и паровыми-поршневыми машинами и Гергебильской ГЭС мощностью 4200 кВт, подведомственными Наркомхозу ДАССР, а также заводской ТЭЦ мощностью 12000 кВт оборонного завода №182 «Двигательстрой», в последующем переданной (1965 год) в состав вновь созданного управления «Дагэнерго» Минэлектростанций СССР. Все крупные города республики обеспечивались электроэнергией через

линии ВЛ-35 кВ от Каспийской и Махачкалинской ТЭЦ, Гергебильской ГЭС и коммунальных станций.

К числу крупных достижений энергетики республики в предвоенные годы относится строительство в посёлке Двигательстрой (недалеко от столицы Дагестана Махачкалы) мощной теплоэлектростанции, снабжающей электроэнергией завод, работающий на оборонные заказы, многие предприятия и население Махачкалы, введение в эксплуатацию самой высокогорной в Европе Гергебильской ГЭС – первенца гидроэнергетического строительства республики. Распространение получило строительство мелких гидростанций в горных районах. К началу войны их насчитывалось 67, в стадии строительства было еще 14.

Очень важным для функционирования экономики Дагестана, в первую очередь для выполнения оборонных заказов, объектом была Каспийская ТЭЦ. Её рождение и становление было связано со строительством завода №182 «Двигательстрой» (затем – «Дагдизель»), выпускающего «морское» оружие. В 1936–1938 гг. на ТЭЦ были смонтированы и введены в эксплуатацию 5 котельных агрегатов общей паропроизводительностью 200/250 т/час и 3 турбоагрегата общей установленной мощностью 20 тыс. кВт. Каспийская ТЭЦ и построенные высоковольтные линии электропередачи 35 кВ Двигательстрой (Каспийск) – Махачкала и Двигательстрой – Избербаш сыграли определяющую роль в становлении промышленности двух крупных городов Дагестана и нефтяной отрасли.

Поэтому, с учётом особой важности Каспийской ТЭЦ для выполнения оборонных заказов, в напряженный период начала войны было принято решение правительства о её срочной эвакуации вместе с предприятием в Казахстан. Эта ответственная работа была проведена при самом строгом контроле в сжатые сроки. Были эвакуированы турбоагрегаты типа ТН-65 12000 кВт и типа СР-26 4000 кВт, а также три котла типа НЗЛ-650. На ТЭЦ остались только одна турбина типа СР-26 мощностью 4000 кВт и 2 котла типа НЗЛ-650, предназначенные для обеспечения оставшейся части завода «Двигательстрой» и одноименного посёлка.

На высоком уровне в годы войны была организована бесперебойная работа коллектива Гергебильской ГЭС. Уже 9 августа 1941 г. здесь были созданы специализированные звенья по охране порядка и наблюдению, противопожарной защите, аварийно-восстановительные, медико-санитарные и т.д. К началу войны персонал ГЭС составлял 44 человека. В первые же дни на фронт было призвано 12 человек. Постепенно на станции осталось 18 работающих мужчин. На главном щите управления из пяти мужчин осталось трое, и они работали вместо ушедших на фронт без дополнительной оплаты. В машинном зале вместо 5 машинистов работали двое. На отдельных рабочих местах встали женщины, а на некоторых участках и несовершеннолетние. На рабочих местах была организована мастерская по изготовлению узлов и деталей, необходимых для агрегатов.

На территории Дагестана насчитывалось 8 электростанций:

- 1) Гунибская ГЭС -15 МВт,
- 2) Герьебильская ГЭС-15 МВт,
- 3) Ирганайская ГЭС-160 МВт,
- 4) Чиркей ГЭС-1000 МВт,
- 5) Миатлинская ГЭС-220 МВт,
- 6) Чирюртовская ГЭС-80 МВт,
- 7) Махачкалинская ТЭЦ-18 МВт,
- 8) Дагестанская ТЭЦ-18 МВт.

1.1. Современное состояние использования возобновляемых источников энергии. Предпосылки развития возобновляемых источников энергии

В основе экономического развития общества лежат физические процессы преобразования вещества и энергии и их использование для повышения благосостояния людей. Виды используемых источников энергии, технологии добычи, преобразования и использования энергии определялись историческим развитием общества, энерговооруженностью труда и комфортом существования человека. Промышленная революция 19-20 веков была энерготехнической революцией и основывалась, главным образом, на технологиях преобразования и использования первичных источников энергии в виде ископаемого органического топлива. Большинство источников первичной энергии, в том числе и ископаемые, являются продуктом преобразования солнечной энергии за разный временной промежуток времени. Другими источниками первичной энергии являются: ядерные реакции ядра Земли, гравитационные силы взаимодействия между Землей, Луной и Солнцем, химические и ядерные реакции различных веществ. Классификация первичных источников энергии представлена на рис. 1. С другой стороны эти источники энергии принципиально можно разделить на два вида: исчерпаемые или *невозобновляемые* и неисчерпаемые или *возобновляемые*.

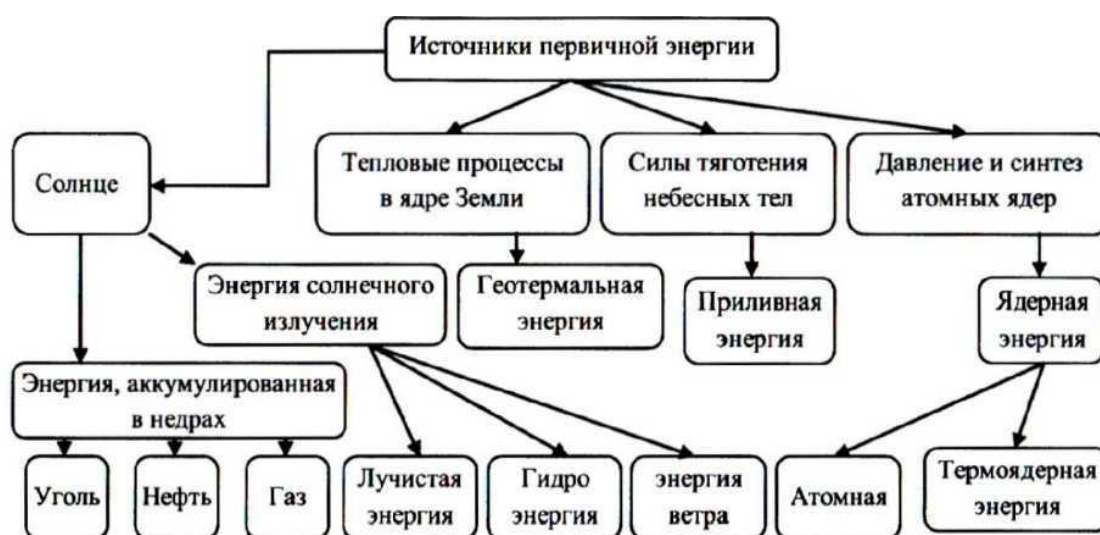


Рис. 1. Классификация первичных ресурсов

Невозобновляемые источники энергии - это природные запасы веществ, которые могут быть использованы человеком для производства энергии. Прежде всего, это энергия органических топлив - угля, нефти и газа.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) - это потоки энергии, возникающие в атмосфере и на поверхности планеты в результате взаимодействия

веществ, сил и энергий. Возобновляемая энергия существует в окружающей среде постоянно и не требует специальных затрат на свое высвобождение.

Развивающаяся в настоящее время цивилизация также опирается на интенсивное использование источников энергии в виде природных запасов вещества и топлива, однако сейчас баланс использования энергии начинает меняться. Этому способствует ряд причин, основными тремя из которых являются: истощение природных ресурсов, энергетическая безопасность и экологический кризис.

Истощение органических ресурсов

Наша планета обладает ограниченными запасами невозобновляемых источников энергии, точное значение которых зависит от наших знаний, инженерных изысканий и предельных экономически целесообразных условий, при которых добыча еще является целесообразной и рентабельной.

Ископаемые ресурсы (уголь, нефть, газ) в настоящее время составляют основу энергетики большинства стран мира, в том числе и России, но они по определению являются невозобновляемыми, ограниченными и в скором будущем будут исчерпаны.

2. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

2.1. Традиционные и нетрадиционные источники энергии

При существующем уровне научно-технического прогресса энергопотребление может быть покрыто лишь за счет использования органических топлив (уголь, нефть, газ), гидроэнергии и атомной энергии на основе тепловых нейтронов. Однако, по результатам многочисленных исследований органическое топливо к 2020 г. может удовлетворить запросы мировой энергетики только частично. Остальная часть энергопотребности может быть удовлетворена за счет других источников энергии – нетрадиционных и возобновляемых.

Возобновляемые источники энергии – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. Возобновляемая энергия не является следствием целенаправленной деятельности человека, и это является ее отличительным признаком.

Невозобновляемые источники энергии – это природные запасы веществ и материалов, которые могут быть использованы человеком для производства энергии. Примером могут служить ядерное топливо, уголь, нефть, газ. Энергия невозобновляемых источников в отличие от возобновляемых находится в природе в связанном состоянии и высвобождается в результате целенаправленных действий человека. В соответствии с резолюцией № 33/148 Генеральной Ассамблеи ООН(1978 г.) к нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии относятся: солнечная, ветровая, геотермальная, энергия морских волн, приливов и океана, энергия биомассы, древесины, древесного угля, торфа, тяглового скота, сланцев, битуминозных песчаников и гидроэнергия больших и малых водотоков.

2.2. Запасы и динамика потребления энергоресурсов, политика России в области нетрадиционных и возобновляемых источников энергии

Потенциальные возможности нетрадиционных и возобновляемых источников энергии составляют, млрд. т. у.т в год:

- энергии Солнца – 2300;
- энергии ветра – 26,7;
- энергии биомассы – 10;
- тепла Земли – 40000;
- энергии малых рек – 360;
- энергии морей и океанов – 30;
- энергии вторичных низкопотенциальных источников тепла – 530.

Разведанные запасы местных месторождений угля, нефти и газа в России составляют 8,7 млрд. т.у.т., торфа – 10 млрд. т.у.т.

По имеющимся оценкам, технический потенциал ВИЭ в России составляет порядка 4,6 млрд. т у.т. в год, что превышает современный уровень энергопотребления России, составляющий около 1,2 млрд. т.у.т. в год. Экономический потенциал НВИЭ определен в 270 млн. т у.т. в год, что составляет около 25% от годового внутрироссийского потребления. В настоящее время экономический потенциал ВИЭ существенно увеличился в связи с подорожанием традиционного топлива и удешевлением оборудования возобновляемой энергетики за прошедшие годы.

Доля возобновляемой энергетики в производстве электроэнергии составила в 2002 г. около 0,5% от общего производства или 4,2 млрд. кВт·ч, а объем замещения органического топлива – около 1% от общего потребления первичной энергии или около 10 млн. т.у.т. в год. Положительным фактором для развития НВИЭ в России является начавшееся создание законодательной базы. Так, Законом «Об энергосбережении» в 1996 г. установлена правовая основа применения электрогенерирующих установок на НВИЭ, состоящая в праве независимых производителей этой электроэнергии на подключение к сетям энергоснабжающих организаций. Государственной Думой и Советом Федерации принят Закон «О государственной политике в сфере использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии». Этот правовой акт устанавливает минимально допустимые в современных условиях экономические и организационные основы развития. Ведется разработка федеральной программы по использованию НВИЭ. Предполагается развивать производственные мощности оборудования нетрадиционной энергетики, на что будет выделено 1,315 млрд. рублей: 17% из федерального бюджета, остальные – из региональных и местных бюджетов.

В мае 2003 г. на рассмотрение правительства России вынесена «Энергетическая стратегия России на период до 2020г.». Одним из направлений данного документа является рассмотрение возможностей использования возобновляемых источников энергии.

Стратегическими целями использования возобновляемых источников энергии и местных видов топлива являются:

- сокращение потребления невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов;
- снижение экологической нагрузки от топливно-энергетического комплекса;
- обеспечение децентрализованных потребителей и регионов с дальним и сезонным завозом топлива;
- снижение расходов на дальнепривозное топливо.

Необходимость развития возобновляемой энергетики определяется ее ролью в решении следующих проблем:

- обеспечение устойчивого тепло- и электроснабжения населения и производства в зонах децентрализованного энергоснабжения, в первую очередь в районах Крайнего Севера и приравненных к ним территориях. Объем

завоза топлива в эти районы составляет около 7 млн. т нефтепродуктов и свыше 23 млн. т угля;

- обеспечение гарантированного минимума энергоснабжения населения и производства в зонах централизованного энергоснабжения, испытывающих дефицит энергии, предотвращение ущербов от аварийных и ограничительных отключений;

- снижение вредных выбросов от энергетических установок в городах и населенных пунктах со сложной экологической обстановкой, а также в местах массового отдыха населения.

В последнее время растет интерес к нетрадиционной энергетике у региональных АО-энерго и местных администраций.

Оценки показывают, что к 2010 г. может быть осуществлен ввод в действие около 1000 МВт электрических и 1200 МВт тепловых мощностей на базе возобновляемых источников энергии при соответствующей государственной поддержке.

3. ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА

3.1. Характеристики солнечного излучения

Плотность потока солнечного излучения, падающего на площадку, перпендикулярную этому потоку и расположенную над атмосферой на расстоянии 150 млн. км от Солнца, равна солнечной постоянной $G_0=1,353 \text{ кВт/м}^2$. Это - так называемое солнечное космическое излучение.

Солнечное излучение обусловлено ядерными реакциями в ядре Солнца, где температура достигает 10 млн.К. Внешние неактивные слои, нагретые до 5800°К , изменяют спектр, и к верхней границе атмосферы поступает излучение в диапазоне 0,3...2,5 микрон.

Солнечный спектр состоит из трёх участков: (1) ультрафиолетовое излучение (с длиной волны до 0,4 микрон) – составляет 9% интенсивности, (2) видимое излучение (0,4...0,7 микрон) – 45% интенсивности и (3) инфракрасное излучение (более 0,7 микрон) – 46% интенсивности.

Часть энергии солнечного излучения доходит до Земли в виде прямых солнечных лучей. Другая часть, достигая атмосферы, рассеивается облаками и пылью и доходит до поверхности Земли в виде рассеянного излучения. Первую часть потока в отличие от второй можно сфокусировать и в таком виде использовать в технических устройствах. Отношение интенсивности направленного потока к полной интенсивности излучения меняется от 0,9 в ясный день до нуля в пасмурный день.

Максимальная плотность направленного солнечного излучения на 1 м^2 поверхности Земли – около 1 кВт/м^2 в диапазоне волн 0,3...2,5 микрон. Это – коротковолновое излучение и оно включает видимый спектр. В зависимости от времени суток, места, погоды плотность излучения меняется в десятки раз. Эта тепловая энергия может быть использована с помощью технических устройств. Плотность потока энергии излучения, связывающая атмосферу с поверхностью земли также около 1 кВт/м^2 , но уже в диапазоне длинных волн 5...25 микрон.

Полная энергия солнечного излучения, которая приходится на единицу поверхности за день, представляет собой суточную облучённость. Величина суточной облучённости (Н) зависит от широты местности и времени года. В высоких широтах сезонные изменения особенно велики из-за меняющейся продолжительности дня, меняющейся ориентации приёмной площадки (горизонтальной плоскости), изменяющегося поглощения в атмосфере.

Сезонные изменения суточной облучённости горизонтальной приёмной площадки в ясный день на разных широтах – представлены на графике, рис.2. Летом она составляет 25...26 МДж/м² в день или 7 кВт·ч/м² в день во всех широтах, зимой – в высоких широтах она намного меньше из-за более короткого дня, косоугольного падения лучей и большего ослабления атмосферой. Расстояние, пройденное прямыми солнечными лучами через атмосферу, зависит от угла падения (зенитного угла) и высоты над уровнем моря. При этом важно не только само расстояние, а взаимодействие излучения с атмосферными га-

зами и парами. Увеличение длины пути при наклонном падении луча по сравнению с путём при нормальном падении называют оптической массой.

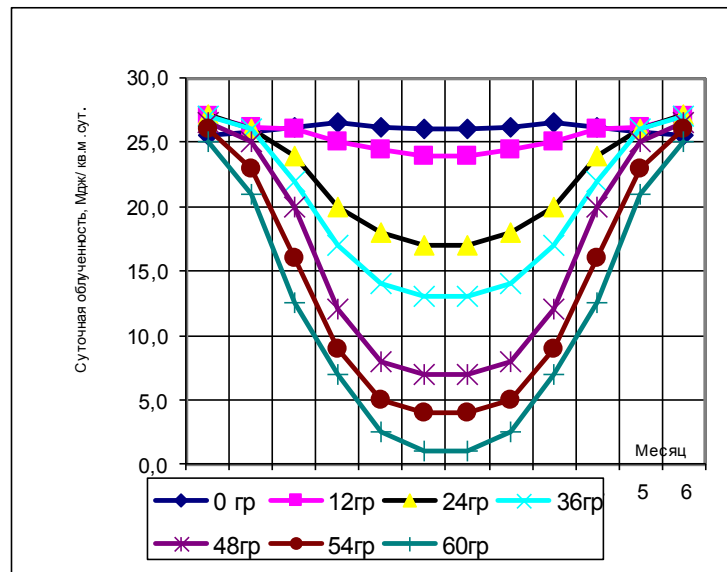


Рис.1. Суточная облученность в зависимости от широты местности и времени года.

Облученность горизонтальной площадки в течение суток летом и зимой характеризуется рис.3.

Прохождение солнечного коротковолнового излучения через атмосферу сопровождается: (1) поглощением, т.е. переходом энергии излучения в тепло, с последующим излучением света большей длины волны, (2) рассеянием, т.е. изменением направления распространения света в зависимости от длины волны, (3) отражением, которое не зависит от длины волны.

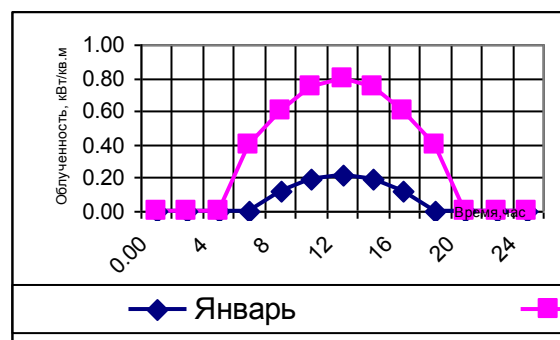


Рис.2. Облученность горизонтальной площадки на широте 54 градуса в течение суток

Прохождение в атмосфере различно для разных участков спектра солнечного и атмосферного излучения. Оно приводит к повышению температуры.

Коротковолновая ультрафиолетовая область (до 0,3 микрон) почти полностью отсутствует на уровне моря, так как поглощается кислородом O_2 , O_3 , O и азотом N_2 .

Коротковолновая ультрафиолетовая область (0,3...0,4 микрон) - частично проходит.

Видимый диапазон (0,4...0,5 микрон) почти полностью проходит через чистую (не загрязнённую) атмосферу. Это почти половина потока солнечного излучения.

Ближняя инфракрасная область (0,7...2,5 микрон) – почти половина солнечного космического излучения – в значительной степени (на 20%) поглощается в атмосфере в основном парами воды и углекислого газа CO_2 .

Инфракрасный диапазон (более 12 микрон) – для него атмосфера почти непрозрачна.

Прохождение в атмосфере различно для разных участков спектра солнечного и атмосферного излучения. Оно приводит к повышению температуры.

Коротковолновая ультрафиолетовая область (до 0,3 микрон) почти полностью отсутствует на уровне моря, так как поглощается кислородом O_2 , O_3 , O и азотом N_2 .

Коротковолновая ультрафиолетовая область (0,3...0,4 микрон) - частично проходит.

Видимый диапазон (0,4...0,5 микрон) почти полностью проходит через чистую (не загрязнённую) атмосферу. Это почти половина потока солнечного излучения.

Ближняя инфракрасная область (0,7...2,5 микрон) – почти половина солнечного космического излучения – в значительной степени (на 20%) поглощается в атмосфере в основном парами воды и углекислого газа CO_2 .

Инфракрасный диапазон (более 12 микрон) – для него атмосфера почти непрозрачна.

Отражённое коротковолновое излучение возвращается в космическое пространство. Это 30% солнечного космического излучения. Большую часть отражают облака, меньшую снег и лёд на поверхности земли. Плотность оставшегося потока коротковолнового излучения и составляет около 1 кВт/м^2 .

Измерения солнечной энергии необходимы для расчётов эффективного использования солнечных установок. Для измерения используются пиргелиометры, **солариметр** и другие приборы. Эталонный **пиргелиометр** – служит для измерения направленного излучения путём сравнения с нагревом поверхности электрическим током; **солариметр** и **солнечные элементы** – для измерения суммарного излучения; **актинометр** – для измерения прямого излучения. Для определения количества солнечных часов применяются самописцы. Обычные визуальные наблюдения невооружённым глазом и фотографирование со спутников позволяют оценить облачность.

Собирающий приёмник должен быть расположен прямо по направлению потока солнечного излучения. Оптимальное расположение фиксированного

плоского приёмника определяется из условия получения максимума суммарной (интегральной) облучённости за день, месяц, год:

$$H = \int (G_{np} \cdot \cos \theta + G_{pc}) dt$$

где G_{np} – облучённость прямыми солнечными лучами площадки, перпендикулярной прямым лучам, кВт/м²,

θ – угол между направлением потока излучения и нормалью к поверхности приёмника,

G_{pc} – облучённость рассеянным облучением, кВт/м².

Иногда приёмник располагают по направлению к экватору, иногда ориентируют в зависимости от того, когда нужно получить больший поток энергии – утром или днём.

Ориентировочные суточные изменения облучённости горизонтальной поверхности в ясные дни в различные времена года для Беларуси (54 градуса северной широты) представлены на графике, рис.3.

Максимальная облучённость горизонтальной поверхности или плотность направленного солнечного излучения летом составляет 0,8 кВт/м², зимой – 0,2 кВт/м². В тропиках максимальная облучённость около 0.9 кВт/м² круглый год.

Величина суточной облучённости может быть определена как

$$H \approx \frac{2N}{\pi} \cdot G_M, \text{ кВт.ч / м}^2 \cdot \text{день},$$

где G_M – максимальная облучённость площадки прямыми солнечными лучами, кВт/м²;

N – продолжительность светового дня, часов;

$$N = 0,133 \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta),$$

где: φ – широта места,

δ – склонение, или угол между направлением от Солнца и экваториальной плоскостью;

В северном полушарии 21 июня $\delta = 23,5^\circ$, 21 декабря $\delta = -23,5^\circ$.

Наибольшее число солнечных часов в году в восточной Сахаре – 4300 (97% возможных), в Беларуси – 2000...2300 (50% возможных).

Доля приходящего солнечного излучения, которое может быть сфокусировано на приёмнике зависит от облачности и запылённости атмосферы и от угла наклона приёмника.

Индекс ясности K_T – это отношение лучистой энергии, пришедшей на горизонтальную поверхность за день к энергии пришедшей на параллельную ей поверхность, расположенную вне атмосферы. Для самого ясного дня $K_T \approx 0,8$. Для таких дней доля рассеянной составляющей излучения равна 0,2; она увеличивается до 1 в пасмурные дни, когда $K_T = 0$. В солнечные дни при

небольшой облачности и при значительном количестве аэрозолей в атмосфере рассеянная составляющая равна 0,5.

Фокусирующие системы плохо работают в условиях сильной облачности. Однако, системы, следящие за солнцем, могут собирать большую часть тока идущую по нормали к поверхности.

Максимум облучённости приёмника зависит от широты расположения, угла наклона приёмника и времени года. Так для местности, расположенной на 45° северной широты при $K_T \approx 0,5$, коэффициенте отражения земли 0,2 средняя облучённость вертикальной поверхности мало изменяется от времени года и составляет $8 \dots 12 \text{ МДж/ м}^2$ или $2,2 \dots 3,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ м}^2$ в день. Средняя облучённость горизонтальной поверхности для этой широты изменяется в более широких пределах от 5 МДж/ м^2 в декабре до 20 МДж/ м^2 в день в июне. Этого может быть достаточно для создания солнечных электростанций. (45° северной широты – это Крым, Север Италии, Центральная Франция).

Вопросы и задачи

1. Какова плотность солнечного излучения? Как оно распределено по участкам диапазона? Что такое направленное и рассеянное солнечное излучение?

2. От каких факторов зависит величина солнечной облученности горизонтальной площадки?

3. Назовите приборы для измерения солнечной энергии.

4. Оцените возможности использования солнечной энергии

5. Определите продолжительность светового дня (54° северной широты) 21 июня и 21 декабря и суммарную солнечную облученность в эти дни. Максимальная облучённость в июне $0,8 \text{ кВт/ м}^2$, в декабре- $0,2 \text{ кВт/ м}^2$. Количество солнечных дней в году (в основном с переменной облачностью) – не более $365/2$, индекс ясности $0,3 \dots 0,7$.

Ответ: 16,9 ч, 7ч, $8,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ м}^2$ в день, $0,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ м}^2$ в день.

6. Определите продолжительность светового дня 21 июня и 21 декабря и суммарную солнечную облученность на юге Египта для широты 23° (Асуан) в эти дни. Максимальная солнечная облученность $G_M = 0,9 \text{ кВт/ м}^2$. в течение всего года. Индекс ясности $k_T = 0,8$ в течение года. Количество солнечных дней в году – 365.

Ответ: 13,4 ч, 10,8ч, $8,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ м}^2$ в день, $7,7 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ м}^2$ в день

3.2. Солнечные нагревательные системы

Энергия Солнца используется для нагрева воды, воздуха, в дистилляторах, зерносушилках, для обогрева или охлаждения помещений.

Нагревание воды в солнечных нагревательных системах осуществляется приёмником, в котором происходит поглощение солнечного излучения и передача энергии жидкости. Рассмотрим некоторые типы нагревательных систем с плоскими приёмниками.

Простейший нагреватель воды – это открытый резервуар, расположенный на поверхности земли. Ёмкость с водой нагревается солнечным излучением. Повышение температуры ограничено передачей тепла земле, испарением воды, радиационными и конвективными потерями, а также низким коэффициентом поглощения воды ($\alpha \ll 1$). Нагревание можно улучшить, сделав теплоизоляционную подставку, закрыв резервуар, окрасив его в чёрный цвет и поместив его в контейнер с прозрачной для солнечного излучения стеклянной крышкой. Конструкция такого нагревателя приведена на рисунке 4. Здесь: 1- резервуар, 2- контейнер, 3- верхнее стекло, 4- теплоизоляция, 5- потери через дно, 6- радиационные потери, 7- конвективные потери.

Стеклянная крышка в 4 раза повышает сопротивление потерям тепла от нагретой воды. Нагреватель позволяет повышать температуру воды более, чем на 50°C.

Конструкция **металлического проточного нагревателя** приведена на рис.5. Здесь: 1- металлическая труба- змеевик на металлической теплопоглощающей плите, 2- контейнер, 3- верхнее стекло, 4- теплоизоляция.

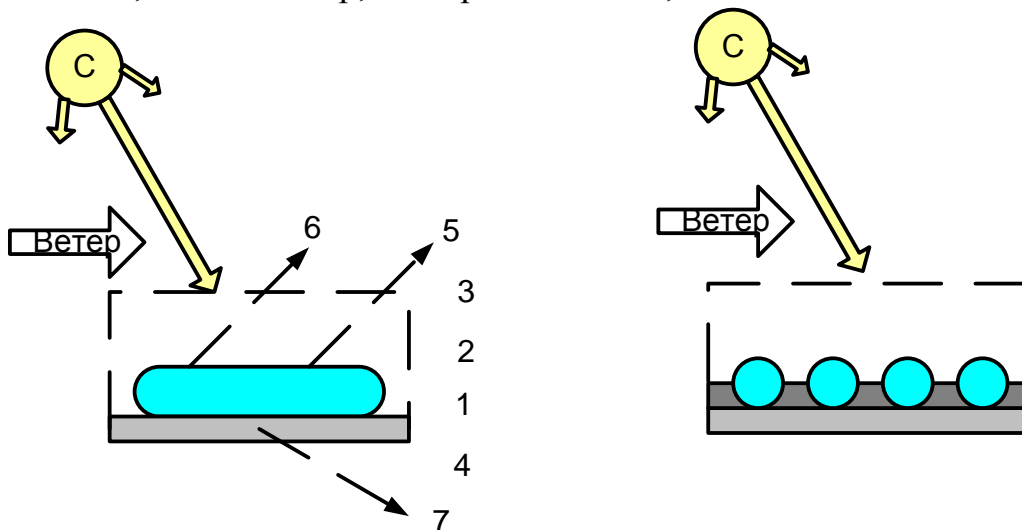


Рис.4. Простейший нагреватель воды

Рис. 5. Металлический проточный нагреватель

Система отопления с приемником в виде металлического проточного нагревателя 1 представлена на рис.6. Она содержит изолированный накопитель 5, насос принудительной циркуляции 2, автоматический регулятор 3, трубопровод 4.

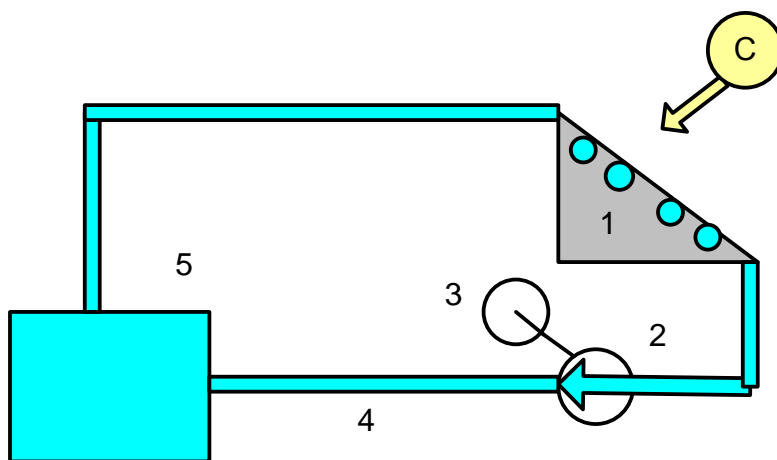


Рис. 6. Система отопления с металлическим проточным нагревателем

Селективные поверхности хорошо поглощают солнечные излучения в коротковолновом диапазоне и одновременно плохо излучают в длинноволновом диапазоне. Такими свойствами обладают полупроводники, но они хрупки, имеют низкую теплопроводность и дороги. Металлы прочны, хорошо проводят тепло, но хорошо отражают в видимой и инфракрасной областях спектра. Такие характеристики могут быть получены при использовании медной пластины, покрытой слоем окиси Cu_2O . Принцип действия селективных поверхностей показан на рис.7, где 1- слой двуокиси меди, 2- медная пластина.

Слой полупроводника Cu_2O хорошо поглощают солнечное коротковолновое излучение 3 (коэффициент поглощения для волн длиной 1мкм $\alpha_{\text{КВ}}=0,85$) и передаёт тепло металлу. Сам металл Cu слабо излучает в длинноволновом диапазоне 4 (коэффициент излучения при длине волны 10 мкм $\alpha_{\text{ДВ}}=0,1$).

Изготовление селективных поверхностей дорого. Дороже, чем простая чёрная окраска, поэтому их следует применять при рабочих температурах сотни градусов.

Вакууммированные приёмники, рис.8, применяются для повышения t° до 90...100°C. Для уменьшения конвективных потерь приёмник тепла, стеклянная трубка 1 с селективным покрытием, в которой протекает нагреваемая вода помещается внутри другой стеклянной трубки 2, а из пространства между трубками выкачивается воздух.

Приёмник тепла воспринимает направленное и рассеянное солнечное излучение.

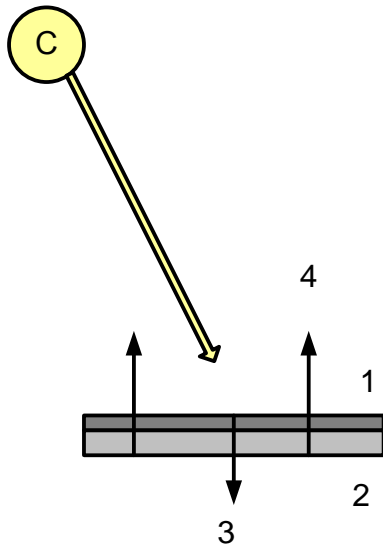


Рис.7. Селективные поверхности

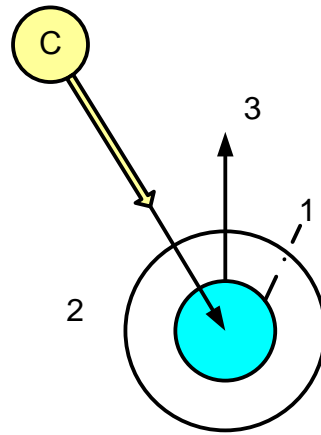


Рис.8. Вакууммированный приемник

Солнечные пруды, рис.9, могут быть использованы для нагрева большого объёма жидкости до $t^{\circ} \approx 100^{\circ}\text{C}$. В водоеме, вырытый в земле, заливается вода в три слоя. Верхние слои (пресная 3 и солёная 2 вода) играют роль теплозащитной крышки. Солнечное излучение поглощается дном водоёма и нагревает придонный слой очень солёной воды 1 толщиной около 0,5 м. Её плотность такова, что даже сильно нагретая, она тяжелее, чем вода в верхнем слое. Поэтому конвекция между слоями не происходит. Повышение температуры ограничивается тепловыми потерями солнечного излучения через верхние слои воды. Высокая теплоёмкость и термическое сопротивление воды позволяют сохранять тепло длительное время.

Солнечные отопительные системы могут быть пассивными и активными.

Пассивные солнечные отопительные системы содержат нагреватели воздуха, в которых энергия передаётся воздуху от поглощающей поверхности.

Для улучшения теплопередачи приёмную поверхность выполняют шероховатой, с канавками для увеличения площади и усиления турбулентности, необходимой для теплопередачи в воздухе.

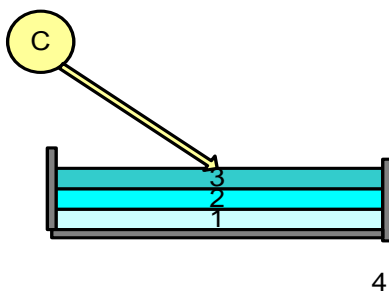


Рис.9. Солнечный пруд
отопительная система

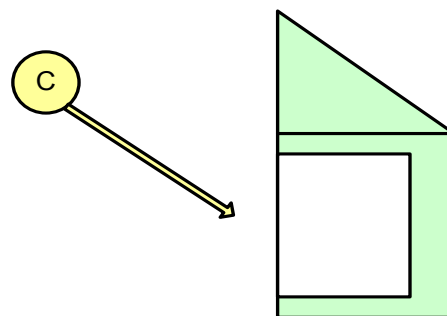


Рис.10. Пассивная солнечная

Активные солнечные системы используют внешние нагреватели воздуха или воды. Такие системы лучше контролируются и могут быть установлены на уже существующие здания. Использование водонагревательных систем требует наличия теплообменников, для воздушнонагревательных систем нужны воздухопроводы. Циркуляция теплоносителей осуществляется с помощью насосов, вентиляторов. Активные системы сложнее и дороже пассивных.

Охлаждение воздуха с использованием солнечной энергии осуществляется в **абсорбционных холодильниках**, рис.11.

В обычном компрессионном холодильнике рабочая жидкость испаряется в испарителе при пониженном давлении, создаваемом перед компрессором. При этом из охлаждаемого помещения отбирается тепло. Затем рабочая жидкость поступает в конденсатор, где конденсируется при повышенном давлении за компрессором и отдаёт тепло в окружающую среду.

В абсорбционном холодильнике это повышение давления создаётся разностью давлений паров рабочей жидкости над концентрированным раствором абсорбента (бромид-лития) в генераторе 1 и над разбавленным- в абсорбере 2. Солнечное тепло подводится к генератору и испаряет рабочую жидкость. При нагревании там повышается давление пара и становится равным давлению насыщения в конденсаторе. Пар по паропроводу 5 под давлением поступает в конденсатор 6 с разветвлённой теплоотдающей поверхностью. Там он конденсируется и отдаёт тепло, а затем по конденсат проводу 7 поступает в испаритель 8. В испарителе отбираемое тепло охлаждаемого помещения расходуется на нагрев воды и её испарение. Далее вода поступает в абсорбер. Она как бы втягивается туда – абсорбируется бромидом лития и частично растворяет его. Слабый более лёгкий раствор по трубке 3 поднимается в генератор, а концентрированный (выпаренный) раствор из генератора по трубке 4 переходит в абсорбер.

Обычные компрессионные холодильники для охлаждения пищевых продуктов могут получать питание от солнечных батарей, т.е. тоже использовать для охлаждения солнечное тепло.

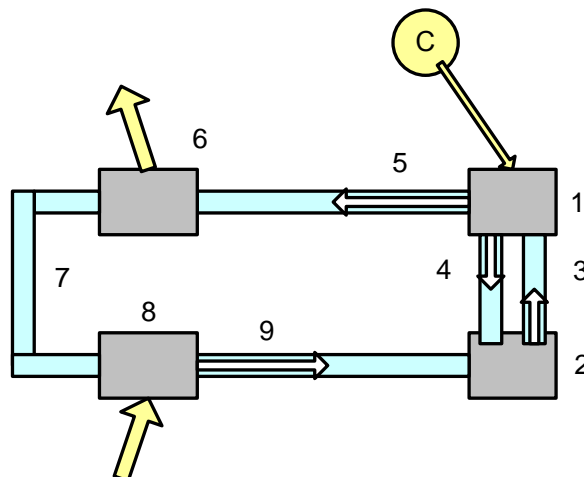


Рис.11.Функциональная схема абсорбционного холодильника.

Опреснение воды может быть осуществлено в простом солнечном дистилляторе – бассейне 1 с чёрными стенками и дном, заполненного водой и накрытого прозрачной паронепроницаемой крышкой 3, рис.12. Крышка наклонена к потоку излучения. Во время работы дистиллятора поток солнечной энергии проходит через крышку, нагревает воду, которая испаряется.

Водяной пар 2 вследствие тепловой конвекции поднимается вверх с нагретой поверхности и конденсируется на холодной крышке, а затем капли конденсата 4 скатываются по крышке в приёмный жёлоб 5.

Производительность такого опреснителя при потоке излучения $0,5 \text{ кВт/м}^2$ при удельной теплоте парообразования воды $2,4 \text{ МДж/кг}$ невелика и составляет около $8,3 \text{ л/м}^2$ в день.

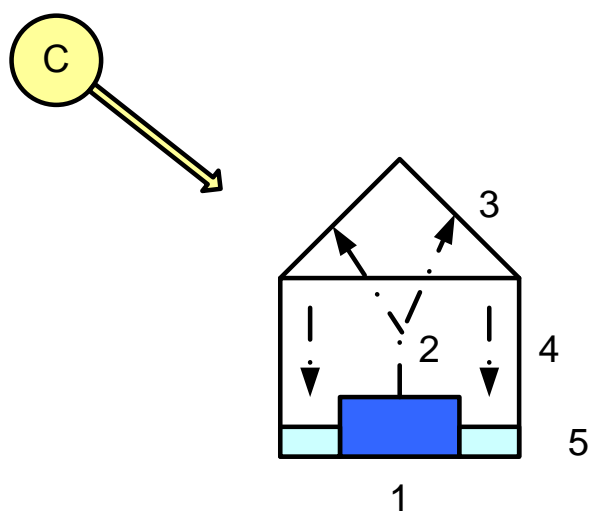


Рис.12.Функциональная схема солнечного дистиллятора

Вопросы и задачи

1. Поясните устройство нагревателя воды с плоским приемником. Какие меры принимаются для снижения потерь тепла?
2. Расскажите, как устроен металлический проточный нагреватель и нагревательная система с изолированным накопителем.
3. Что такое селективные поверхности? Как они действуют?
4. Поясните конструкцию и действие вакууммированных приемников.
5. Что собой представляет солнечный пруд? Для чего он может быть использован?
6. Как устроена пассивная солнечная отопительная система?
7. Как энергию солнца можно использовать для охлаждения помещений? Нарисуйте схему и поясните устройство абсорбционного холодильника.
8. Поясните устройство солнечного дистиллятора.
9. Определите расчетную площадь рабочей поверхности солнечного

проточного нагревателя, его номинальную мощность и годовую экономию электроэнергии (кВт.ч) на ферме, где для технологических целей используется электроэнергия для нагрева 500л воды в день от 10 до 60°C. Теплоемкость воды $c=1\frac{\text{ккал}}{\text{град}\cdot\text{кг}}$ и $1\text{ккал}=4,186\text{кДж}$. Среднее значение потока солнечного излучения составляет: летом 25МДж/м², зимой 5МДж/м² в день. Максимальная плотность солнечного излучения 0,8кВт/м², КПД использования солнечной энергии устройством 50%, количество солнечных дней в году 180, среднее значение индекса ясности для этих дней 0,5.

Ответ: 28м², 5,7 кВт, 5238,5кВт.ч.

10. Определите капитальные затраты на внедрение солнечного проточного водонагревателя п.5, годовой экономический эффект в рублях РБ и срок окупаемости. Стоимость устройства 250 долл./кВт установленной мощности. Тариф на электроэнергию 170 руб./кВт.ч.. Расчетный курс доллара 2180руб./долл.

Ответ: 3.1млн.руб., 0,89млн. руб., 3,5 года.

3.3. Солнечные системы для получения электроэнергии на основе термодинамического принципа

Термодинамический принцип преобразования солнечной энергии в электрическую используется в тепловом двигателе (турбине или двигателе внутреннего сгорания). Он состоит в циклическом изменении термодинамического состояния рабочего тела (например, воды-пара), которое перемещается между двумя источниками теплоты, «горячим» и «холодным». Солнечная энергия превращается в тепло в «горячем» источнике, солнечном парогенераторе, пар из которого поступает в турбину. В турбине энергия пара преобразуется в механическую энергию вращения электрического генератора. В генераторе происходит преобразование механической энергии в электрическую энергию. Отработанный пар отдает остаток тепловой энергии в «холодном» источнике- конденсаторе, превращаясь в конденсат, который затем опять поступает в солнечный парогенератор.

В качестве «горячего» источника используются: рассредоточенные коллекторы (концентраторы солнечной энергии) или сосредоточенные коллекторы башенного типа.

Параболоцилиндрические концентраторы солнечной энергии позволяют получать температуры 500...700°C, необходимые для привода в движение стандартного теплового двигателя.

Концентрирующий коллектор, рис.13, состоит из приёмника П, поглощающего излучение и преобразующего его в какой-либо другой вид энергии, и концентратора К в виде оптической системы, которая направляет поток солнечного излучения на приёмник.

Параболический линейный коллектор состоит из концентрирующего зеркала, поглотителя и экрана. Зеркало имеет длину \square , а поглотитель (приёмник) расположен вдоль его оси.

Коэффициент концентрации концентратора – это отношение площади его поверхности, обращённой к потоку излучения S_K к площади поверхности приёмника S_R

$$K_K = S_K / S_R$$

Для идеального концентратора коэффициент концентрации представляет собой отношение плотности потока на приёмнике к плотности потока на концентраторе. Его предельная величина ограничивается размерами источника лучей (Солнца) и его расстоянием до Земли и равна $K_K = (L / R_S)^2 = 45000$, где:

$R_S = 694500 \text{ км}$, -радиус Солнца, $D_E = 12780 \text{ км}$, $L = 1498 \cdot 10^5 \text{ км}$. диаметр Земли и расстояние от Земли до Солнца. Такой параболический линейный концентратор обеспечивает концентрацию энергии в одном направлении и его коэффициент концентрации меньше, чем для параболоида, но его одномерное расположение осуществить проще и проще следить за Солнцем в одном направле-

нии. Его ось располагается с Запада на Восток, а зеркало автоматически поворачивается вокруг оси, изменяя наклон за Солнцем. Экран уменьшает тепловые потери поглотителя, но закрывает его от прямого излучения. Приёмник теряет энергию только в направлениях, незащищённых экраном. Теоретически максимальная температура, достижимая в таком параболическом вогнутом концентраторе 1160 К.

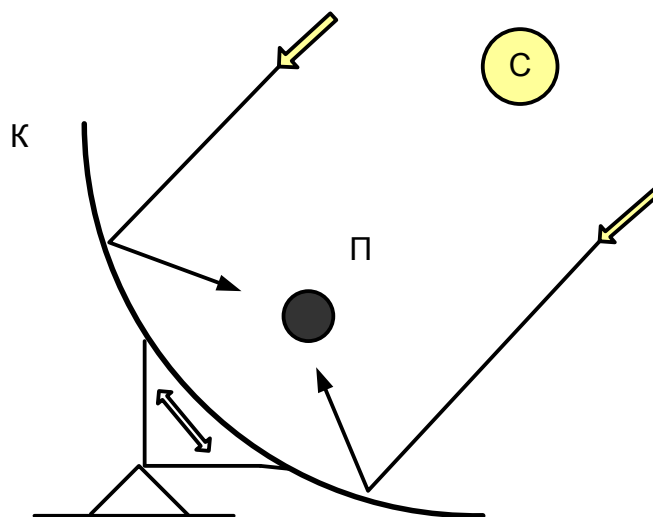


Рис.13. Параболический концентратор.

Практически достижимая температура 700°C из-за того, что реальные зеркала не являются строго параболическими, а полезное тепло выводится из приёмника путём прокачки рабочей жидкости. Солнечная система для получения электроэнергии осуществляется с использованием концентраторов солнечной энергии, позволяющих получить температуры 700°C и более, достаточные для работы теплового двигателя.

В параболическом объёмном концентраторе сферической формы (параболоид вращения) концентрация энергии происходит в двух направлениях. В этом случае применяется более сложная система слежения за Солнцем. Максимально достижимая температура приёмника при отклонениях профиля зеркала от параболы и неточностях слежения составляет 3000 К. Параболические объёмные концентраторы изготавливаются с диаметром до 30 м. Мощность такого устройства составляет около 700 кВт, что с учётом КПД преобразования тепла в механическую, а затем в электрическую мощность, позволяет получить электрическую мощность 100...200 кВт.

Более дешёвые концентраторы с низким коэффициентом концентрации, и даже не следящие за Солнцем, могут найти применение в солнечных энергоустановках, хотя при этом освещённость солнечных элементов будет не

Солнечная энергоустановка, использующая диссоциацию и синтез аммиака (NH_3) представлена, рис.15. В этой системе солнечные лучи фокусируются на приемнике П, в котором газообразный аммиак при высоком давлении разлагается на водород (H_2) и азот (N_2). Эта реакция эндотермическая.

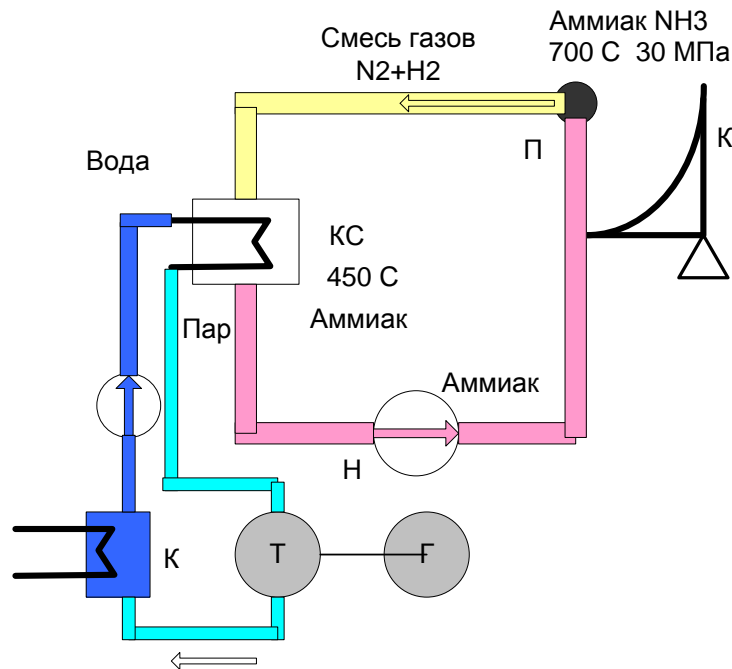


Рис.15. Тепловой двигатель с аммиаком в качестве рабочей жидкости

Недостаток энергии покрывается энергией солнечного излучения. Водород и азот далее направляются в камеру синтеза КС, где в присутствии катализатора происходит синтез аммиака и выделяется тепло, которое используется для подключения теплового двигателя. Выходящий из камеры синтеза аммиак охлаждается и сжижается.

Преимуществом такой системы является то, что почти отсутствуют потери энергии между коллектором и тепловым двигателем. Тепло может передаваться на большие расстояния или в течение длительного времени (например, после захода Солнца). Недостатки системы - наличие аммиака в системе с высоким давлением.

Концентрирующая нагревательная система с оптическим (линзовым) концентратором показана на рис.16.

Солнечный свет концентрируется на трубке и поглощается хорошо поглощающей селективной наружной поверхностью трубки. Жидкость в трубке нагревается до 500°С. Получаемый пар приводит в движение турбину, с кото-

рой связан генератор. Для получения такой температуры, при отношении коэффициента поглощения селективной поверхности к ее коэффициенту излучения $\alpha/\varepsilon \approx 10$ достаточно коэффициента концентрации $K_K = 10$, что технически легко осуществимо.

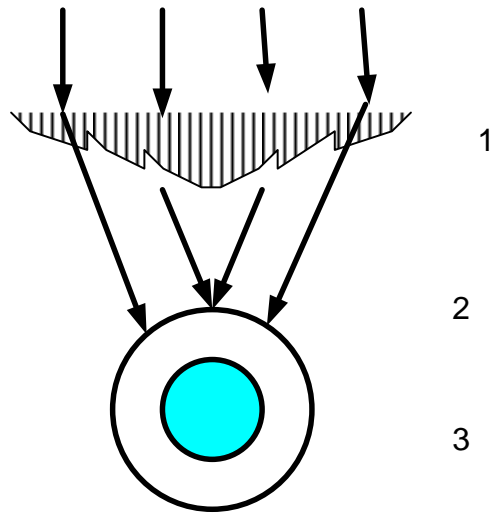


Рис.16. Схема концентратора с линзой Френеля

1- концентратор (линза Френеля), 2- трубки с селективно поглощающими поверхностями, вакуумом между ними, с отражающей поверхностью от внутреннего излучения, 3- жидкость.

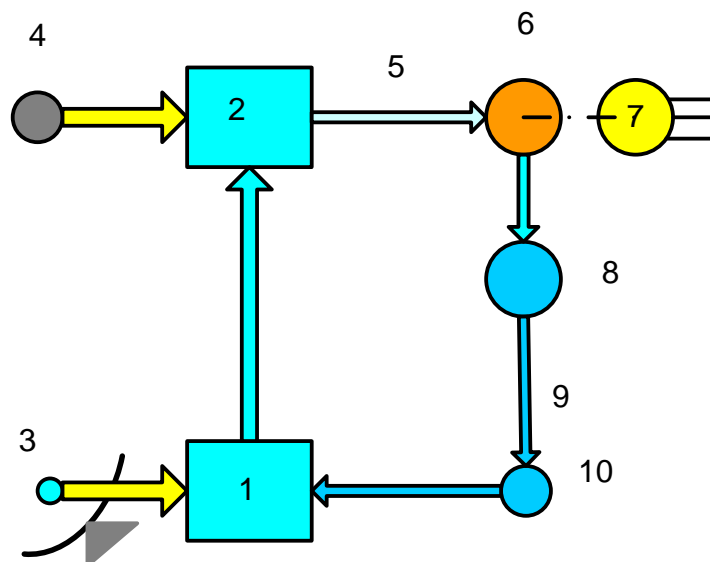


Рис.17. Схема теплового двигателя на двух источниках энергии с двумя парогенераторами .

При нерегулярной солнечной погоде возможна конструктивная схема теплового двигателя с двумя источниками нагрева (энергии)- с двумя парогенераторами с последовательным или параллельным соединением. Солнечный парогенератор ПГ1 может выполнять роль предварительного нагревателя. Основным должен быть парогенератор ПГ2, питаемый от котельной установки (КУ) за счет сжигания топлива.

Парогенератор ПГ1 получает энергию от преобразователя солнечной энергии. Он может быть выполнен на мощность 5...10% от мощности основного. Так, при мощности энергоблока электростанции 100 тыс. кВт мощность солнечной энергоустановки может составить 10 тыс. кВт и площадь преобразователя солнечной энергии

$$S = \frac{P_H}{G_M \cdot k_{TM} \cdot \eta} = \frac{10000}{0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,2} = 89286 \text{ м}^2$$

При диаметре зеркала 30 м потребовалось бы 13 концентраторов, которые можно разместить вблизи электростанции. Таким образом, можно обеспечить непрерывность работы энергоустановки, а в солнечную погоду экономить топливо.

Вопросы и задачи

1. Поясните, как устроен концентрирующий коллектор. Что такое коэффициент концентрации концентратора?
2. Параболический линейный концентратор и его характеристика. Параболоид вращения и его характеристики.
3. Поясните принцип работы солнечной системы для получения электроэнергии с использованием воды в качестве теплоносителя.
4. Поясните принцип работы солнечной системы для получения электроэнергии с использованием аммиака.
5. Определите коэффициент использования номинальной мощности и срок окупаемости солнечной энергоустановки для получения электроэнергии в условиях Беларуси. Значения суточной облученности 21 июня 8,6 кВт·ч/м² в день, 21 декабря 0,9 кВт·ч/м² в день, значения коэффициента ясности: наибольшее 0,7, среднее 0,5, количество солнечных дней (в том числе с переменной облачностью) 365/2, максимальное (расчетное) значение потока солнечного излучения 0,8 кВт/м². Капитальные затраты на строительство солнечной энергоустановки 1000 долларов на 1 кВт установленной мощности. Стоимость электроэнергии 0,078 доллара за 1 кВт·ч. Предложите вариант схемы теплового двигателя солнечной энергоустановки, который обеспечивал бы ее непрерывную работу при крайне нере-

гулярной солнечной погоде. Срок окупаемости солнечной энергоустановки по аналогии с ветроэнергетической установкой и коэффициент использования

$$T = \frac{C_K}{C_A \cdot 8760 \cdot k_i \cdot (1-z)},$$

$$k_i = \frac{W}{P_H \cdot 8760} = \frac{\sum_0^{365} H_i \cdot S \cdot K_{Ti} \cdot \eta}{G_M \cdot S \cdot K_{TM} \cdot \eta \cdot 8760} = \frac{\sum_0^{365} H_i \cdot K_{Ti}}{G_M \cdot K_{TM} \cdot 8760},$$

где H_i - ежедневное значение суточной облученности при ясной погоде в течение года, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \cdot \text{день}$, S - рабочая поверхность приемника, м^2 , η - КПД преобразования солнечной энергии в электрическую, K_{Ti} -ежедневное значение индекса ясности, K_{TM} – то же – максимальное значение, G_M - максимальное значение плотности потока солнечного излучения, $\text{кВт}/\text{м}^2$. Ответ: 0,086, 21,3года.

6. Определите коэффициент использования номинальной мощности и срок окупаемости солнечной энергоустановки для получения электроэнергии в условиях Египта. Значения расчетных показателей для климатических условий Египта: суточная облученность 21 июня $7,7 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в день, 21 декабря $6,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \cdot \text{день}$, коэффициент ясности в течение года 0,8, количество солнечных дней в году 365, максимальное значение потока солнечного излучения $0,9 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Капитальные затраты на строительство солнечной энергоустановки 1000 долларов на 1 кВт установленной мощности. Стоимость электроэнергии 0,078 доллара за 1 $\text{кВт}\cdot\text{ч}$. Срок окупаемости солнечной энергоустановки определите по аналогии с ветроэнергетической установкой.

Ответ: 0,32, 5,7 года.

3.4. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии осуществляется в фотоэлементах или солнечных элементах – полупроводниковых приборах, в которых происходит пространственное разделение положительных и отрицательных носителей заряда при поглощении полупроводником солнечного электромагнитного излучения.

Основная область применения фотоэлементов в настоящее время – искусственные спутники Земли, удалённые станции связи, морские маяки и др. Предполагается в будущем использование их в сельской местности в развивающихся странах с жарким климатом.

Фотоэлементы всё ещё остаются дорогими преобразователями. Стоимость фотоэлемента – порядка 4 долларов за 1 Вт максимальной установленной мощности, стоимость вспомогательного оборудования – 2 доллара за 1 Вт. Долговечность – 20 лет. При этих условиях стоимость выработанной энергии составляет 0,16 доллара за 1 кВт·час (при облучённости местности 5,5 кВт·ч/м² в день или приблизительно 0,5 кВт/м²).

Устройство и принцип действия фотоэлемента рассмотрим на примере самого распространённого в настоящее время фотоэлемента на основе кремния. Кремниевые фотоэлементы изготавливают путём диффузии фосфора из газовой среды в монокристалл кремния p-типа, получая тонкий слой с n-проводимостью, рис.18.

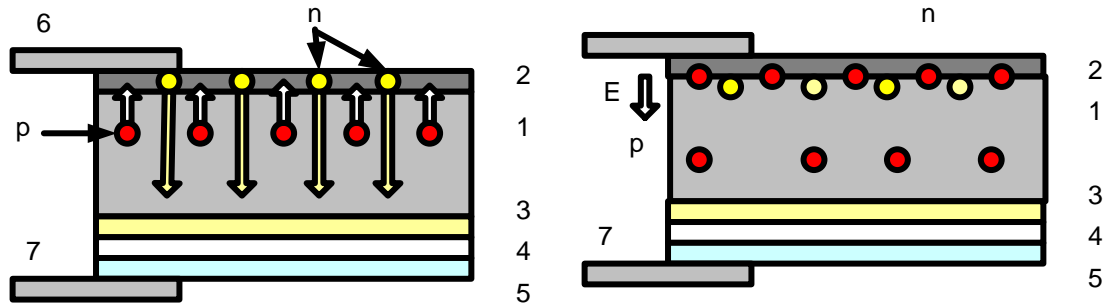


Рис. 18. Фотоэлемент. Принцип действия полупроводникового фотоэлемента.

Кристалл кремния толщиной 300-400 мкм с примесью бора, обладающий p-проводимостью с одной стороны подвергают химическому травлению, при котором формируется тонкий слой материала с проводимостью n-типа путем диффузии доноров (фосфора) в поверхностный слой. Кристалл для этого нагревается в вакуумной камере до 1000°C в атмосфере азота с добавкой хлористо-кислого фосфора.

Электрические контакты изготавливаются методом фотолитографии. Вначале для создания низкоомного контакта с кремнием испаряют и наносят титан 3, затем тонкий слой палладия 4, чтобы предупредить химическое вза-

имодействие титана с серебром, затем осаждают слой серебра 5 для получения токопроводящей сетки.

В процессе вакуумного испарения наносят противоотражательные слои – алюминиевое напыление. На него наносится электрический металлический контакт 6.

Итак, в кристалле полупроводника созданы 2 области – с *n*-проводимостью (электронная проводимость) и *p*-проводимостью (дырочная проводимость), рис.18. В *p*-области концентрация основных носителей тока, дырок, значительно превышает концентрацию неосновных носителей, электронов, а в *n*-области – наоборот. По обе стороны от границы раздела областей возникают неравные концентрации электронов и дырок. Это вызывает их диффузионное движение в сторону меньшей концентрации. Электроны, переходя в *p*-область, оставляют за собой положительно заряженные ионы, которые не могут принять участие в проводимости, так как жёстко связаны с кристаллической решёткой. Дырки, переходя в *n*-область, оставляют отрицательно заряженные ионы, которые также связаны с решёткой.

Электрическая нейтральность полупроводника нарушается. Между областями *p-n* возникает контактная разность потенциалов (запирающий слой) и электрическое поле, препятствующее диффузии электронов и дырок. Запирающий слой обеднён носителями и имеет пониженную электропроводность. Электрическое поле контакта препятствует диффузионному движению основных носителей, ускоряет движение неосновных носителей: дырок в *n*-области и электронов в *p*-области. Неосновные носители легко перемещаются через границу контакта, создавая дрейфовый ток, который по направлению противоположен диффузионному току основных носителей. По мере установления равновесия при контакте диффузионный ток уменьшается, а дрейфовый ток растёт, пока оба не уравниваются.

При облучении фотоэлемента световым потоком или при его нагревании в материале появляются дополнительные свободные носители. Под действием электрического поля *p-n* перехода они перемещаются через переход. Если замкнуть цепь, то по ней потечёт ток, пропорциональный световому потоку. Таким образом фотоэлемент сам является источником Э.Д.С.

Внутреннее поле кремниевого фотоэлемента создаёт разность потенциалов 0,5 В и допускает плотность тока до 200 А/м² при солнечном излучении 1кВт/м².

Вольт-амперная характеристика фотоэлемента

Таблица 1.

G, кВт/м ²	U, В	ΔI, А/м ²
1,0	0,5	200
0,8	0,5	160
0,6	0,5	120
0,4	0,5	80
0,2	0,5	40

К.П.Д. фотоэлемента равен $10\div 20\%$. Фотоэлементы соединяют последовательно, образуя модули, модули соединяются параллельно, образуя батареи. Обычно модуль состоит из 30-35 фотоэлементов. Такое соединение имеет недостатки. При выходе из строя одного из элементов или неравномерном освещении его, он переходит в режим диода с прямым или обратным смещением и может перегреться. Для предотвращения лавинного пробоя параллельно фотоэлементам устанавливают шунтирующие диоды. Фотоэлементы располагают в инертном наполнителе под прозрачной, герметичной, водонепроницаемой крышкой.

Основные технические требования к фотоэлементам:

- Исходный материал должен быть химически чистым с устойчивыми свойствами.
- Фотоэлементы должны серийно выпускаться и иметь минимальную стоимость.
- Срок службы должен быть не менее 20 лет в условиях воздействия окружающей среды при температурах от -30 до $+200^{\circ}\text{C}$. Электрические контакты должны быть стабильными и защищёнными от коррозии, влаги.
- Разрушение одного элемента не должно приводить к выходу из строя всей системы (параллельное, последовательное соединение, шунтирующие диоды).
- Сборные модули должны быть транспортабельны.

Фотоэлементы могут быть получены при контакте металла с полупроводником. Для этого металл осаждается в виде тонкой плёнки на основной материал и образуется *p-n* переход. Недостаток такой конструкции хорошее отражение от металлической поверхности и большие рекомбинационные потери в зоне перехода. При изготовлении такого фотоэлемента образуется тонкий слой окисла между металлом и полупроводником, который является изолятором. Так могут быть получены фотоэлементы с хорошими свойствами (металл-оксид-полупроводник или металл-диэлектрик-полупроводник). В качестве лицевой поверхности фотоэлемента может быть использован жидкий электролит. Это обеспечивает хороший электрический контакт, но отличается сложностью изготовления, низким К.П.Д. и быстрым загрязнением.

Некоторые органические материалы на основе углерода могут обладать полупроводниковыми свойствами. Сравнительная дешевизна материалов делает создание таких фотоэлементов перспективным, но на сегодняшний день их К.П.Д. очень низок (около 1 %).

Кроме кремния для производства фотоэлементов применяются арсенид галлия (*GaAs*) и сульфид кадмия (*CdS*). Фотоэлементы на основе арсенида галлия создают максимальную Э.Д.С. *p-n* перехода около 0,9 В при К.П.Д. до 12 %.

Фотоэлементы на основе сульфида кадмия могут быть изготовлены вакуумным напылением тонких плёнок соединений меди *p-n* переход легко раз-

рушается из-за диффузии ионов меди.

Для этих фотоэлементов Э.Д.С. равна 0,5 В, а К.П.Д. до 10 %.

Существуют конструкции вертикальных многопереходных элементов с последовательным или параллельным соединением переходов. В столбик последовательно или параллельно соединяют до 100 сходных переходов. Свет проникает через боковые поверхности переходов. Э.Д.С. на выходе представляет собой сумму Э.Д.С. отдельных элементов.

Широко используемые кремниевые элементы дороги из-за сложной технологии выращивания кристаллов, последующей их резки и обработки. Поэтому представляет интерес технология получения тонких плёнок кремния путём напыления парообразного кремния при температуре 2620°C.

Лицевая поверхность фотоэлемента выполняется, так чтобы отражённое от поверхности излучение возвращалось к ней обратно (текстурированные поверхности), рис.19.

Для более эффективного использования дорогого активного материала фотоэлементов применяют концентраторы, рис.20. Увеличение радиационного потока улучшает характеристики фотоэлемента, если температура поддерживается близкой к температуре окружающего воздуха (система охлаждения). Концентрация солнечного потока осуществляется с помощью линейных параболических отражателей, а также линз, зеркал, призм.

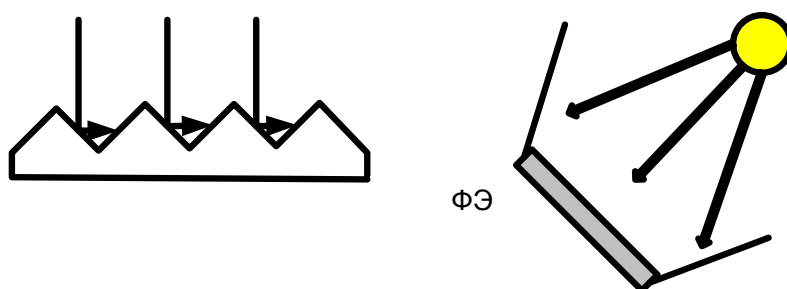


Рис.20. Концентратор солнечного излучения для фотоэлемента .

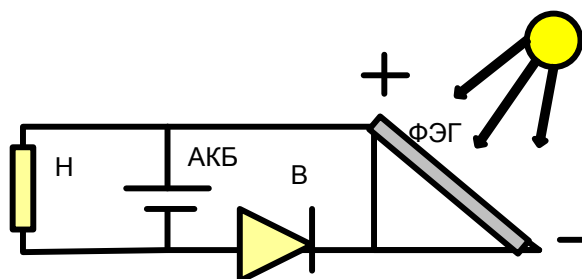


Рис.21. Электрическая схема зарядного устройства с использованием фотоэлектрического преобразователя (к примеру 1).

Для получения коэффициента концентрации менее 5 используют не следующие за Солнцем системы, которые используют энергию как прямого, так и рассеянного излучения.

Из других преобразователей солнечной энергии в электрическую энергию можно назвать:

- термоэлектрические устройства типа термопары, в которых Э.Д.С. возникает в цепи, состоящей из разнородных проводников, контакты между которыми имеют разную температуру,
- термоэлектрические генераторы при нагревании полупроводниковых переходов и др.

Энергетическая эффективность таких систем – невелика.

Крупнейшие солнечные электростанции:

- Кремер-Джанкшен-США-60.000кВт-1987г. - коллекторный приёмник.
- Деггет-США-45.000кВт-1985г. - коллекторный приёмник.
- Борреро-Спрингс-США-15.000кВт-1985г. - фотогальванические преобразователи.
- Солар-1-США-12.500кВт-1982г. - башенный преобразователь.
- Корриза-Плейн-США-6.500кВт-1984г. - фотогальванические преобразователи.
- Бет–Ха-аравах-Израиль-5.000кВт-1984г. - прудный приёмник.
- Крымская-Украина-5.000кВт-1986г. - башенный приёмник.

Вопросы и задачи.

1. Фотоэлектрический генератор с кремниевыми фотоэлементами в течении 8 часов в день питает нагрузку 1 кВт, 150 В и заряжает аккумуляторную батарею (АКБ). В течении ночи – от АКБ питается нагрузка и разряжает АКБ на половину её ёмкости. Полная ёмкость АКБ 60 Ампер·часов. Рассчитать генератор, найти его номинальную мощность, КПД, количество фотоэлементов, рабочую площадь.

Ответ: 1,56 кВт, 9,8%, 9000, 15,9м²

1. Расскажите, как устроен кремниевый фотоэлемент.
2. Поясните принцип действия фотоэлемента.
3. Назовите электрические характеристики фотоэлемента, ориентировочные цены на оборудование.
4. Перечислите технические требования к фотоэлементам.
5. Назовите и охарактеризуйте крупнейшие действующие солнечные электростанции.

4.0. БИОЭНЕРГЕТИКА. БИОМАССА КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

Биомасса – это органические соединения углерода. Энергия биомассы возникает в результате фотосинтеза под действием солнечного излучения, в процессе образования органических веществ и аккумуляции в них химической энергии.

Поток солнечной энергии, преобразуемый на Земле в результате фотосинтеза, составляет 250 кВт на человека, что эквивалентно 250000 крупных АЭС (по 6 млн. кВт каждая). Для сравнения – мощность электрических станций на планете составляет около 0,8кВт на человека.

В результате фотосинтеза образуются углеводы, содержащие углерод в соединениях с кислородом и водородом (например, глюкоза $C_6H_{12}O_6$ или сахароза $C_{12}H_{22}O_{11}$). В процессе соединения с кислородом при сгорании или гниении биомассы выделяется тепло. При сжигании биомассы в кислороде выход тепла составляет 16 МДж/кг или 4,4 кВт·час на 1 кг сухого веса.

Основными источниками биомассы являются:

- лесоразработки и отходы переработки древесины,
- сахарный тростник,
- зерновые и другие, продовольственные и технические культуры, продукция энергетического растениеводства,
- отходы животноводства (навоз),
- городские стоки, мусор (твердые бытовые отходы).

Переработка биомассы, связанная с извлечением энергии осуществляется термохимическими, биохимическими и агрохимическими способами. Термохимические способы – это прямое сжигание и пиролиз, биохимические – спиртовая ферментация и анаэробная переработка, агрохимические – экстракция топлив прямо от живых растений (например, получение каучука).

Сжигание биотоплива с получением тепла используется для приготовления пищи, обогрева жилищ, для сушки зерна, получения электроэнергии и т.д.

Приготовление пищи и сжигание топлива в традиционных, часто примитивных "устройствах" – неэффективно. Их К.П.Д. часто не превышает 5%. Велики потери из-за неполного сгорания, уноса тепла ветром, испарения из открытого котла и т. д. Процесс можно улучшить совершенствованием методов приготовления (например, паровые сковородки), уменьшением тепловых потерь (теплоизоляция печей, конструкция нагревателей), улучшением сгораемости топочных газов, применением простых и надёжных методов управления нагревателями. Применение древесного угля, принудительной подачи воздуха позволяет повысить эффективность плит и печей до 50%.

Другие направления по совершенствованию процесса сжигания биотоплива – это применение в качестве топлива печей биогаза, использование солнечных кухонь.

В этих процессах в качестве биотоплива широко применяется древесина. Древесину можно считать возобновляемым источником энергии только при условии, что скорость её прироста превышает скорость уничтожения.

Пиролиз (сухая перегонка) – это процессы нагрева или частичного сжигания органического сырья для получения производных топлив или химических соединений. Сырьём служит древесина, отходы биомассы, городской мусор, уголь. Продукты пиролиза – газы, смолы и масла, древесный уголь, зола. Разновидность пиролиза – газификация – предназначена для максимального получения газообразного топлива. Пиролиз осуществляется в газогенераторах. Схема газогенератора представлена на рисунке 22.

Газогенератор состоит из следующих элементов:

1- печь, куда подается и частично сжигается при недостатке воздуха 2 перерабатываемая биомасса,

3- газопровод,

4- выход древесного угля,

5-биогаз от других печей,

6-сепаратор,

7-производные жидкости и летучие соединения (эфир, фенолы, уксусная кислота, метанол и др.),

8-сушилка для сельскохозяйственной продукции,

9-обогрев помещений и приготовление пищи,

10-газгольдер,

11-крышка газгольдера,

12-трубопровод генераторного газа,

13-двигатель внутреннего сгорания,

14-электрический генератор.

Подаваемый материал предварительно сортируют для снижения негорючих примесей, подсушивают, измельчают. Температура в печи зависит от соотношения воздух – горючее. Проще всего управление установкой при температуре ниже 600°C. При более высоких температурах - сложнее управление, но увеличивается содержание водорода в вырабатываемом газе.

Перегонка идёт в 4 стадии:

•100-120°C подаваемый в газогенератор материал опускается вниз и освобождается от влаги;

• 275°C –отходящие газы в основном состоят из N₂, CO и CO₂; извлекается уксусная кислота и метанол;

•280-350°C –начинается реакция выделения летучих химических веществ таких, как эфиры, фенолы и др.;

•свыше 350 °C – выделяются все типы летучих соединений, одновременно с образованием углекислого и угарного газа происходит увеличение образования водорода и метана CH₄, часть углерода сохраняется в виде древесного угля, смешанного с золой.

Топливо, полученное при пиролизе более универсально, чем исходное, но уже имеет меньшую энергию сгорания. "**Универсальность**" топлива – это

более широкий диапазон устройств –потребителей, меньшее загрязнение среды, удобство транспортировки, лучшая управляемость горением. В результате переработки получают твёрдый остаток, жидкости, газы.

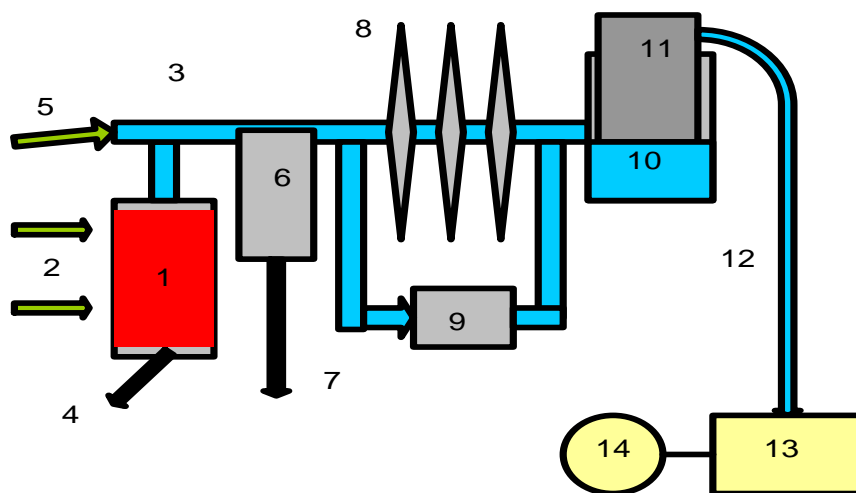


Рис.22. Схема газогенератора

Твёрдый остаток, древесный уголь, составляет 25-35% сухой биомассы. Он на 75-85% состоит из углерода, обладает теплотой сгорания 30 МДж/кг. Используется в качестве топлива с контролируемой чистотой, применяется в лаборатории, в промышленности, для выплавки стали (вместо кокса).

Жидкости – смолы, уксусная кислота, метанол, ацетон –30% от сухой биомассы. Они могут быть отделены или использованы вместе в качестве низкокачественного топлива с теплотой сгорания 22МДж/кг.

Газы – это древесный газ (синтетический газ, генераторный газ или водяной газ) – до 80% в газогенераторах. Газы состоят из азота, водорода, метана, углекислого газа и угарного газа. Они накапливаются в газгольдерах при давлении, близком к атмосферному (они не сжимаются). Используются в дизелях, карбюраторных двигателях.

Другие термохимические процессы: - гидрогенизация и каталитическая реакция между углеродом и окисью углерода.

Гидрогенизация – процесс нагревания измельчённой или переваренной биомассы до 600°С при давлении около 50 атм (5 МПа). Получаемые при этом горючие газы метан и этан дают при сжигании 6 МДж на 1 кг сухого сырья.

Гидрогенизация с применением СО и пара аналогична предыдущему процессу, но нагревание производится в атмосфере СО до 400°С. Извлекается синтетическая нефть, которую можно использовать как топливо.

Каталитическая реакция между H_2 и CO при $330^\circ C$ и давлении 15 МПа даёт метиловый спирт (метанол)-ядовитую жидкость, которую можно использовать в качестве заменителя бензина с теплотой сгорания 23 МДж/кг.

Спиртовая ферментация (брожение) используется для получения этилового спирта (этанол) – C_2H_5OH . Этиловый (*питьевой*) спирт образуется из сахаров особыми микроорганизмами, дрожжами, в кислой среде. При концентрации спирта 10% микроорганизмы погибают. Поэтому дальнейшее повышение концентрации получается перегонкой (дистилляцией). В результате получают смесь-95%спирта + 5% воды. При брожении теряется 0,5% энергетического потенциала сахара. Необходимую для перегонки тепловую энергию получают, сжигая отходы биомассы.

Этиловый спирт получают из сахарного тростника, сахарной свёклы, крахмала. При получении спирта из сахарного тростника вначале отделяют сок для получения сахарозы. Оставшуюся патоку с содержанием сахара до 55% брожения и перерабатывают в спирт. Реакция превращения сахарозы в этанол в присутствии дрожжей:



При получении спирта из сахарной свёклы вначале получают сахар для сбраживания; далее процесс аналогичен.

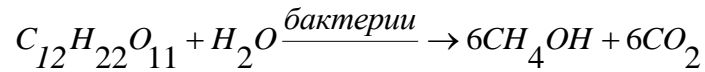
Для получения спирта из растительного крахмала, например, из злаковых, его предварительно подвергают гидролизу на сахар.

Крупные молекулы крахмала разрушаются ферментами солода, содержащимися, например, в ячмене или при обработке его сильными кислотами при повышенном давлении. Важный вторичный продукт сбраживания - отходы используются в качестве корма для скота и удобрений.

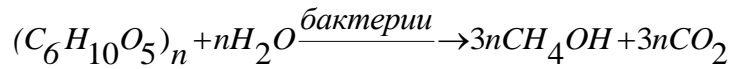
Этиловый спирт – хорошее жидкое топливо. Он используется в чистом виде (95%) при небольшой переделке карбюратора или в смеси с бензином 1:10 (газохол). Газохол сейчас обычное топливо в Бразилии. Применяется оно и в США. При применении газохола увеличивается на 20% мощность двигателей, снижается загрязнение атмосферы по сравнению с применением тетраэтилсвинца.

Получение биогаза путём анаэробного сбраживания. В естественных условиях биомасса разлагается на элементарные соединения в условиях сырости, тепла, темноты в присутствии кислорода под действием бактерий, называемых аэробными. С участием этих бактерий углерод биомассы окисляется до двуокиси углерода (углекислого газа).

В замкнутых объёмах с недостатком кислорода развиваются анаэробные бактерии, которые способствуют созданию углекислого газа и метана. В анаэробных условиях происходит процесс «сбраживания». «Биогаз» - это смесь метана и углекислого газа. Его получают в биогазогенераторах. Реакция превращения сахарозы в метан в присутствии бактерий:



Реакция превращения целлюлозы в метан:



Эти реакции экзотермические. В процессе их протекания выделяется 1 МДж тепла на 1кг сухой массы сбраживаемого материала. Этого, однако, недостаточно для необходимого повышения температуры массы.

Анаэробное сбраживание и получение биогаза с последующим его использованием в качестве качественного топлива выгоднее, чем простое высушивание и сжигание исходного материала, так как только удаление 95% влаги при сушке требует до 40 МДж тепла на 1кг сухого остатка. Теплота сгорания сухого навоза составляет 12...15 МДж/кг. Кроме того, после анаэробной переработки навоз может быть использован как удобрение.

Получение биогаза – экономически выгодно, если биогазогенератор работает на переработке существующего потока отходов - (стоки канализационных систем, свиноферм и др.) без их специального сбора, например, в замкнутом экологическом цикле агропромышленного комплекса.

Сбраживание в биогазогенераторе может происходить при температуре 20...30°C с участием психрофильных бактерий с циклом сбраживания 14 суток. При подогреве до 35°C в процессе участвуют мезофильные бактерии и процесс ускоряется до 7 суток. Для подогрева используется часть биогаза, получаемого в биогазогенераторе. При необходимости ускорения разложения биомассы без увеличения выхода биогаза массу подогревают до 55°C, что соответствует термофильному уровню анаэробных бактерий. В любом случае необходимо поддерживать в биогазогенераторе стабильные условия по температуре и подаче биомассы для выведения подходящих для данных условий популяций бактерий. В тропиках сбраживание ведётся при 20-30°C без дополнительного подогрева, с временным интервалом 14 дней. В средней полосе для сбраживания необходим дополнительный подогрев, например, с использованием части получаемого биогаза. При повышении температуры процесса до 35°C, скорость реакции в биогазогенераторе удваивается.

Процесс сбраживания идет в три стадии, которые обеспечиваются собственными для каждой стадии бактериями:

1 стадия- расщепление нерастворимых материалов (целлюлоза, жиры, полисахариды) на углеводы и жирные кислоты в течение 1 суток при 20...25°C,

2 стадия- образование уксусной и др. кислот в течение 1 суток,

3 стадия- образование метана, полное сбраживание массы с получением биогаза (70% метана и 30% углекислого газа) с примесью водорода и сероводорода в течение 14 суток.

Технологическая и электрическая схема биогазогенератора для условий умеренного климата для утилизации навоза животноводческого комплекса, использующего электроэнергию в качестве основного источника энергии представлена на рисунке 23.

В состав входит:

- 1- приемная емкость с мешалкой, куда поступает очищенный от соломы и других неактивных материалов навоз,
- 2- мешалка,
- 3- насос,
- 4- бак (metan tank) с мешалкой,
- 5- мешалка,
- 6- насос для перекачки навоза в баке с подогревом в зимнее время с помощью газового нагревателя,
- 7- газовый нагреватель,
- 8- насос для перекачки отработанного навоза в выходную емкость для отходов,
- 9- выходная емкость,
- 10- компрессор для перекачки получаемого биогаза в газгольдер,
- 11- водяной газгольдер,
- 12- двигатель внутреннего сгорания,
- 13- электрогенератор,
- 14- шины трансформаторной подстанции предприятия,
- 15- коммутирующие аппараты подстанции,
- 16- главный трансформатор подстанции предприятия,
- 17- приводные электродвигатели вытяжной и приточной вентиляции с калориферами для обогрева помещений, привода механизмов кормораздачи, скребков, а также лампы освещения.

Навоз помещают в накопитель, где он отделяется от несбраживаемых материалов. Далее масса медленно проходит через ёмкость, врытую в землю, где происходит сбраживание, а затем отработанная масса поступает в бак для отработанной массы, которая используется для удобрения. Давление газа в газгольдере создаётся тяжёлым металлическим газгольдером.

Теплота сгорания некоторых видов топлива:

- бензин 47 МДж/кг или $34 \cdot 10^{-3}$ МДж/л;
- этиловый спирт C_2H_5OH 30 МДж/кг или $25 \cdot 10^{-3}$ МДж/л;
- метан CH_4 55 МДж/кг или $38 \cdot 10^{-3}$ МДж/л;
- метанол CH_3OH 23 МДж/кг или $18 \cdot 10^{-3}$ МДж/л;
- биогаз (50% CH_4 и 50% CO_2) 28 МДж/кг или $20 \cdot 10^{-3}$ МДж/л;
- генераторный газ 5-10 МДж/кг или $(4-8) \cdot 10^{-3}$ МДж/л;
- древесный уголь (кусковой) 32 МДж/кг;
- коровий навоз 12 МДж/кг;
- древесина сухая 16 МДж/кг.

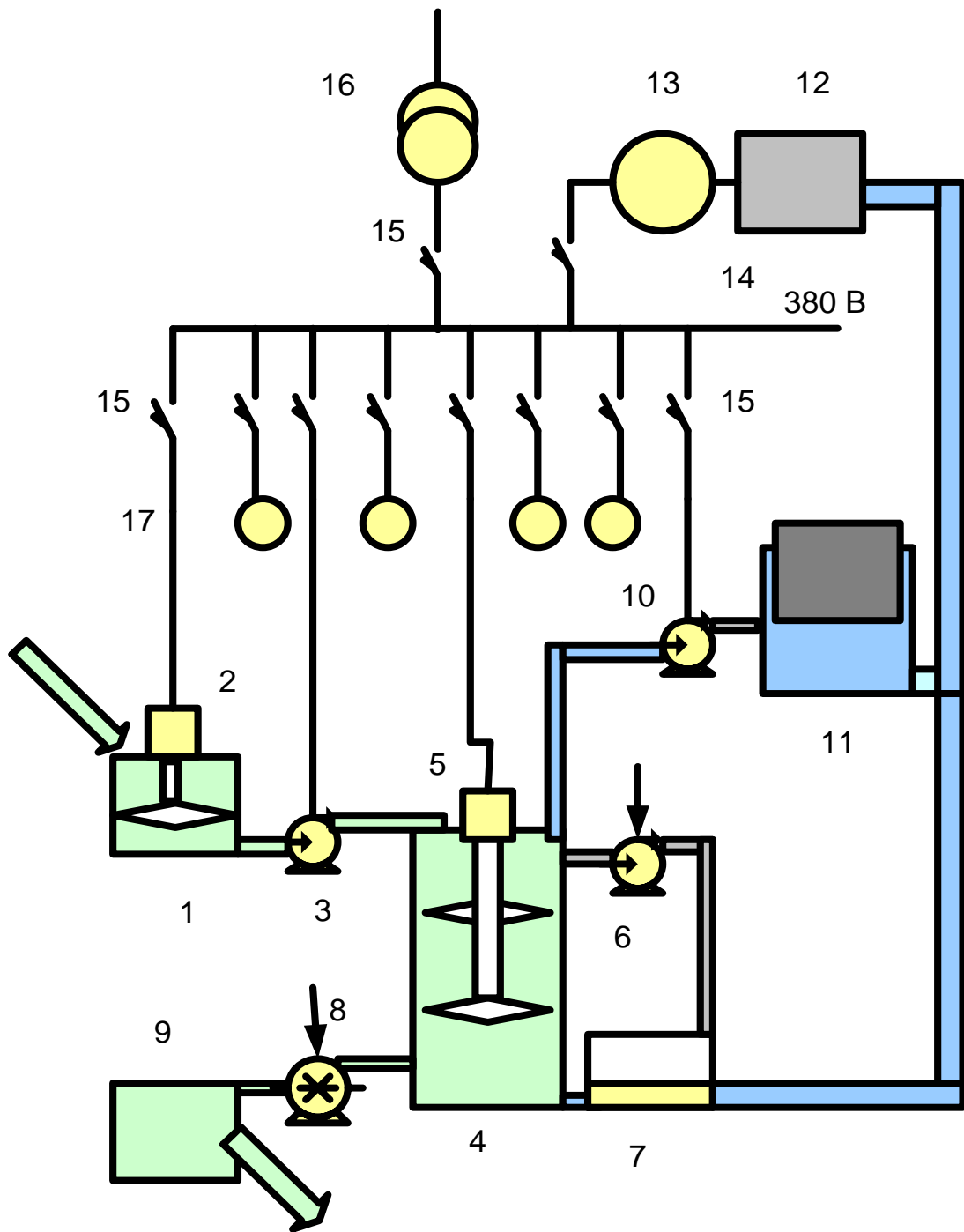


Рис.23. Схема биогазогенератора.

Вопросы и задачи

1. Пример. Оцените эффективность установки биогазогенератора и двигатель-генераторной установки для утилизации навоза на свиноферме на 1000 голов. Исходные данные: (1) содержание сухого сбраживаемого материала в навозе одного животного 0,2 кг за сутки, (2) время цикла сбраживания при температуре 20°C $t = 14$ суток, (3) суммарная теплотворная способность сухого навоза 12 МДж/кг, (4) суммарная теплотворная способность биогаза (50%-метан и 50%-углекислый газ) - $C_B = 20$ МДж/м³, (5) при полном сбраживании за 14 суток полный выход биогаза 0,5 м³ на 1 кг сухого материала, (6) КПД двигатель-генераторной установки $\eta = 30\%$.

Решение. Объем жидкой массы, проходящей через биогазогенератор ежедневно

$$V_J = \frac{m}{\rho} = \frac{0,2 \cdot 1000}{50} = 4 \text{ м}^3,$$

где: m – масса сухого материала в навозе животных за сутки,

$\rho = 50 \text{ кг/м}^3$ – содержание сухого материала в 1 м³ жижи.

• Объем биогазогенератора

$$V_G = V_J \cdot t = 4 \cdot 14 = 56 \text{ м}^3,$$

t – время цикла сбраживания, суток.

• Масса сухого материала в полном биогазогенераторе

$$G_C = m \cdot t = 0,2 \cdot 1000 \cdot 14 = 2800 \text{ кг}.$$

• Объем биогаза, выделяемого биогазогенератором за сутки

$$V_B = G \cdot c = 2800 \cdot 0,036 = 100,8 \text{ м}^3 / \text{сутки},$$

где c – выход биогаза из 1 кг сухого материала в сутки.

• Годовая выработка электроэнергии при использовании биогаза в двигатель-генераторной установке

$$W = \eta \cdot V_B \cdot C_B \cdot 365 = 0,3 \cdot 100,8 \cdot 20 \cdot 365 = 220752 \text{ МДж} = 61320 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

• Номинальная мощность двигатель-генератора

$$P_H = \frac{1,0 \cdot W}{365 \cdot 24} = \frac{1,0 \cdot 61320}{365 \cdot 24} = 7,0 \text{ кВт},$$

где 1,0 – коэффициент запаса.

2. По данным примера 1 определите:

• Расход электроэнергии на подогрев массы в биогазогенераторе в холодное время года (365/2 суток) в среднем от 5 до 20°C, полагая теплоемкость массы 1 ккал/кг.°C, плотность массы 900 кг/м³, 1 кВт.ч = 1 ккал/860,

• Расход электроэнергии двигателями насосов и мешалок биогазогенератора при их установленной мощности 20 кВт и коэффициенте использования 0,1,

• Годовую экономию электроэнергии,

- Капитальные затраты на установку при удельных затратах 2млн.руб.РБ за 1 кВт установленной мощности,

- Годовой экономический эффект, руб., без учета дополнительных эксплуатационных расходов при тарифе на электроэнергию для производственных потребителей 170руб./кВт.ч,

- Срок окупаемости без учета дополнительных эксплуатационных расходов.

Ответ: 11,5тыс.кВт.ч, 17,5тыс.кВт.ч, 32,3тыс.кВт.ч, 14,0млн.руб., 5,5млн.руб., 2,5 года.

3.Что такое биоэнергетика и каков энергетический потенциал биомассы?

4.Что такое фотосинтез и какой поток солнечной энергии преобразуется на Земле в результате фотосинтеза?

5.Назовите основные источники биомассы?

6.Назовите основные способы переработки биомассы?

7.Какова эффективность сжигания биотоплива? Как её можно повысить?

8.В чём заключается сущность пиролиза?

9.Порядок работы установки пиролиза.

10.В чём универсальность топлива получаемого при пиролизе?

11.Какие вещества получают при пиролизе?

12.В чём заключается процесс гидрогенизации?

13.Какой продукт получают в результате спиртовой ферментации?

14.В чём сущность процесса спиртовой ферментации?

15.В чём сущность анаэробного сбраживания?

16.Как работает установка для анаэробного сбраживания.

17.Какова эффективность анаэробной переработки навоза?

18.Оцените эффективность установки биогазогенератора и двигатель-генераторной установки для утилизации навоза на свиноферме на 1000 голов примера 1 при повышении температуры процесса до 35°C. Определите:

- Объем жидкой массы, проходящей через биогазогенератор ежедневно,

- Объем биогазогенератора,

- Массу сухого материала в полном биогазогенераторе,

- Объем биогаза, выделяемого биогазогенератором за сутки,

- Годовую выработку электроэнергии при использовании биогаза в двигатель-генераторной установке,

- Номинальную мощность двигатель-генератора,

- Расход электроэнергии на подогрев массы в биогазогенераторе в холодное время,

- Расход электроэнергии двигателями насосов и мешалок биогазогенератора при их установленной мощности 20кВт и коэффициенте использования 0,1,

- Годовую экономию электроэнергии,

- Капитальные затраты на установку,
- Годовой экономический эффект, руб.,
- Срок окупаемости.

Ответ: 4м^3 , 28м^3 , 1400кг, $100,8\text{м}^3/\text{сут.}$, 61,3тыс.кВт.ч, 7,0кВт, 22,9тыс.кВт.ч, 17,5тыс.кВт.ч, 20,9тыс.кВт.ч, 14,0млн.руб., 3,55млн.руб., 3,9 года.

19. Определите количество электроэнергии, которое можно получить за сутки при анаэробной переработке навоза одного крупного рогатого животного с использованием биогазогенератора и двигатель-генераторной установки, и круглосуточную мощность, если: (1) время цикла сбраживания 14 суток при температуре 20°C , (2) выход сухого навоза от 1 коровы 2,0 кг/сутки, (3) выход газа из сухой массы $0,6\text{ м}^3/\text{кг}$, (4) содержание метана в биогазе 52%, (5) К.П.Д. двигатель-генераторной установки 30%, (6) Теплота сгорания метана 55 МДж/кг или $38 \cdot 10^{-3}\text{ МДж/л}$ при 15°C .

Ответ: 2,0кВт.ч, 0,083кВт.

20. Определите условное годовое количество электроэнергии, которое можно получить при анаэробной переработке навоза в регионе с поголовьем крупного рогатого скота 2,5 млн. голов при коэффициенте использования номинальной мощности генерирующего оборудования, равном 0,26.

Ответ: 474,5млн.кВт.ч.

21. Оцените электроэнергетический потенциал биомассы в Беларуси при КПД преобразования энергии топлива 30%, если 1 тыс. кВт. ч эквивалентна 0,28 т.у.т. Потенциал биомассы: (1) отходы лесоразработок и отходы переработки древесины при годовом объеме заготовок древесины 10 млн. м^3 составляют 1,5млн. т.у.т. в год, (2) отходы производства зерновых и других, продовольственных и технических культур, энергетическое растениеводство - 0,8млн. (3) т.у.т. отходы животноводства - 1млн. т.у.т. (4) городские стоки, мусор - 0,7млн. т.у.т.

Ответ: 4,29 млрд. кВт. ч.

22. Сельское хозяйство Беларуси потребляет 2,5 млрд. кВт. ч электроэнергии в год, что составляет 7,3% всего электропотребления республики. Определите, какую часть электропотребления страны можно покрыть за счет использования энергии биомассы.

Ответ: 12,5%

5.0. ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

Внутренняя структура Земли показана на рис.24. Она содержит: 1- раскалённое внутреннее ядро, 2- наружное ядро, 3- мантию и 4- тонкую толщиной 30 км кору Земли.

Земная кора получает тепло от раскалённого до 4000°C ядра, где происходят ядерные и химические реакции с выделением огромного количества тепла. Разность температур между внешней и внутренней поверхностями коры около 1000°C . Кора состоит из твёрдых пород и имеет невысокую теплопроводность. Геотермальный поток q через неё в среднем $0,06\text{Вт}/\text{м}^2$ при температурном градиенте $30^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Выход тепла через твёрдые породы суши и океанского дна происходит за счёт теплопроводности (геотермальное тепло) и в виде конвективных потоков расплавленной магмы или горячей воды.

В районах с повышенными градиентами температуры эти потоки составляют $10\text{-}20\text{Вт}/\text{м}^2$ и там могут быть созданы геотермальные энергетические (электрические) станции (Гео ТЭС).

Температурный градиент повышается в зонах с плохо проводящими тепло или насыщенными водой породами. Особенно высокое тепловое взаимодействие мантии с корой наблюдается по границам материковых платформ. В этих районах велик потенциал геотермальной энергии. Градиент температуры достигает $100^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Это районы с повышенной сейсмичностью, с вулканами, гейзерами, горячими ключами. Такими районами являются: Камчатка в России, Калифорния (Сакраменто) в США, а также зоны в Новой Зеландии, Италии, Мексике, Японии, Филиппинах, Сальвадоре, Исландии и других странах.

Сведения о геотермальных структурах получают при геологической съёмке, проходке шахт, скважин (при глубоком бурении – 6 км и более). Технология бурения скважин до 15 км остаётся такой же как и до 6 км, поэтому при строительстве Гео ТЭС эта проблема может считаться решённой.

Геотермальные районы подразделяют на 3 класса:

- гипертермальные с температурным градиентом более $80^{\circ}\text{C}/\text{км}$ - расположены в зонах вблизи границ континентальных платформ – Тоскана в Италии;
- полутермальные $40\div 80^{\circ}\text{C}/\text{км}$ – расположены вдали от границ платформ, но связаны с аномалиями, например, глубокими естественными водоносными пластами или раздробленными сухими породами – район Парижа;
- нормальные – менее $40^{\circ}\text{C}/\text{км}$, где тепловые потоки составляют $0,06\text{Вт}/\text{м}^2$. В этих районах извлечение геотермального тепла – пока нецелесообразно.

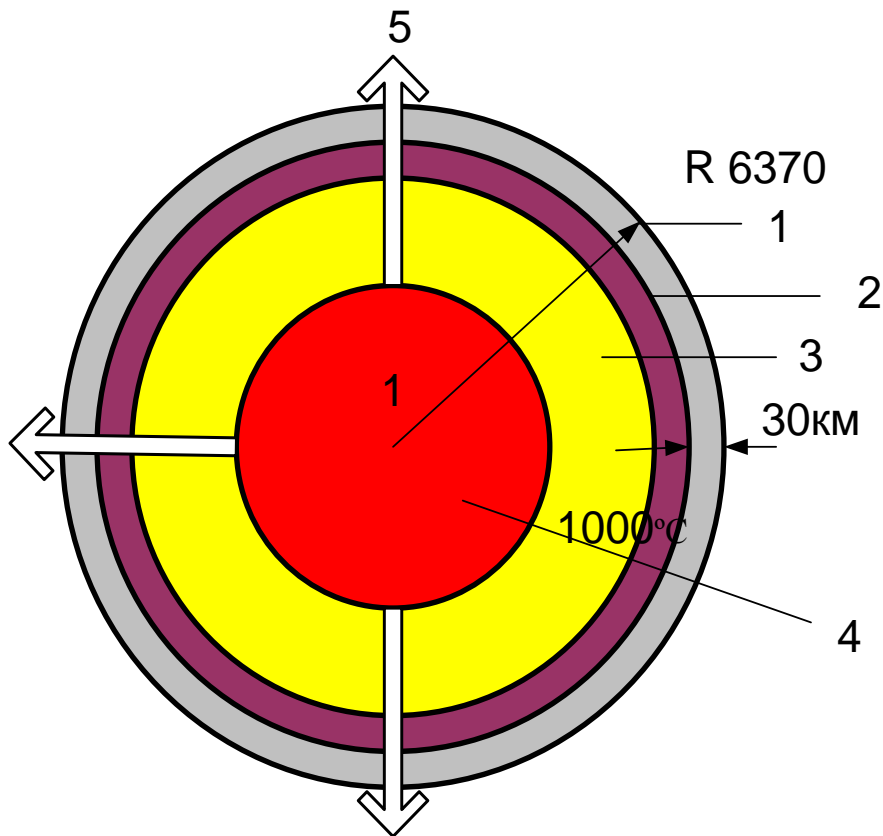


Рис.24. Внутренняя структура Земли и поток геотермальной энергии

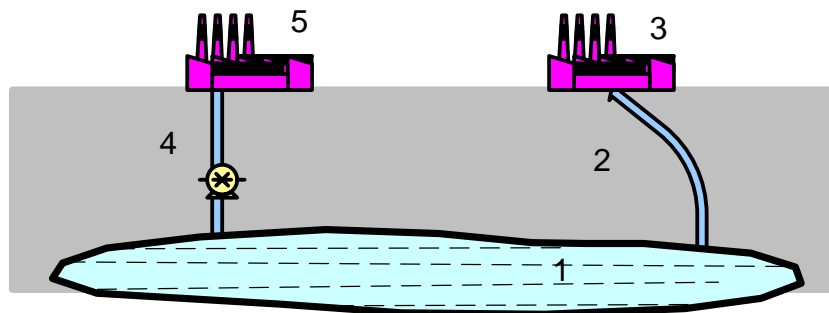


Рис.25. Использование потока геотермальной энергии

Тепло получается благодаря: (1) естественной гидротермальной циркуляции, при которой вода проникает в глубокие слои, нагревается, превращается в сухой пар, пароводяную смесь или просто нагревается и образует гейзеры, горячие источники, (2) искусственному перегреву, связанному с охлаждением застывающей лавы, (3) охлаждению сухих скальных пород. Сухие скальные породы в течении миллионов лет накапливали тепло. Отбор тепла от них возможен прокачкой воды через искусственно созданные разрывы, скважины и др.

Созданные Гео ТЭС работают на естественной гидротермальной циркуляции, а также на искусственном перегреве за счёт извлечения тепла из сухих скальных пород.

Геотермальная энергия обладает низкими термодинамическими свойствами. Это энергия низкого качества (35%) и низкой плотности ($0,06 \text{ Вт/м}^2$), с низкой температурой теплоносителя. Наилучший способ её использования – комбинированное применение для обогрева и выработки электроэнергии. При потребности в тепле с температурой до 100°C целесообразно её использовать только для обогрева, если температура теплоносителя ниже 150°C . При температуре теплоносителя 300°C и выше целесообразно её комбинированное использование. Тепло целесообразно использовать вблизи места добычи, для обогрева жилищ и промышленных зданий, особенно в зонах холодного климата. Такие геотермальные системы используются, например, в Исландии. Тепло также используется для обогрева теплиц, сушки пищевых продуктов и т.д. Применение геотермальной энергии определяется капитальными затратами на сооружение скважин. Их стоимость экспоненциально возрастает с увеличением глубины бурения.

Общее количество тепла, извлекаемого от теплоносителя, может быть увеличено за счёт повторной закачки в скважины, тем более, что нежелательно оставлять на поверхности эти сильно минерализованные воды по экологическим причинам. Геотермальные энергостанции располагаются в гипертермальных районах, рис.25, вблизи естественных гейзеров и пароводяных источников 1 с температурой воды и пара $200 \dots 280^\circ\text{C}$ и используют естественные выходы тепла 2 (энергостанция 3) и специально пробуренные скважины 4 (энергостанция 5).

Схема извлечения тепла из сухих горных пород включает нагнетательную 1 и водозаборную 2 скважины, рис.26. Скала на глубине 5-7 км дробится гидровзрывом с помощью холодной воды, нагнетаемой под давлением в скважину. После предварительного дробления пород вода нагнетается через нагнетательную скважину, фильтруется через скальные породы на глубине 5 км при $t^\circ=250^\circ\text{C}$, тёплая вода возвращается на поверхность через водозаборную скважину.

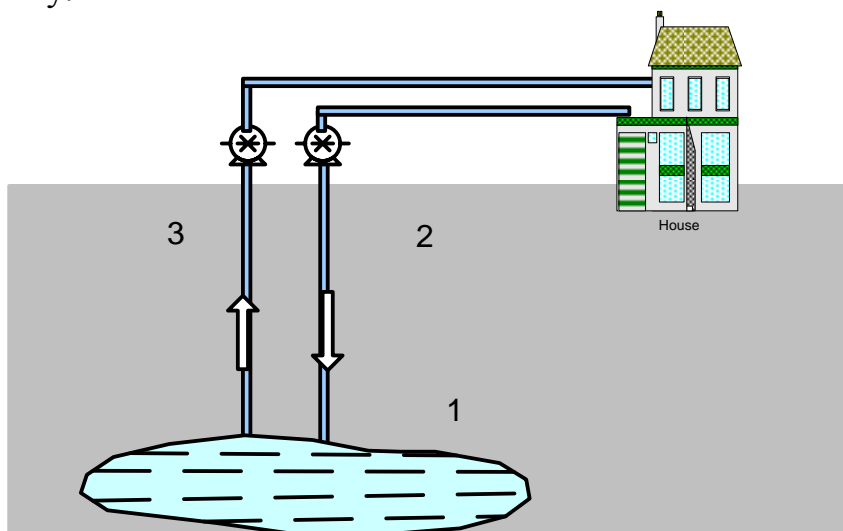


Рис.26. Схема извлечения тепла из сухих горных пород

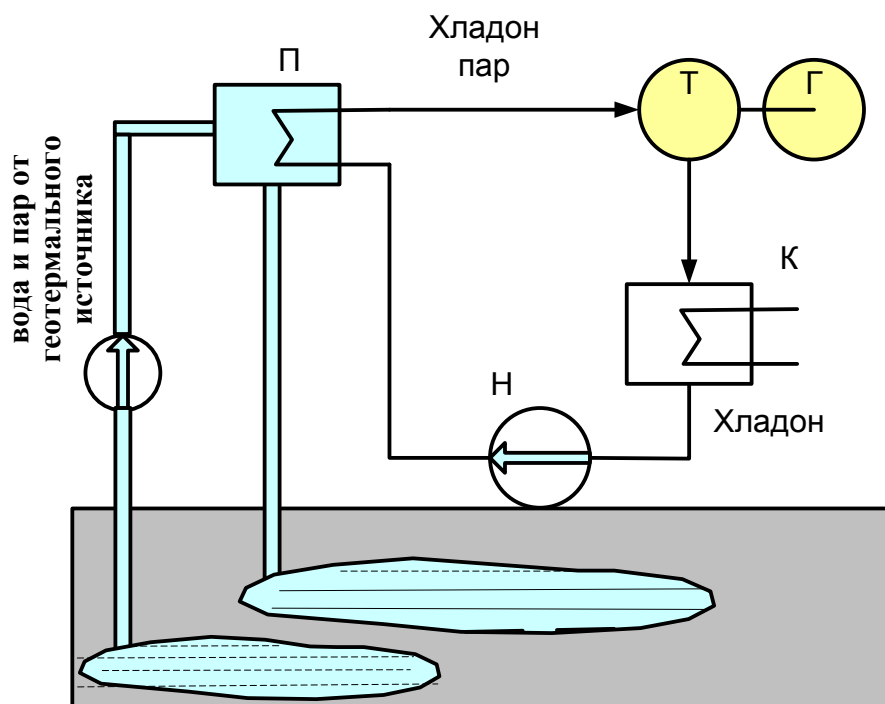


Рис.26. Использование геотермальной энергии для производства электроэнергии в тепловом двигателе с одним рабочим телом (с водой или фреоном)

Использование геотермальной энергии для производства электроэнергии может быть произведено по различным схемам:

- Турбинный цикл с одним рабочим телом с водой или хладоном показан на рис.26, где: П- теплообменник (парогенератор), где геотермальное тепло передается хладону, нагревает и испаряет его, Т- турбина, Г- генератор, К- конденсатор, Н- насос. При использовании низкотемпературного геотермального источника для приведения в действие турбины вместо воды применяют жидкости с более низкой температурой парообразования, например, хладон или аммиак. Особые трудности возникают с теплообменниками из-за высокой концентрации химических веществ в воде из скважин.

- Схема прямого парового цикла, рис.27, содержит: пароводяной сепаратор- ПС, редуктор- Р, Т- турбину, Г-генератор, К- конденсатор, Н- насос. Вода с паром от геотермального источника подается в пароводяной сепаратор, где пар отделяется от воды и поступает в турбину. Вода возвращается под землю. Отработанный в турбине пар конденсируется, и конденсат также закачивается под землю.

Крупнейшие геотермальные электростанции:

Гейзеры - США - 1.596.000 кВт - 22агрегата - 1985г. постройки;

Серро-Прието - Мексика - 620.000 кВт - 9агрегатов - 1987г. постройки;

- Тиви - Филиппины - 330.000 кВт – 6 агрегатов - 1982г. постройки;
- Макилинг-Банахао - Филиппины - 330.000 кВт – 6 агрегатов - 1984г. постройки;
- Ларделло - Италия - 185.000 кВт – 11 агрегатов - 1949г. постройки;
- Уайракей - Новая Зеландия - 140.000 кВт – 8 агрегатов - 1978г. постройки;
- Камоджанг – Индонезия - 140.000 кВт-3агрегата-1988г. постройки;
- Паужетская-Камчатка – Россия - 11.000 кВт - 3 агрегата - 1980г. постройки;
- Капитальные затраты на строительство Гео ТЭС в настоящее время сравнимы с затратами на АЭС и составляют 1500-2500\$ на 1 кВт установленной мощности.

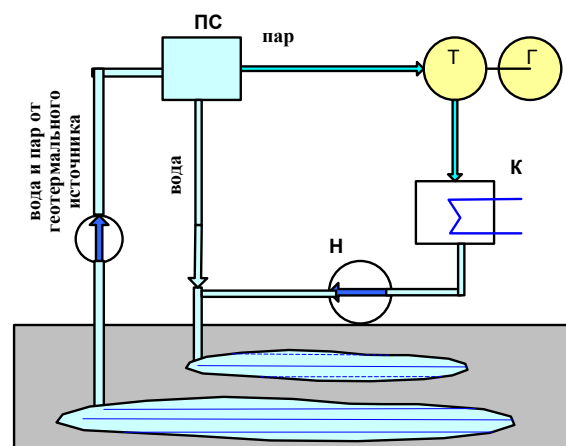


Рис.27. Использование геотермальной энергии для производства электроэнергии в прямом паровом цикле.

Вопросы

1. Расскажите о внутреннем строении Земли. Каковы размеры и температуры коры, мантии, наружного и внутреннего ядра?
2. Каковы источники геотермальной энергии и какова плотность её потока в среднем и в районах с повышенным потоком?
3. Назовите районы с повышенным потоком геотермальной энергии.
4. Как подразделяют геотермальные районы по величине температурного градиента.
5. Как и где целесообразно использовать геотермальную энергию?
6. Как используется геотермальная энергия для производства электроэнергии? Опишите прямой паровой цикл теплового двигателя с одним рабочим телом.
7. Опишите турбинный цикл теплового двигателя с одним рабочим телом с водой или хладоном
8. Назовите крупнейшие геотермальные электростанции?

6.0. ЭНЕРГИЯ ОКЕАНОВ

Энергия океанов – это энергия волн, энергия приливов и тепловая энергия воды.

Энергия волн

Мощность, переносимая волнами на глубокой воде, пропорциональна квадрату их амплитуды и периоду. Длиннопериодные волны ($T \approx 10$ с) с большой амплитудой ($A \approx 2$ м) позволяют снимать с единицы длины гребня до 50 кВт/м.

Проекты использования энергии волн разрабатываются в Японии, Великобритании, в Скандинавских странах. Разрабатываются объекты с единичными модулями 1000 кВт с длиной вдоль фронта волны около 50 м. Такие установки могут быть конкурентоспособны с дизель-генераторами при электроснабжении удаленных посёлков на островах.

Сложности создания волновых энергоустановок обусловлены нерегулярностью волн по амплитуде, частоте, направлению, возможностью 100-кратных перегрузок при штормах и ураганах, расположением на глубокой воде, вдали от берега, сложностью согласования низкой частоты волн (0,1 Гц) и высокой частоты электрического генератора (50 Гц).

Волновая энергоустановка 1, использующая колеблющийся водяной столб, рис.5.1, размещается на грунте. Она состоит из нижней вертикальной камеры 2, сообщающейся с морем и имеющей два отверстия с клапанами 4 и 7, и воздушной камеры 3 с двумя отверстиями с клапанами 5 и 6, с диффузором и турбиной 8, соединенной валом с электрическим генератором 9.

При набегании волны на частично погруженную полость, открытую под водой, столб воды в полости колеблется, и изменяет давление воздуха над жидкостью. С помощью клапанов воздушный поток регулируется так, что проходит через турбину в одном направлении. При набегании волны воздушный поток из нижней камеры под давлением проходит через клапан 4 в верхнюю камеру, через диффузор, приводит во вращение турбину и выходит наружу через клапан 5. При сбегании волны клапаны 4 и 5 закрыты. Под действием разрежения, возникающего в нижней камере, воздух засасывается снаружи в верхнюю камеру, проходит через диффузор в прежнем направлении и через клапан 7 проходит в нижнюю камеру. На этом принципе действуют энергоустановки, внедрённые в Японии, Великобритании, Норвегии (500 кВт).

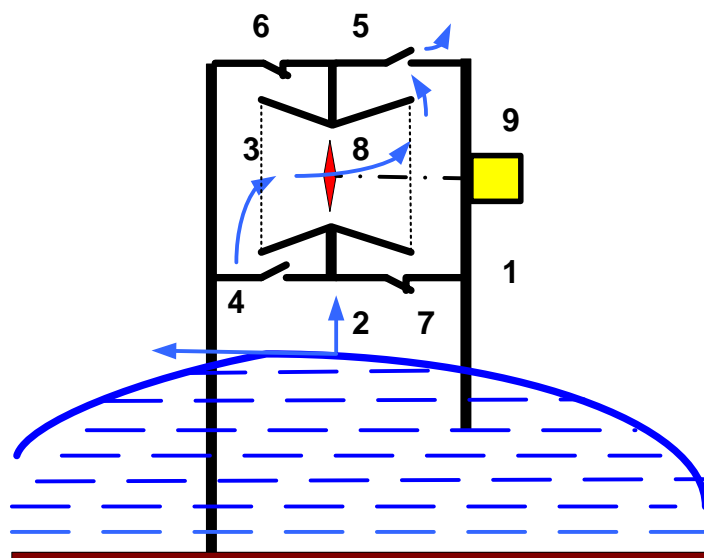


Рис.28. Волновая энергоустановка

Возможны другие конструкции энергоустановок, например, подводное устройство, которое состоит из плавучего корпуса – поплавка, закреплённого под водой на опорах, установленных на грунте. Под воздействием подповерхностного движения вод он совершает колебательные движения, которые преобразуются в движение поршневого насоса. Жидкость подаётся на генераторную станцию по трубопроводам.

Энергия приливов

Приливные колебания уровня в океанах происходят периодически: суточные с периодом 24 часа 50 минут и полусуточные с периодом 12 часов 25 минут. Разность уровней самого высокого и самого низкого – это высота прилива. Она колеблется от 0,5 до 10-11 метров. Во время приливов и отливов возникают приливные течения, скорость которых в проливах между островами достигает 4-5 м/с. Причиной возникновения приливов является гравитационное взаимодействие Земли 1 с Луной 2 и Солнцем, рис.29. Гравитационные же силы удерживают воду на поверхности вращающейся Земли. Плоскость вращения Луны относительно Земли имеет наклон относительно плоскости эклиптики (в которой Земля вращается относительно Солнца) и дважды в течение солнечных суток Луна проходит через экваториальную плоскость.

Если Луна находится в экваториальной плоскости Земли, океанские воды вытягиваются в пики 3 в точках – максимально приближенной и удаленной от Луны. В ближайшей к луне точке действует увеличенная сила лунного притяжения и уменьшенная центробежная сила, в наиболее удаленной точке – уменьшенная сила лунного притяжения и увеличенная центробежная сила.

Это полусуточные приливы. Они наблюдаются в любой точке два раза в сутки. Обычно Луна не находится в экваториальной плоскости Земли. Поэто-

му приливы в этой точке возникают также 1 раз в сутки. Это суточные приливы.

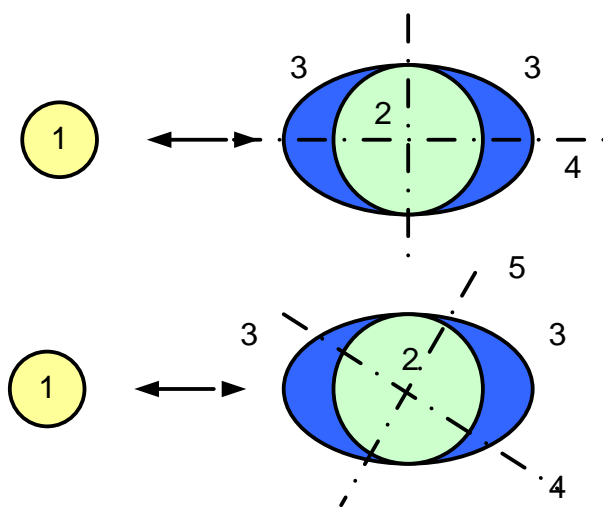


Рис.29. Возникновение приливов

На величину возникающих приливов оказывает влияние меняющееся расстояние между Лунной и Землей, совпадение или несовпадение Лунных и Солнечных приливов, место, в котором наблюдается прилив, открытый океан или вблизи побережья, в устьях рек и прочие.

Приливная электростанция (ПЭС) может быть расположена непосредственно в приливном течении, рис.30.

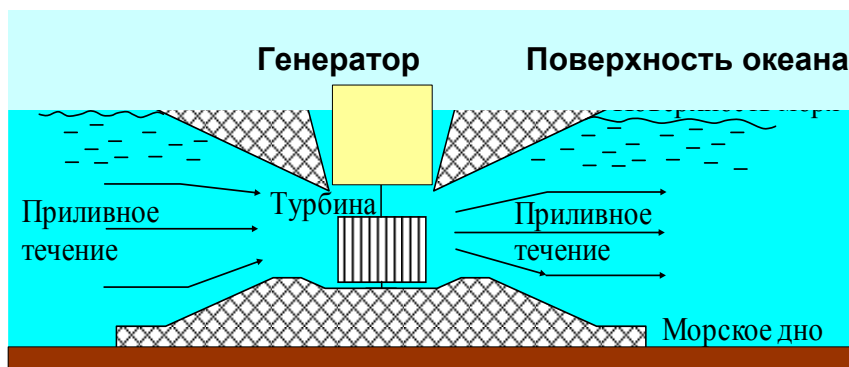


Рис.30. Приливная энергоустановка

Другой вариант расположения ПЭС – бассейн, отделённый от океана дамбой или плотиной. Во время прилива вода в бассейне поднимается на максимальную высоту. При отливе масса воды пропускается через турбину, вырабатывая электроэнергию.

Развитие приливной энергетики возможно в местах с большими высотами приливов и большими потенциалами приливной энергии, например, на побережье Северной Америки (9...11м), в западной Африке 5м, на побережье Белого, Баренцева морей, во Франции (Бретань), Великобритании (Северн),

Ирландии, Австралии. Приливные энергоустановки характеризуются большими капитальными затратами. Капитальные затраты на строительство ПЭС могут быть снижены решением комплексных хозяйственных задач: одновременным строительством дорог вдоль дамб, улучшением условий судоходства, снижением расхода дорогого дизельного топлива и так далее.

Крупнейшие приливные электростанции:

Ла Ранс – Франция – 240.000 кВт – 24 турбины – 1967г.

Аннаполис – Канада – 20.000 кВт – 1 турбина – 1984г.

Джянгксия – Китай – 3.900 кВт – 6 турбин – 1986г.

Байсхакоу – Китай – 640 кВт – 4 турбины – 1985г.

Кислогубская – Россия – 400 кВт – 1 турбина – 1968г.

Преобразование тепловой энергии океана

Солнечная энергия, поглощённая океаном, преобразуется в тепло, причём, верхние слои воды нагреваются больше нижних придонных на 18...22°C. Преобразование тепловой энергии океана в электрическую возможно с помощью тепловой машины, использующей перепад температур между поверхностными и глубинными водами океана, рис 31. Здесь: П - теплообменник – парогенератор, передающий тепло «горячей воды» хладону, К-конденсатор, в котором происходит конденсация хладона с отбором тепла «холодной водой», Н - конденсатный насос, Т и Г, соответственно, турбина, работающая на парах хладона, и генератор.

Рабочая жидкость тепловой машины циркулирует по замкнутому контуру, отбирает тепло от «горячей» воды в теплообменнике испарителя П, в паровой фазе приводит в действие турбину Т и электрический генератор Э, а затем конденсируется в охлаждаемом холодной водой конденсаторе К. Из-за низкого температурного перепада и низкой температуры «горячей» воды в качестве рабочей жидкости применяют хладон или аммиак, имеющие низкую точку кипения.

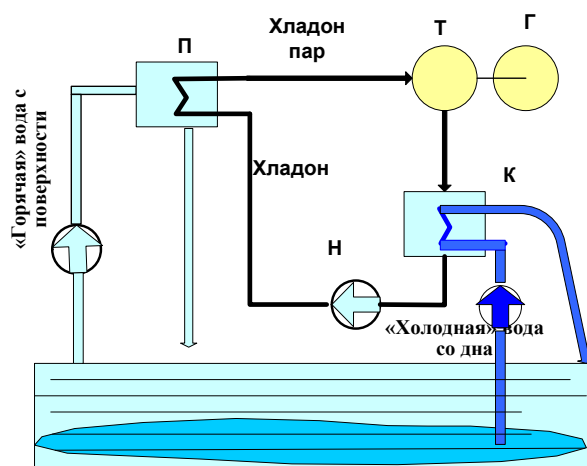


Рис. 31. Использование тепловой энергии океана для производства электроэнергии в тепловом двигателе

В идеальной системе мощность, отдаваемая теплой водой пропорциональна её плотности ρ , удельной теплоёмкости c , расходу воды Q_B и перепаду температур $\Delta\theta$:

$$P = \rho \cdot c \cdot Q_B \cdot \Delta\theta$$

Максимальная механическая мощность на валу турбины

$$P_T = P \cdot \eta_T,$$

где $\eta_T = \frac{\Delta\theta}{\theta_G}$ - КПД идеальной тепловой машины, работающей при перепаде температур

$$\Delta\theta = \theta_G - \theta_X = 30 - 8 = 22^\circ\text{C}$$

Он равен $\eta_T = \frac{22 \cdot 100}{30 + 273} = 7,3\%$

Для идеальной тепловой машины выходная механическая мощность:

$$P_M = \frac{\rho \cdot c \cdot Q_B \cdot (\Delta\theta)^2}{\theta_G}$$

Требуемый расход воды для идеальной тепловой машины мощностью 1000кВт

$$Q_B = \frac{P_M \cdot \theta_G}{\rho \cdot c \cdot (\Delta\theta)^2} = \frac{1000 \cdot 10^3 \cdot (30 + 273) \text{K}}{10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^3 (22)^2} = 0,18 \text{ м}^3 / \text{с},$$

Таким образом, даже для идеальной машины при максимально возможном перепаде температур в океане расход воды очень значителен. А максимальный перепад температур 18...22°C бывает только в тропиках.

Хорошие условия для строительства океанской термальной электростанции существуют на Гавайских островах, вблизи полуострова Флорида, США, а также вблизи острова Науру (центральная часть Тихого океана, 0° северной широты, 166° восточной долготы). В 1000м от берега глубина океана уже 700м, а температурный перепад составляет 22°C. Электростанция может быть установлена на берегу, а не в океане. Судя по детальным характеристикам этого места, здесь создана экспериментальная океанская термальная станция мощностью 1000кВт. По имеющимся данным удельные затраты на строительство такой станции составляют до 40.000 долларов на 1кВт установленной мощности и размеры установки – значительны.

В реальных условиях теплообмена не всё тепло “горячей” воды передаётся рабочей жидкости из-за низкой теплопроводности морской воды, большого сопротивления теплопередаче в теплообменнике слоя накипи, биообрастаний. Поэтому расход воды и размеры теплообменников – значительно больше, чем в идеальном случае. Трубопроводы холодной воды подвергаются воздействию волн, течений и собственного веса, особенно если станция располагается на плавучей платформе в открытом море. В этом случае суще-

ствуют также сложности в соединении станции с берегом (длинные высоковольтные кабели). Мощность насосов затрачивается на преодоление сил сопротивления в самом трубопроводе и на подъём воды над уровнем океана. Для преодоления сопротивления трубопровода длиной 1000м и диаметром 1м при расходе воды 0,5 м³/с в станции мощностью 1000кВт, при перепаде температур 20°С нужна мощность насосов всего 5 кВт. Если эта вода поднимается к теплообменнику, расположенному на высоте Н над уровнем океана, нужна дополнительная мощность 5 кВт на каждый метр подъёма. На это также расходуется мощность самой станции (собственные нужды).

Вопросы

- 1.** От каких факторов зависит мощность, переносимая волнами и какова её величина?
- 2.** В чём сложности создания волновых энергоустановок?
- 3.** Поясните устройство и принцип действия волновой энергоустановки, использующей колеблющийся водяной столб.
- 4.** В чём причина возникновения приливов? Какова бывает высота приливов?
- 5.** Принцип создания приливной энергоустановки?
- 6.** Какие места на Земле наиболее перспективны для создания приливных электростанций? Назовите действующие приливные электростанции.
- 7.** Как можно использовать тепло воды в океане? Как устроена тепловая машина для использования тепловой энергии воды в океане?
- 8.** В чём сложности использования тепловой энергии воды в океане?
- 9.** В каких местах на Земле можно использовать тепловую энергию воды океана?

7. ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

Гидроэнергетика использует энергию падающей воды. Эта энергия преобразуется в механическую энергию в гидротурбине и в электрическую в гидрогенераторе. Мощность, отдаваемая падающей водой турбине:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{1000}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где: $\rho=10^3 \text{ кг/м}^3$ - плотность воды,
 $g=9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение силы тяжести,
 Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$,
 H – высота падения воды, м.

Потери при этом преобразовании невелики и затрачиваются только на удаление воды из турбины. К.П.Д. современных гидротурбин достигает 90%.

При определении гидроэнергетического потенциала местности, района, области годовая выработка электроэнергии ГЭС может составить

$$W = \frac{\eta_T \cdot \eta_G \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot Q_G}{3600 \cdot 1000}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (2)$$

• где k_1, k_2 – сток выпадающих осадков в реки, %, и реки, на которых возможно строительство плотин, %, соответственно,

• H – перепад высот, минимальной над уровнем моря и расчетной, расположенной на высоте 100...300 м над ней, м,

• η_T, η_G – КПД турбины и генератора,

• Q_G – годовой сток с расчетной площади,

$$Q_G = S_p \cdot h, \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (3)$$

• S_p – расчетная площадь территории, расположенной на высоте 100...300 м над минимальной высотой,

• h – годовое количество осадков, м,

Условиями целесообразности использования гидроэнергии в данной местности являются:

• достаточно большой годовой сток и перепад высот не менее 250...300 м; при меньшем перепаде высот нерационально возрастают площади залива территории при создании водохранилищ,

• годовой уровень осадков не менее 0,4 м,

• равномерное распределением осадков в течение года, подходящий рельеф местности и наличие мест для водохранилищ.

Гидротурбины разделяются на реактивные и активные.

Рабочее колесо реактивной турбины полностью погружено в воду и вращается за счет разности давлений до и после колеса см. рис.32.

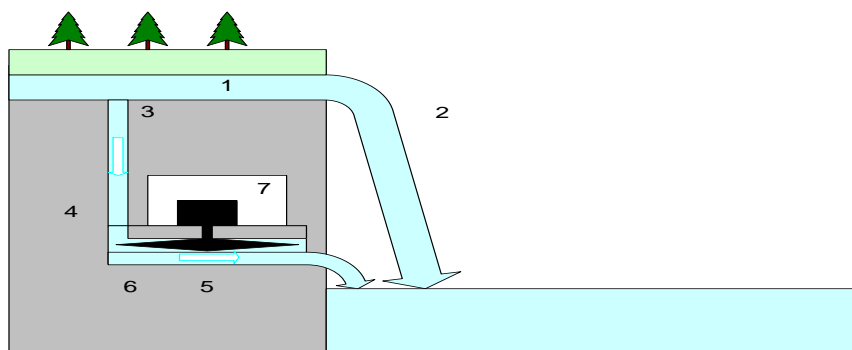


Рис.32 Деривационная гидроэлектростанция с реактивной гидротурбиной
вблизи естественного водопада.

1- русло реки, 2- естественный водопад, 3- решетка, 4- водовод (канал),
5- направляющий аппарат, 6- гидротурбина, 7- гидрогенератор в здании ГЭС.

Реактивная турбина может работать при реверсировании генератора как насос (гидроаккумулирующие станции).

Примером реактивной турбины является пропеллерная гидротурбина с вертикальным валом с осевым направлением потока.

Эта турбина наиболее компактна и потому получила наибольшее распространение. Недостатком турбины является большой перепад давлений при движении жидкости в ней из-за того, что поток изолирован от атмосферы стенками направляющего аппарата. По этой причине минимальное давление воды значительно меньше атмосферного и даже может оказаться меньше давления насыщенных паров воды. В потоке образуются пузырьки пара – возникает кавитация. При набегании потока на колесо турбины давление в потоке резко возрастает, пузырьки схлопываются. Возникают большие давления, которые могут вызвать разрушение турбины. Это явление усиливается с увеличением скорости потока и напора. Поэтому вертикально-осевые турбины используются в основном при низких напорах.

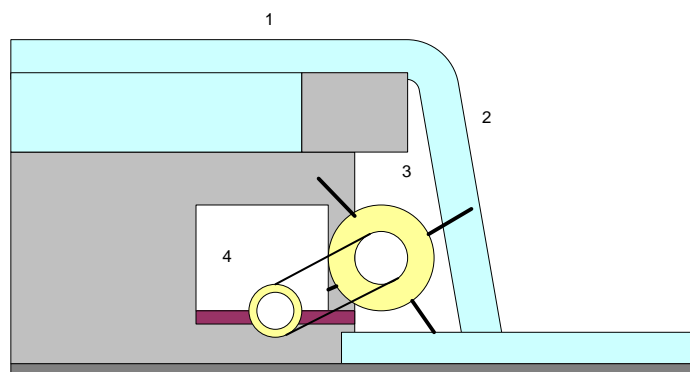


Рис.33. Гидроэлектростанция с активной гидротурбиной:

1- русло реки, 2- искусственный водопад, 3- колесо гидротурбины,
4- гидрогенератор в здании ГЭС.

На искусственном водохранилище

Как показано на рис. 33 рабочее колесо активной гидротурбины вращается в воздухе натекающим на его лопасти потоком воды, т.е. кинетической энергией этого потока.

Общая мощность ГЭС в мире (1986г.) около 500 млн. кВт. Ими производится 2 трлн. кВт·час электроэнергии в год (всего производится 10 трлн. кВт·час в год). Потенциальные возможности гидроэнергетики составляют еще 1,5 млрд. кВт не считая малых рек и маломощных установок, суммарная мощность которых может быть значительной.

Крупнейшие ГЭС в мире:

- Гури- Венесуэла- река Карони-10.300.000 кВт-20 турбин-1986г.
- Итайпу- Бразилия-Парагвай-река Парана –7.000.000 кВт – 10 турбин-1988г.
- Гранд-Кули –США - река Колумбия-6.480.000 кВт –33 турбины – 1980г.
- Саяно-Шушенская – Россия – река Енисей- 6.400.000 кВт-1985г.
- Красноярская – Россия – река Енисей– 6.000.000– 12 турбин –1971г.

ГЭС большой мощности - не всегда экологически чистые. При их строительстве происходит затопление значительных площадей, лесных массивов, полей, заболачивание, заиливание. Меняются режимы рек, морей, условия жизни рыбы, животных.

Примеры: строительство ГЭС на реках Сибири, Волге, гибель Аральского моря.

Предметом данного курса являются только экологически чистые малые ГЭС, не требующие затопления больших площадей и не нарушающие экологического равновесия в природе.

В качестве примера приведем данные двух ГЭС на Ниле.

Одна из них хорошо известна. Это Асуанская ГЭС в Египте мощностью 2,1 млн. кВт, 12 турбин, производство электроэнергии 10 млрд. кВт·час в год, год постройки 1970. ГЭС строилась в 60-е годы для решения социально важных экономических задач, возникших перед Египтом. Эти задачи станция помогла решить: расширились площади орошаемых земель почти на 1 млн. га, улучшилось судоходство, была ликвидирована опасность засух и наводнений. Почти вдвое увеличился отбор воды для ирригации. Однако строительство ГЭС привело к значительным потерям: заболачивание местности, засоление сельскохозяйственных площадей в дельте Нила, ухудшение плодородия почвы и увеличения количества минеральных удобрений, опасность нависания огромной массы воды над всем Египтом: водохранилище имеет 500 км в длину, 22 км в ширину и 90 метров в глубину.

Другая ГЭС на Ниле - малоизвестна. Это ГЭС на голубом Ниле в районе Великих Водопадов Нила в Эфиопии. Это деривационная ГЭС небольшой мощности (2 турбины по 4,6 МВт). Водовод пробит в скале рядом с водопа-

дом и подает воду к турбинам без создания водохранилищ и нарушения режима реки. Схема этой электростанции показана на рис.7.1. Здесь: 1-русло реки, 2-водопад, 3-решетка, 4-водовод, 5-осевая пропеллерная турбина, 6-направляющий аппарат, 7-генератор.

В 1950-е годы в Беларуси работало 162 малых ГЭС общей мощностью 11,9 тыс. кВт. В настоящее время действует 11 ГЭС мощностью 7 тыс. кВт. Предполагается восстановить и реконструировать еще 29 ГЭС мощностью 15 тыс. кВт и построить на существующих неэнергетических водохранилищах 17 ГЭС мощностью 5,8 тыс. кВт. Всего 27,8 тыс. кВт с годовой выработкой электроэнергии 85 млн. кВт.ч. На загрязненных территориях юга Беларуси существует техническая возможность строительства 4 ГЭС на Днепре ниже Могилева мощностью 112 тыс. кВт, 3 ГЭС на Соже 32,5 тыс. кВт, 1 ГЭС на Припяти 11 тыс. кВт и на притоках Припяти 2,3 тыс. кВт. До 2010 года в республике предполагается освоить 140 тыс. кВт мощности гидроэнергоресурсов. Годовая выработка электроэнергии по разным оценкам может составить около от 0,5 до 1,0 млрд. кВт. ч. в год.

Капитальные затраты на строительство ГЭС составляют 2000...2500 долларов на 1 кВт установленной мощности. Срок окупаемости 3 года. Срок службы 50-60 лет.

Вопросы и задачи

1. Определите гидроэнергетический потенциал страны (возможную выработку электроэнергии и мощность гидроэлектрических агрегатов), если: территория страны составляет 206,7 тыс. кв. км, минимальная высота над уровнем моря около 100 м, площадь территории, расположенная на высоте:

- 150...200 м над уровнем моря 9421 кв. км,
- 200...250 м над уровнем моря 3907 кв. км,
- 250...300 м над уровнем моря 283 кв. км,
- 300...350 м над уровнем моря 208 кв. км,

годовое количество осадков 0,5...0,7 м, сток выпадающих осадков в реки 25...30%, реки, на которых возможно строительство плотин 25...30%, КПД турбин 90%, КПД генераторов 91%, коэффициент использования номинальной мощности гидроагрегатов 0,2.

Ответ: 229,1 млн. кВт.ч, 130,8 тыс.кВт.

2. Определите возможную мощность малой ГЭС на р. Свислочь и годовую выработку электроэнергии. Средняя ширина реки составляет 10 м, глубина- 1,2 м, скорость течения- 0,5 м/с, возможная высота плотины- 5 м. КПД гидротурбины 90%, КПД генератора 91%. Коэффициент использования номинальной мощности ГЭС - 0,2.

Ответ: 241 кВт, 422,2 тыс.кВт.ч.

3. Расскажите о перспективах развития гидроэнергетики в стране.

4. Поясните принцип действия активной гидротурбины.

5. Поясните принцип действия и устройство реактивной гидротурбины.
6. Что такое кавитация?
7. К каким негативным последствиям может привести строительство крупных гидроэлектростанций? Почему их, тем не менее, строят?
8. Что собой представляет деривационная электростанция? В чем ее достоинства?

8.0. ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГИЯ

На наших глазах набирает силу новая отрасль водородная энергетика и технология. Потребность экономики в водороде идет по нарастающей. Ведь это простейшее и легчайшее вещество может использоваться не только как топливо, но и как необходимый сырьевой элемент во многих технологических процессах. Он незаменим в нефтехимии для глубокой переработки нефти, без него не обойтись, скажем в химии при получении аммиака и азотных удобрений, а в черной металлургии с его помощью восстанавливается железо из руд. Такие существующие виды органического топлива, как газ, нефть и уголь, тоже служат сырьем в этих или подобных процессах, но еще полезнее извлечь из них самый экономный и чистый энергоноситель тот же водород.

Водород - идеальный экофильный вид топлива. Очень высока и его калорийность - 33 тыс. Ккал/кг, что в 3 раза выше калорийности бензина. Он легко транспортируется по газопроводам, потому что у него очень малая вязкость. По трубопроводу диаметром 1,5м с ним передается 20тыс. МегаВатт мощности. Перекачка легчайшего газа на расстояние в 500км. почти вдесятеро дешевле, чем передача такого же количества электроэнергии по линиям электропередачи. Как и природный газ водород пригоден на кухне для приготовления пищи, для отопления и освещения зданий. Чтобы продемонстрировать его возможности, американские ученые построили "водородный дом", в котором для освещения использовался водород. Передавать водород в жидком виде - удовольствие очень дорогое, т.к. для его сжижения нужно потратить почти половину энергии, содержащейся в нем самом. Кроме того, должна быть обеспечена идеальная теплоизоляция трубопровода, так как температура жидкого водорода очень низка. Как топливо водород сжигается в двигателях ракет и в топливных элементах для непосредственного получения электроэнергии при соединении водорода и кислорода. Его можно использовать и как топливо для авиационного транспорта. Водородная энергетика сулит ряд выгод. Поэтому появилось много энтузиастов водородной энергетике, возникли их ассоциации, в том числе международная.

Сейчас в мире получают около 30 миллионов тонн водорода в год, причем в основном из природного газа. Согласно прогнозам за 40 лет производство водорода должно увеличиться в 20-30 раз. Предстоит с помощью атомной энергетике заменить нынешний источник водорода - природный газ - на более дешевое и доступное сырье - на воду.

Здесь возможны два пути:

- 1- традиционный, с помощью электрохимического разложения воды;
- 2- путь менее известен.

Если нагреть пары воды до 3000-3500 С, то водные молекулы развалятся сами собой. Оба способа получить водород из воды пока дороже, чем из природного газа. Однако природный газ дорожает, а методы разложения воды совершенствуются. Через какое-то время водород из воды станет дешевле. В

отдельных случаях и сейчас выгодно получать водород с помощью электролиза в ночные часы, когда имеется лишняя и дешевая электроэнергия. Водородная энергетика бурно развивается, но недаром все чаще говорят об атомно-водородной энергетике. Требуются большие энергетические расходы для получения водорода. Тандем "*ядерный реактор - водородный генератор*" - претендует ныне на роль энергетического лидера в экономике XXI века.

Качественное отличие водородной энергетики от атомной, газовой, нефтяной и угольной энергетик состоит в том, что водород является не просто "*топливом*", а по сути это рабочее тело теплового насоса. С его помощью внутренняя энергия среды (далее "*океан*"), может быть использована как для бытовых нужд, так и для получения электрической энергии в количестве много больше той, которая была затрачена на получение водорода при электролизе, например, серной кислоты.

Никакого "*вечного двигателя*" здесь нет. Выполняются как первый, так и второй законы термодинамики. Работа, которую можно получить из электроэнергии, полученной в свою очередь в газовой турбине при сгорании водорода, будет всегда меньше той внутренней энергии "*океана*", которую мы взяли у него при электролизе, чуть его охлаждая при этом.

По существу мы используем рассеянную в "*океане*" солнечную энергию, накопившуюся в нем за все время существования Земли, перемещая ничтожную ее часть в газовую горелку или турбину. Обычное топливо ("*дрова*"), есть так же концентрированная энергия прошлого, выделяющееся в костре. Даже атомная энергия есть не что иное, как энергия сверхновых звезд концентрированная в уране при его синтезе. Но "*топливо*", сгорая, всегда дает отходы и загрязняет "*океан*", в том числе и увеличивая его внутреннюю энергию. Нагревает его. А в случае водородной энергетики внутренняя энергия "*океана*", после ее использования для приготовления пищи или в газовой турбине, снова возвращается "*океану*". Водородная энергетика, в отличие от любой другой, не нагревает "*океан*" при сколь угодно больших масштабах ее использования. Это на 100% безотходная технология.

Физические основы возможности осуществления водородного теплового насоса просты. Количество водорода, выделяющегося на катоде, зависит только от количества прошедшего через электролит электричества. Оно не зависит от работы тока, которая на расщепление воды не тратится вообще. Один грамм водорода выделяется, примерно, при прохождении 96500 кулон электричества. И это не зависит от силы тока и от приложенного напряжения. А при сгорании 2 г водорода (гр. моль), всегда выделяется 67,54 б. кал. тепла. Отношение $\phi = W/Q$ (W - энергия, полученная при сгорании водорода, Q - энергия, затраченная на получение водорода) = $1.458/V$ (V в вольтах).

До полутора вольт энергия, затраченная на получение водорода меньше, чем энергия, выделяющаяся при его сгорании. В этом случае разность энергий компенсируется расходом внутренней энергии электролита. Он охлаждается, и внутренняя энергия "*океана*" "*всасывается*" тепловым насосом. Ее то мы и расходует, в конечном счете. При напряжении больше 1,5 вольта работа

тока частично идет на нагревание электролита, и тепловой насос перестает работать. Получение водорода становится энергетически не выгодным. Значит ток должен быть большой, а напряжение маленькое. А для этого надо чтобы сопротивление электролита было очень мало. Серная кислота при концентрации 30,4% имеет максимальную проводимость, которая только на 30% меньше проводимости ртути. Она обеспечивает получение большого тока при малом напряжении.

Использование водорода как рабочего тела теплового насоса в принципе меняет всю проблему энергетики. Появляется возможность широкого применения простых квартирных усилителей энергии, чего до сих пор не было. Это означает, например, что если мы берем из сети 400 ватт, в горелке выделяем 8 кило ватт. И это возможно при размерах электродов в 1 кв. метр. Никаких баллонов с водородом в квартире не нужно - все, что получается, немедленно сгорает. Выработка энергии должна быть приближена к потребителю. Это выгодно.

Водород получают путем электролиза воды.

В газообразном виде он может быть передан на расстояние и сожжен для получения тепловой энергии. При сгорании образуется вода и никаких загрязняющих веществ. Эффективность электролиза - 60% из-за образования пузырьков газа вблизи электродов, что препятствует перемещению ионов и увеличивает электрическое сопротивление. Применение в качестве электродов пористых материалов увеличивает эффективность электролиза до 80%.

Водород из воды получают при высокотемпературном нагреве. При этом электрический потенциал, необходимый для разложения воды, снижается.

Целесообразна замена электроэнергии разложения воды теплом от дешевого источника, например, солнечного излучения.

В качестве электролита для получения водорода может быть морская вода. Сложность возникает из-за выделения хлора на "кислородном" электроде. Чистый водород можно получить, если поддерживать на электролизной ячейке 1,8 В, но это снижает плотность и ведет к увеличению площади электродов.

В настоящее время исследуются и другие способы получения водорода, например, путем использования некоторых видов водорослей, которые "*фотосинтезируют*" водород.

Сложности существуют при хранении водорода из-за большого объема хранилищ и низкой температуры кипения (20 К) сжиженного водорода.

Возможно его химическое аккумулялирование в виде металлгидридов из которых он извлекается при нагревании до 50°C, что удобно в эксплуатации и позволяет хранить большие запасы водорода. Металлогидрид FeTiH_{1,7} при нагревании выделяет H₂, а в самом гидриде содержание водорода уменьшается. Эта реакция обратима, поэтому гидридные аккумуляторы можно подзарядать на заправочных станциях. При зарядке выделяется тепло, которое можно использовать в местных теплосетях. Гидридные аккумуляторы могут быть использованы как топливные баки.

Водород можно передавать по трубопроводам или использовать непосредственно для получения электроэнергии в топливных элементах.

Водород получают разложением аммиака NH_3 на азот N_2 и водород H_2 при более низких температурах, чем воду. Сочетание теплового двигателя для сжигания водорода и солнечного тепла для преобразования аммиака позволяет получать электроэнергию.

Вопросы

1. Виды органического топлива.
2. Способы получения водорода.
3. Отличие водородной энергетики от атомной, газовой, нефтяной и угольной энергетик.

9.0. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Энергосбережение - это реализация правовых, организационных, научных, производственных, технологических и экономических мер, направленных на эффективное использование энергетических ресурсов с вовлечением в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии. Энергосбережение в технике осуществляется при изготовлении, эксплуатации, ремонте, утилизации изделий, выполнении работ.

Энергоемкость - это количественная характеристика затрат энергии (топлива) на основные технологические процессы изготовления, ремонта, утилизации, выполнения работ. Энергоемкостью оценивается энергетическая рациональность конструкций в части их **энергопотребления**.

Энергопотребление - это затраты энергии (топлива) при использовании изделий, установок и т.д. по назначению. **Энергозатраты** включают все расходы энергоресурсов по данному технологическому или хозяйственному объекту, приведенные к условному топливу.

По энергозатратам изделие или технологический процесс может быть **энергоэкономичным** или неэкономичным, а использование энергоресурсов **эффективным** (энергоэффективная технология) или неэффективным. При несоблюдении требований стандартов, технических условий и паспортных данных возможен **непроизводительный расход** энергоресурсов.

Энергопотребляющие изделия и процессы характеризуются **энергетической эффективностью** (энергетическим КПД), которая подразделяется на **классы**, определяемые **индексами энергетической эффективности**.

Показатели энергосбережения дают количественную характеристику мер по энергосбережению и основываются на показателях **энергопотребления** и **энергоемкости**. Они могут быть абсолютными, удельными, относительными, сравнительными.

В качестве основного **относительного показателя** обычно используется КПД.

К **абсолютным показателям** энергосбережения относятся: расход топлива или энергии, потребляемая мощность, потери мощности, падение напряжения в номинальном режиме, потери холостого хода и короткого замыкания.

К **удельным показателям** энергосбережения относятся: КПД, удельный расход топлива или энергии на единицу продукции (или энергии), отношение потерь к номинальной мощности, коэффициент использования.

Плановый расчетный показатель усредненного расхода энергии или топлива при изготовлении, эксплуатации, ремонте, утилизации изделий представляет собой **норму расхода энергоресурсов**. Различают нормы: индивидуальные и групповые, технологические.

Норматив - это норма расхода энергоресурсов применительно к конкретным условиям, конкретному объекту, процессу.

Требования по энергосбережению должны устанавливаться ГОСТ, ТУ, КД на все изделия и процессы при использовании которых потребляется энергия или топливо. Эти изделия и процессы подразделяются на: (1) потребляющие энергию (топливо) для производства продукции, выполнения работ, (2) для преобразования одних видов энергии в другие, (3) для создания энергоносителей.

Энергосбережение характеризуется: (1) **показателями энергопотребления** (например, энергопотребление бытового холодильника 0,5 кВт·ч в сутки), (2) **показателями энергоемкости** (например, при изготовлении бытового холодильника расходуется 80 кВт·ч электроэнергии, 20 кг условного топлива и т.д.), (3) **показателями энергосодержания** (например, энергосодержание 1 кг биогаза, получаемого при пиролизе навоза, составляет 20 МДж, или энергосодержание 1 кг бензина, получаемого при перегонке нефти, составляет 47 МДж).

Показатели энергопотребления должны использоваться:

(1) для изделий, потребляющих различные виды **топлива** для производства энергии (котельная, дизель-генератор), для выполнения работ (автомобиль, тепловоз), для производства продукции (плавильная печь),

(2) для изделий, потребляющих различные виды энергии для преобразования в другие виды энергии (газовая турбина, электродвигатель), для выполнения работы, производства продукции (насос, буровая установка, фасовочный автомат, холодильник),

(3) для изделий, участвующих в передаче и распределении энергии (трансформатор, ЛЭП, трубопровод, редуктор).

Показатели энергоемкости операций по изготовлению, ремонту, утилизации выражаются количеством топлива (энергии), израсходованного на основные технологические процессы, без учета расходов на отопление, освещение и т.д.

Для учета расхода всех топливно-энергетических ресурсов их пересчитывают на **условное топливо** с теплотой сгорания 29,3 МДж/кг.

Энергосбережение в системе электроснабжения

Полная система электроснабжения включает в себя электрические станции, электрические системы и сети (линии электропередачи, трансформаторные подстанции) и потребителей электрической энергии.

Потери энергии начинаются с электрической станции, с преобразования внутренней энергии топлива в электрическую энергию в генераторе, КПД этого преобразования низок в основном из-за низкой эффективности теплового двигателя. В конденсационных электростанциях он составляет всего 30%, в ТЭЦ - достигает 80%.

Потери энергии в электропередаче (в линиях и трансформаторах) тоже значительны, поскольку от источника до потребителя электроэнергия подвергается 3-5 трансформациям и проходит сотни и тысячи километров. К.П.Д. электропередачи составляет ориентировочно 90%.

Не менее расточительны и сами потребители электрической энергии: КПД наиболее широко распространенных источников электрического освещения, ламп накаливания всего 5%, К.П.Д. люминесцентных и наиболее современных галогенных ламп - около 20%, КПД электродвигателей небольшой мощности (микродвигателей) – 30...50%, КПД мощных двигателей – 80...90% и выше. Кроме того, существуют электротехнологические установки, такие как сварка, высокочастотный нагрев, нагрев в печах сопротивления, в дуговых печах, сопровождающиеся значительными потерями энергии. Все это объекты для энергосбережения в системе электроснабжения.

Мероприятия по энергосбережению в системе электроснабжения организует и стимулирует энергосистема путем установления соответствующих тарифов (двухставочный тариф, дневной, ночной тариф и т.д.), путем принудительных включений - отключений, заданием своих требований к графикам нагрузки и т.д.

Нерациональные расходы электроэнергии возникают:

- при несоответствии используемого устаревшего оборудования характеру и объёму производства в изменившихся условиях,
- при использовании электронагревателей для нагрева помещений, воды и т.д. при наличии других источников тепла (пар или горячая вода от котельных или ТЭЦ, солнечная энергия, энергия ветра),
- при отсутствии или плохом качестве теплоизоляции электропечей, электроплит, кухонного оборудования.
- при отсутствии или недостаточной или избыточной мощности компенсирующих устройств,
- при плохом состоянии механического оборудования (дефекты конструкции, выработанные подшипники, ненадлежащая смазка),
- при плохом качестве ремонта электродвигателей,
- при завышенной мощности электродвигателей,
- при завышенной или заниженной мощности электронагревателей,
- при отсутствии автоматического управления и регулирования технологических процессов горения в котельных, подачи воды, воздуха, отсоса дымовых газов, частоты вращения в механизмах в зависимости от требуемой нагрузки, температуры и т.д.,
- при отсутствии контроля расхода электроэнергии в подразделениях и отсутствии систем материального стимулирования энергосбережения,
- при плохом качестве или отсутствии теплоизоляции сетей сжатого воздуха.

Снижение потерь энергии в системе электроснабжения достигается

- уменьшением потерь в трансформаторах - правильным выбором их мощности, числа, рационального режима работы, исключением холостых ходов при малых нагрузках, выбором числа одновременно работающих транс-

форматоров, подбором компенсирующих устройств, применением автотрансформаторов,

- уменьшением потерь в линиях, шинпроводах, реакторах,
- регулированием графиков нагрузки,
- компенсацией реактивной мощности, правильным выбором мощности и расположения компенсирующих установок,
- применением для компенсации реактивной мощности батарей статических конденсаторов на напряжениях 0,38 и (или) 6-10 кВ, применение синхронных двигателей, работающих в режиме перевозбуждения или с $\cos \varphi_H = 1$, применение синхронных компенсаторов на крупных подстанциях,

Снижение потерь совершенствованием технологического процесса достигается:

- рациональным выбором самого технологического процесса, имея в виду, что расход энергии, например, при строгании в 1,5 раза больше, чем при токарной обработке одних и тех же деталей, а при сверлении в 1,3 раза больше, чем при строгании и т.д.,
 - совмещением операций, увеличением подач,
 - увеличением загрузки двигателей, заменой незагруженных двигателей двигателями меньшей мощности, переключением незагруженных двигателей с треугольника на звезду,
 - автоматизацией операций, например, подвод-отвод инструмента,
 - повышением качества ремонта асинхронных двигателей (нежелательность проточки роторов, своевременная замена подшипников, перемотка обмоток без нарушения технических условий и т.д.),
- регулированием частоты вращения электродвигателей для снижения расхода насосов компрессоров, вентиляторов, вместо регулирования задвижкой, выбором числа параллельно работающих механизмов,
- регулированием и своевременным отключением электрического отопления, освещения, кондиционирования при окончании работы, в зависимости от состояния окружающей среды,
- регулированием напряжения в допусковых ГОСТ пределах - 5-10% номинального.

Снижение потерь в осветительных установках достигается:

- применением современных экономичных источников света - галогенных, люминесцентных ламп с КПД = 20% взамен ламп накаливания с КПД = 5%,
- максимальным использованием естественного освещения путем проектирования производственных зданий, организацией рабочего времени, содержанием в чистоте прозрачных потолков, окон,

- автоматическим или ручным отключением ненужного освещения в светлое время или снижением освещенности, когда это возможно,
- уменьшением мощности ламп там, где это не мешает технологическому процессу заменой ламп или снижением напряжения с помощью трансформатора или в схеме с однополупериодным выпрямителем.

Вопросы и задачи

1. Что такое энергосбережение?
2. Охарактеризуйте понятия энергоемкость, энергопотребление, энерго-содержание.
3. Назовите известные вам показатели энергосбережения, назовите их величины.
4. Что такое нормы расхода энергоресурсов? Кто их устанавливает и как?
5. В каких случаях используются показатели энергопотребления?
6. В каких случаях используются показатели энергоемкости?
7. Перечислите элементы системы электроснабжения, в которых происходят потери энергии. Назовите ориентировочную величину К.П.Д. теплового двигателя, синхронного генератора, трансформатора, электропередачи, К.П.Д. электродвигателей, ламп накаливания, люминесцентных и галогенных ламп.
8. Кратко оцените возможности экономии энергии в системе электро-снабжения от генератора электрической станции до заводских и цеховых под-станций.
9. Суточный график нагрузки трансформатора ТМН-1000/35:

Время, час	Нагрузка, кВА	$\cos \varphi$
0...8	0	
8...14	1000	0,9
14...18	425	0,8
18...24	200	0,6

Номинальные данные трансформатора: $S_n = 1000$ кВА, $U_n = 35/0,4$ кВ, $Y/Y_0 - 0$, $P_0 = 2,1$ кВт, $P_k = 11,6$ кВт, $U_k = 6,5\%$, $i_0 = 1,4\%$. Определите:

- номинальный КПД трансформатора (при $\cos \varphi_H = 1$),
- максимальный КПД,
- среднесуточный (энергетический) КПД,
- При каком соотношении потерь и при какой нагрузке в процентах от номинальной КПД трансформатора имеет максимальное значение?

Ответ: 98,65%, 99,02% при равенстве постоянных и переменных потерь, 98,36%.

10. Проанализируйте технологическую схему насосной установки системы водоснабжения. Система включает: всасывающий трубопровод, приводной электродвигатель, редуктор, насос, напорный трубопровод, вентили, кра-

ны потребителей и т.д.). Укажите возможные источники потерь воды и электроэнергии и пути энергосбережения.

11. Определите годовые потери электроэнергии и их стоимость от утечек в системе водоснабжения города, с населением 2 млн. человек, полагая, что в городе из 100 тыс. кранов капает по 1 капле (1 мл) в секунду круглые сутки. Мощность насосов определите по формуле

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_H \cdot \eta_D \cdot \eta_T},$$

где: $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ - плотность воды,

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения,

H - полный напор с учетом высоты всасывания, м, $H = 100 \text{ м}$,

Q - производительность насосов, $\text{м}^3/\text{с}$,

$\eta_H = 0,7$ - КПД насоса, о.е., $\eta_T = 0,95$ - КПД передачи, о.е.,

$\eta_D = 0,95$ - КПД электродвигателя.

Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии для систем водоснабжения и отопления - 170 руб./кВт. ч

Ответ: 859,4 тыс. кВт. ч, 146,1 млн. руб.

12. Определите годовой расход электроэнергии и экономический эффект в кВт. ч от замены малонагруженного асинхронного двигателя номинальной мощностью 200 кВт, с частотой вращения 980 об/мин, номинальным КПД 94%, КПД при 40-процентной нагрузке 92%, используемого для привода механизма со статическим моментом нагрузки на валу 800 Нм, с частотой вращения 980 об/мин при годовом числе часов работы 4000, двигателем мощностью 90 кВт, частотой вращения 980 об/мин, КПД 92,5% и $\cos \varphi_H = 0,89$.

Ответ: 356,8 тыс. кВт.ч, 1,93 тыс. кВт. ч.

13. Определите расход электроэнергии на нагрев 100 л воды от 10 до 100°C в баке с электронагревателем мощностью 8 кВт, полагая средние тепловые потери, равными 1 кВт. Сравните с расходом электроэнергии при уменьшении мощности нагревателя до 4 кВт, полагая мощность тепловых потерь неизменной. Теплоемкость воды 1 ккал/кг. град, соотношение 1 ккал = 1/860 кВт.ч. Сделайте выводы.

Ответ: 12 кВт. ч и 14 кВт.ч, снижение мощности устройства не всегда приводит к снижению расхода электроэнергии.

15. Определите эффективность «энергосберегающего» устройства по задаче 14:

- потери мощности в двигателе при номинальной его нагрузке,
- потери в насосе при максимальном КПД, равном 80%,
- полезную мощность, идущую непосредственно на нагрев,
- полную полезную мощность установки, затрачиваемую непосредственно на нагрев и перекачку,
- полную потребляемую мощность,

- КПД такого преобразования мощности.

Ответ: 3,66кВт, 7,4кВт, 25,6кВт, 29,6кВт, 40,66кВт, 72,8%.

16. Определите эффективность установки для нагрева воды по задаче 14 с нагревательным устройством в виде ТЭНа, установленного в специальном теплоизолированном баке с водой и с насосом, используемым только для перекачки воды с приводным двигателем 4А100L4У3 (4кВт, КПД 84%).

Определите:

- потери мощности в двигателе при номинальной его нагрузке,
- потери в насосе при максимальном КПД, равном 80%,
- полезную мощность, идущую на нагрев и перекачку воды,
- полную потребляемую мощность установки, затрачиваемую непосредственно на нагрев и перекачку,
- КПД такого преобразования мощности.
- Сделайте заключение об «эффективности» рассмотренного устройства.

Ответ: 0,76кВт, 0,8кВт, 28,8кВт, 30,66кВт, 94,9%. КПД устройства на 22,1% ниже, чем при нагреве обычным ТЭНом.

ПРИЛОЖЕНИЕ

СТАНДАРТИЗОВАННЫЕ ПРИСТАВКИ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ СИ

10^{18}	Экса	Э	10^{-18}	Атто	а
10^{15}	Пета	П	10^{-15}	Фемто	ф
10^{12}	Тера	Т	10^{-12}	Пико	п
10^9	Гига	Г	10^{-9}	Нано	н
10^6	Мега	М	10^{-6}	Микро	мк
10^3	кило	к	10^{-3}	Милли	м

НЕКОТОРЫЕ ПОНЯТИЯ, ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ

Абсолютная температура - температура, измеряемая от абсолютного нуля в градусах Кельвина (К). $1 \text{ К} = 1^\circ\text{С}$.

Абсорбция - а) процесс, при котором излучение, проходя через вещество, передает ему всю свою энергию или часть ее (этот процесс чаще называют поглощением); б) поглощение одного вещества другим.

Аккумуляция энергии - создание тем или иным способом запаса энергии. Например, в гидроэнергетике запасают энергию, перекачивая воду в вышележащий накопительный бассейн. В периоды пикового потребления энергии вода из такого бассейна приводит в действие специальные турбины гидроаккумулирующей электростанции.

Альфа-излучение (α -излучение) - вещественное (корпускулярное) ионизирующее излучение в виде потока альфа-частиц, т. е. ядер гелия ${}^4_2\text{He}$, возникающее при ядерных превращениях.

Альфа-частица (α -частица) - атомное ядро гелия, состоящее из двух протонов и двух нейтронов, которое испускается ядром атома при некоторых ядерных превращениях.

Ампер (А) - единица силы электрического тока. 1 А - это сила такого неизменяющегося электрического тока, который, протекая по двум параллельным прямолинейным проводам очень большой длины и очень малого круглого сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызывает между ними силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н} \left(2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{М} \cdot \text{КГ}}{\text{с}^2} \right)$

на участке длиной 1 м.

Ампер-секунда - см. **Кулон**.

Атмосфера (ат) - неосновная единица давления. 1 ат - это такое давление, когда на 1 см^2 поверхности действует сила 1 кг. Соотношение между атмосферой и основной единицей давления в системе СИ составляет $1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 9,80665 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$.

Атом - наименьшая частица вещества, еще сохраняющая все химические свойства данного элемента. Состоит из ядра и электронной оболочки.

Атомная (ядерная) электростанция - вырабатывает электроэнергию, используя в качестве источника атомную (ядерную) энергию управляемой цепной реакции деления. В результате этой реакции в энергетическом реакторе выделяется тепло, которое испаряет воду, а пар приводит в действие турбогенераторы.

Атомная энергия - см. более точное название **Ядерная энергия**.

Атомное ядро - положительно заряженная центральная часть атома, составляющая практически всю его массу.

Атомный вес - см. **Относительная атомная масса**.

Атомный номер (атомное число) Z - число протонов в атомном ядре; совпадает с порядковым номером данного элемента в периодической таблице Менделеева.

Атомный реактор - см. **Ядерный реактор**.

Батарея - несколько соединенных гальванических элементов, преобразующих химическую энергию в электрическую.

Бета-излучение (β -излучение) - корпускулярное ионизирующее излучение в виде потока электронов или позитронов, возникающее при ядерном бета-превращении.

Бета-частица (β -частица) - электрон, заряженный отрицательно, испускаемый атомным ядром при бета-превращении.

Ватт (Вт) - единица мощности; при такой мощности совершается работа 1 джоуль в секунду ($1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$).

Вещество - одна из двух известных до сего времени форм существования материи, отличающаяся тем, что ее основные частицы: атомы, молекулы, ионы, а также атомные ядра (протоны и нейтроны), электроны обладают массой покоя.

Возбужденный атом - атом, электронная оболочка которого временно перешла в состояние с большей энергией, чем исходное (нормальное) состояние.

Вольт (В) - единица электрического напряжения в системе СИ; 1 В - это напряжение между концами проводника, в котором течет постоянный ток силой 1 А.

Восстановление - тип химической реакции, в которой атомы (или молекулы) восстанавливаемого вещества принимают электроны, например, соединяются с водородом или теряют кислород.

Выпрямитель - устройство, преобразующее переменный электрический ток в постоянный.

Гальванический элемент - химический источник постоянного электрического тока. Состоит из положительного и отрицательного электродов, погруженных в соответствующий электропроводящий раствор или растворы.

Гамма-излучение (γ -излучение) - электромагнитное излучение, испускаемое преимущественно атомными ядрами.

Гелиоэнергетика - область науки и техники, занимающаяся вопросами энергетического использования солнечной радиации.

Геотермальная электростанция - энергетический агрегат, в котором тепло земных недр в виде природного пара, горячих вод и газов используется для выработки электрического тока.

Геотермическая ступень - перепад глубины (в метрах), на котором температура земной коры возрастает 1°C .

Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) - тип гидроэлектростанции, предназначенный для аккумуляции энергии.

Гидроэлектрическая станция (гидроэлектростанция, ГЭС) - электростанция, использующая кинетическую или потенциальную энергию вод в реках, ручьях и озерах, которую она преобразует в механическую энергию, а затем в электрический ток.

Давление - сила, действующая равномерно на определенную поверхность. Измеряется в Паскалях (Па).

Двигатель - устройство, предназначенное для преобразования определенной формы энергии (например, электрической в электродвигателе) в механическую энергию.

Двигатель внутреннего сгорания - тепловая машина, в которой тепло сгорания соответствующего топлива преобразуется непосредственно в механическую работу.

Деление атомных ядер - расщепление ядер атомов, как правило, на два осколка. Наступает самопроизвольно либо под действием бомбардирующих частиц. Наибольшее значение имеет процесс деления, вызванный нейтронами, на котором основано использование атомной энергии в ядерных реакторах. Для этого пригодны изотопы уран-235, уран-238 и плутоний-239

Джоуль (Дж) - основная единица энергии и работы в системе СИ. Работу в 1 Дж совершает сила 1 Н, действующая на пути 1 м в направлении силы. 1 Дж.

Диффузия - проникновение, переход; явление, при котором находящиеся в прямом контакте растворы или газы разного состава выравнивают по объему свою концентрацию.

Диффузор - расширяющаяся часть канала (трубы), в которой происходит уменьшение скорости потока газа или жидкости и возрастание давления.

Емкость (электрическая) - величина, выражающая коэффициент пропорциональности между электрическим зарядом, поступающим в проводник, и потенциалом, до которого он этот проводник заряжает. Единицей емкости служит фарад (Ф).

Замедлитель - вещество, которое превращает быстрые нейтроны в медленные, тепловые. Для замедления нейтронов пригодны легкие элементы с малой атомной массой (или соединения, содержащие такие элементы), например: вода, тяжелая вода, графит и т. д.

Изотоп - атомы какого-либо элемента с тем же числом протонов, но иным числом нейтронов в ядре.

Ион - электрически заряженная частица, т. е. атом или молекула с избытком или недостатком электронов.

Ионизация - отрыв электрона от атома или молекулы; процесс, в котором изменяется заряд электронных оболочек атомов, возникают ионы и свободные электроны.

Катализатор - вещество, которое ускоряет ход химической реакции, само оставаясь почти неизменным.

Кинетическая энергия (энергия движения) - энергия тела, находящегося в движении. Измеряется максимальной величиной работы, которую это тело может совершить до своей остановки.

Конденсация - процесс, в котором из пара образуется жидкость.

Кулон (Кл), или амперсекунда - электрический заряд, который протекает через поперечное сечение проводника за 1 с, когда сила тока в проводнике составляет 1 А.

Линза Френеля - представляет собой устройство, позволяющее использовать дифракцию Френеля для получения сфокусированного изображения. Кольцевая линза Френеля состоит из отдельных чередующихся темных и светлых колец, n -й радиус которых определяется по формуле: $R_n^2 = n\lambda r_0$, где r_0 - фокусное расстояние при длине волны λ .

Магнитогидродинамический генератор (МГД-генератор) - установка для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую, основанная на взаимодействии электропроводящего газа и магнитного поля.

Масса - физическая величина, количественно определяющая инерционные и гравитационные (т. е. весовые) свойства материальных объектов. Является неотделимым свойством материи. Основной единицей массы служит 1 кг.

Массовое число (нуклонное число) - количество нуклонов, т. е. протонов и нейтронов, в атомном ядре данного изотопа определенного элемента. Изотоп элемента X с числом протонов (атомным номером) Z и массовым числом A обозначают: ${}^A_Z X$ или ${}^A X$.

Материя - философская категория: объективная реальность, все то, что реально существует и что мы можем исследовать непосредственно нашими органами чувств, либо с помощью приборов. Материя существует независимо от наших ощущений и наблюдений, она не может быть создана или уничтожена. Известны две неразрывно связанные формы ее существования: вещество и поле.

Мощность - отношение работы к времени, за которое она выполнялась. Основной единицей мощности служит ватт (Вт), неосновной - лошадиная сила (л. с.). $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$.

Нейтрон - электрически нейтральная элементарная частица, один из двух основных видов частиц, составляющих атомное ядро.

Нейтронное излучение - корпускулярное излучение в виде потока нейтронов различной энергии.

Нуклон - общее название для протона и нейтрона.

Ньютон (Н) - основная единица силы. 1 Н - это сила, которая придает телу массой 1 кг ускорение 1 м/с²; 1Н= 1 кг·м/с².

Окисление - процесс соединения веществ с кислородом или вообще отдачи электронов.

Ом - единица электрического сопротивления проводников. 1 Ом - это сопротивление проводника, в котором постоянное напряжение 1 В между его концами вызывает ток 1 А, если в проводнике отсутствует электродвижущая сила.

Относительная атомная масса - величина, выражаемая числовым отношением средней массы атома данного элемента к 1/12 массы изотопа ¹²₆С.

Паровая турбина - тепловая машина, в которой колесо с лопатками вращается за счет кинетической энергии расширяющегося рабочего тела (водяной пар, фреон и т.д.).

Парогенератор - устройство для выработки энергетического или промышленного пара с заданными температурой и давлением из жидкости, чаще всего из воды.

Паскаль (Па) - основная единица давления в СИ. 1 Па - это давление, которое создает сила 1 Н, равномерно распределенная по плоской поверхности величиной 1 м², перпендикулярной к направлению действия силы; 1 Па = 1Н/м².

Перегретый водяной пар - пар с температурой выше 100°С, который получают, нагревая воду под давлением больше атмосферного. Во всех тепловых двигателях используется перегретый пар, поскольку, чем выше температура пара, тем больше КПД преобразования тепловой энергии в механическую.

Период полураспада (превращения) - среднее время, за которое самопроизвольно распадается (превращается) ровно половина первоначального количества радиоизотопа. При этом активность радиоактивного материала снижается вдвое.

Плазма - четвертое агрегатное состояние вещества: смесь газов, электронов, ионов и нейтральных атомов в основном и возбужденном состояниях. В целом плазма электрически нейтральна. Ее можно наблюдать при различных видах электрических разрядов, в звездном и межзвездном веществе, при термоядерной реакции.

Пламя - светящаяся реакционная система, в результате окисления нагревая до высокой температуры.

Подстанция – электроустановка, служащая для преобразования и распределения электроэнергии и состоящая из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительных устройств, устройств управления и вспомогательных сооружений. В зависимости от преобладания той или иной функции подстанций они называются соответственно трансформаторными или преобразовательными.

Позитрон - элементарная частица той же массы, что и электрон, с положительным элементарным электрическим зарядом.

Поле - одна из форм существования материи, отличающаяся тем, что ее элементарные частицы имеют нулевую массу покоя (т. е. не могут находиться в состоянии относительного покоя).

Полупроводник - твердое (или иногда жидкое) вещество, которое в определенных условиях, например, при повышении температуры или при введении примеси какого-то элемента, становится электропроводным. Носителями тока в полупроводнике служат электроны или так называемые дырки, концентрация которых - в отличие от металлов - сильно зависит от температуры. Полупроводниками являются, в частности, германий, кремний, селен и др.

Потенциал (электрический) - работа, необходимая для переноса точечного электрического заряда в электрическом поле из точки, выбранной за начало отсчета, в другую (в которой потенциал определяется). Измеряется в вольтах (В), как и напряжение.

Потенциальная энергия (энергия положения) - механическая энергия, связанная с положением материальной точки или тела в гравитационном поле. Ее мерой служит работа, которую тело может совершить, переходя из данного места в место, выбранное за начало отсчета.

Потребитель электрической энергии – электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещенным на определенной территории.

Приемник электрической энергии (электроприемник) – аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии другой вид энергии.

Приливная электростанция — электростанция, в которой электрический ток вырабатывается за счет энергии морских приливов и отливов.

Природный газ - углеводородный газ, часто встречающийся в природе вместе с нефтью. Содержит метан, пропан, бутан. Чрезвычайно удобное топливо с большой теплотой сгорания.

Протон - стабильная, положительно заряженная элементарная частица, одна из двух главных составляющих атомного ядра.

Работа - важнейший результат действия сил. Устройство или система может совершать работу только за счет какой-то энергии. Основной единицей работы, как и энергии, служит джоуль ($1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт}\cdot\text{с}$).

Радиоактивное превращение - вид ядерного превращения: самопроизвольное изменение состава или состояния атомных ядер изотопа.

Радиоактивность - способность некоторых атомных ядер (радиоактивных изотопов) распадаться с испусканием альфа-, бета- и гамма-излучения.

Радиоактивный изотоп (радиоизотоп) - нестабильный, самопроизвольно превращающийся изотоп химического элемента.

Радиолиз воды - разложение воды под действием излучения с образованием молекулярного водорода (H_2), перекиси водорода (H_2O_2), свободных водородных ($\text{H}\text{---}$) и гидросильных ($\text{OH}\text{---}$) радикалов.

Сверхпроводимость - явление, заключающееся в уменьшении электрического сопротивления проводников до неизмеримо малой величины.

Сила - основная физическая величина, которая характеризуется численным значением, направлением, знаком и точкой приложения. Единицей силы в СИ является **ньютон (Н)**.

Сопло - устройство для увеличения выходной скорости жидкостей, паров и газов, перетекающих из зоны с более высоким давлением в зону с меньшим давлением.

Сопло – канал специального профиля, предназначенный для разгона жидкостей или газов до заданной скорости и придания потоку нужного направления.

Температура - физическая величина, характеризующая тепловое состояние тел (веществ), степень их нагрева. Для измерения температуры используют такие свойства определенных веществ, которые с температурой плавно меняются. Единицей температуры в СИ служит кельвин (К) или градус Цельсия (°С).

Тепловая электростанция - электростанция, основное технологическое оборудование которой состоит из паровых котлов и турбин, а в топках котлов сжигается твердое, жидкое или газообразное топливо.

Теплота (тепло) - особая форма переноса энергии при взаимодействии двух систем с разной температурой. Подведение или отбор (расход) тепла приводит соответственно к повышению или снижению температуры. Тепло может самопроизвольно переходить только от более теплой (горячей) системы к более холодной. В тепло может превращаться механическая работа, например при трении; обратное превращение осуществляется в тепловых машинах. Теплота (количество тепла) измеряется в тех же единицах, что работа и энергия, основной единицей СИ является джоуль (Дж).

Теплота сгорания - количество тепла, выделяющееся при сжигании массовой или объемной единицы топлива.

Термодинамика - наука о превращении тепла в другие виды энергии, особенно в механическую работу, шире - наука о возможных состояниях макроскопических тел.

Термоэлектрический эффект — возникновение электродвижущей силы в цепи, образованной из двух металлов или полупроводников, когда один из них имеет более высокую температуру, чем другой.

Топливный элемент - устройство, вырабатывающее электрическую энергию; действует противоположно электролизеру. Простейший топливный элемент, используя в качестве топлива водород и кислород, производит воду и электрический ток.

Топливо (химическое) - вещество, при горении которого выделяется тепловая энергия; в двигателях она преобразуется в механическую.

Турбина - двигатель с вращающимся рабочим колесом (ротором), в котором кинетическая энергия потока воды или пара при изменении направления или скорости потока на лопатках рабочего колеса превращается в кине-

тическую энергию самого колеса. Турбины бывают водяные, паровые и газовые.

Углеводород - органическое соединение, состоящее только из углерода и водорода.

Уголь - ископаемое горючее, образовавшееся из органических веществ, преимущественно растительных, которые после биохимического разложения оказались изолированными от доступа воздуха осадочными слоями или подверглись обугливанню (карбонизации). Основные свойства углей и их теплота сгорания зависят от интенсивности и продолжительности этого процесса.

Условное топливо (у.т.) - для соизмерения качественно разных энергетических топлив их теплота сгорания приводится к теплоте сгорания некоего условного топлива, равной 29330 кДж/кг, или 7000 ккал/кг. Перевод количества различных энергоносителей в тонны условного топлива (т.у.т.) может производиться на основании следующих пропорций:

антрацит - 1 т.у.т.;

бурый уголь - 0,67 т.у.т.;

сырая нефть - 1,3 т.у.т.;

нефтепродукты - 1,5 т.у.т.;

природный газ (1000 м³) - 1,33 т.у.т.;

электроэнергия (1000 кВт*ч) – 0,125 т.у.т.

Уточненный расчет производится по формуле $V_{\text{усл}} = \frac{V_{\text{нат}} Q_{\text{нат}}}{29300 \cdot 10^3}$, т.у.т.

Фарад (Ф) - единица электрической емкости в СИ.

1 Ф - это емкость электрического конденсатора, на котором при получении заряда 1 Кл напряжение изменяется на 1 В.

Фотоэлектрический эффект - возникновение фото-электродвижущей силы при освещении.

Фотоэлемент - устройство, в котором при освещении возникает электродвижущая сила.

Цепная реакция - реакция, которая на определенной стадии поддерживает сама себя. Цепная ядерная реакция наступает, например, при горении или при расщеплении атомных ядер тяжелых элементов под действием нейтронов, когда при каждом взаимодействии число свободных нейтронов растет и происходит самоподдерживающийся процесс ядерного деления.

Экология - наука о взаимосвязях между сообществами организмов и их жизненной средой.

Электрическая сеть – совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных (ВЛ) и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Электрическая энергия - форма энергии движущихся электронов или распределения электрического заряда в пространстве.

Электрический двигатель (электродвигатель) - устройство, превращающее электрическую энергию в механическую

Электрический ток - направленное движение электрических зарядов, вызванное электрическим полем. Сила электрического тока выражает количество заряда, который протекает через поперечное сечение проводника за единицу времени. Единицей силы тока является ампер (А).

Электрическое напряжение - разность потенциалов между двумя точками электрического поля, единицей служит вольт (В).

Электрогенератор - машина для преобразования механической энергии в электрический ток. В энергетике наиболее распространены трехфазные генераторы переменного тока.

Электролиз - химическая реакция, протекающая при прохождении постоянного электрического тока через растворы или расплавы электролитов.

Электрон - стабильная элементарная частица массой $9,108 \cdot 10^{-31}$ кг с отрицательным элементарным электрическим зарядом.

Электрон-вольт (эВ) - единица энергии, которую приобретает электрон, проходя между точками с разностью потенциалов 1 В. На практике употребляют более крупные единицы: 1000 эВ (т. е. кило электрон-вольт, кэВ) и 1 млн. эВ (мегаэлектрон-вольт, МэВ).

Электронная оболочка - часть атома, которая окружает ядро и имеет отрицательный электрический заряд. Число электронов в оболочке электрически нейтрального атома равно числу протонов в ядре.

Электроснабжение – обеспечение потребителей электрической энергией.

Электроэнергетическая система – электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии, объединенные общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Элемент (химический) - вещество, атомы которого имеют одинаковое число протонов (атомный номер).

Эндотермический процесс - процесс, при котором потребляется тепло.

Энергетика - в широком смысле отрасль хозяйства, занимающаяся получением, превращениями, доставкой и использованием всех форм энергии. В более узком смысле - электрификация, теплофикация, газификация, гидроэнергетика, атомная энергетика и т. д.

Энергетическая система (энергосистема) – совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической энергии и теплоты при общем управлении этим режимом.

Энергия - **общая мера различных форм движения материи. По форме этого движения различают энергию тепловую, механическую, ядерную и т.п. Поскольку часть энергии всегда может быть превращена в работу, энергию можно рассматривать как способность тела совершить работу.**

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Твайделл, А. Уэйр. Возобновляемые источники энергии. -М.: Энергоатомиздат, 1990 г.-391 с.
2. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. -М.: Энергоатомиздат, 1983 г.
3. Олешкевич М.М., Лосюк Ю.А. Нетрадиционные источники энергии. Учебно-методическое пособие для студентов вузов. Минск. БГПА, 2001
4. Олешкевич М.М. Перспективы ветроэнергетики в Беларуси//Энергетика. Известия вузов и ЭО СНГ-1999. -№1
5. Лаврентьев Н.А., Жуков Д.Д. Развитие белорусской ветроэнергетики. Опыт Занарочи // Энергия и ТЭК. – 2004. – № 8. –С. 43 – 45.
6. Выморочков Б.М. Геотермальные электростанции. М.-Л.: Энергия, 1986 г.
7. Коробков В.А. Преобразование энергии океана. -Л., Судостроение, 1986 г.
8. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии. -М.: Энергоатомиздат, 1981 г.
9. Сассон А. Биотехнология: свершения и надежды. - М., Мир, 1967 г.
10. Копытов Ю.В., Чуланов Б.А. Экономия электроэнергии в промышленности. - М.: Энергия, 1982 г.
11. Олешкевич М.М., Макоско Ю.В. Анализ характеристик роторных ветроэнергетических установок. //Энергетика. Известия вузов и ЭО СНГ-2000. -№6
12. Олешкевич М.М., Макоско Ю.В. Моделирование квазиустановившихся режимов работы асинхронного генератора системного ветроагрегата. //Энергетика. Известия вузов и ЭО СНГ- 2003. -№3, с.29-42
13. Олешкевич М.М., Макоско Ю.В., Олешкевич В.М., Фалюшин П.Л., Бохан Н.И. Комбинированные энергетические установки на возобновляемых источниках энергии. //Энергетика. Известия вузов и ЭО СНГ -2000. -№5, с. 23-30
14. Постановление СМ РБ от 24.4.1997г. №400 с изменениями 28.2.2002г. № 288 «О развитии малой и нетрадиционной энергетики».
15. Постановление СМ РБ от 22.5.1997г. №45 «О порядке формирования тарифов на электроэнергию, покупаемую у объектов малой и нетрадиционной энергетики»
16. Ахмедов Р.Б. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. -М.: О-во «Знание», 1988.
17. Калашников Н.П. Альтернативные источники энергии. -М.: О-во «Знание», 1987.
18. Калинин Ю.Я., Дубинин А.Б. Нетрадиционные способы получения энергии. - Саратов: СПИ, 1983. -70 с.
19. Лабунцов Д.А. Физические основы энергетики. -М.: Изд-во МЭИ, 2000.

21. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Тер-Газарян А.Г. Накопители энергии в электрических системах. -М.: Высшая школа, 1989.-159 с.
22. Батенин В.М., Баранов Н.Н. Создание новых видов автономных энергоустановок на основе методов прямого преобразования энергии//Изв. РАН. Энергетика. 1997.№2.С.3-28.
23. Веников В. А., Путятин Е.В. Введение в специальность. М.: Высшая школа, 1988.-239 с.
24. Веников В.А., Журавлев В.Г., Филиппова Т.А. Энергетика в современном мире. М.: Знание, 1986.-192 с.
25. Лукутин Б.В. Проблемы малой ветро- и гидроэнергетики //Энергетика: экология, надежность, безопасность. Томск: Изд. ТПУ, 1997. С. 87-93.
26. Твайделл Д., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. М.: Энергоатомиздат, 1990.-392 с.
27. Телдеши Ю, Лесны Ю. Мир ищет энергию. М.: Мир, 1984. –439 с.
28. Технический прогресс энергетики СССР/Под ред. П.С. Непорожного. -М.: Энергоатомиздат, 1986.-224 с.
29. Швец И.Т., Толубинский В.И., Букшпун И.Д. и др. Энергетика. Киев: Вища школа, 1974,-616с.
30. Бальзанников МИ Выбор основных параметров о комплекса в С-ГАЭС: тез. докл. обл. 58-й научно- техн. конф. -Самара: СамГАСА, 2001.
31. Солнечная энергетика.: учеб. пособие / В.И. Виссарионов [и др]. -М: Издательский дом МЭИ, 2008. -276 с.
32. Сидоренко Г.И. Экономика установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Техничко-экономический анализ: учеб. пособие / Г.И. Сидоренко, В.И. Пименов, И.Г. Кудряшева; под общ. ред. В.В. Елистратова. — СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2008. -248 с.
33. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России.: учеб. пособие / П.П. Безруких [и Др], м.: Книга-Рента, 2008. -128 с.
34. Безруких П.П. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология: учеб. пособие / П.П. Безруких. -М.: Колос, 2008. -196 с.
35. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива. Показатели по территориям: справ, пособие / -М.: ИАЦ Энергия, 2007. -272 с.
36. Елистратов В.В. Солнечные энергоустановки. Оценка солнечного излучения: учеб. пособие / Елистратов В.В., Грилихес В А., Е.С. Аронова; под общ. ред. В.В. Елистратова. - СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2008. -100 с.
37. Елистратов В.В. Ветроустановки. Автономные ветроустановки и комплексы: учеб. пособие / В.В. Елистратов, М.В. Кузнецов, СЕ. Лыков. - СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2008. -100 с.
38. Ю.Андреев А.Е. Гидроэлектростанции малой мощности: учеб. пособие / А.Е. Андреев, Я.И. Бляшко, Л.И. Кубышкин; под общ. ред. В.В. Елистратова. - СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2007. - 432 с.

39. Алхасов, Алибек Басирович. Возобновляемые источники энергии: учеб. пособие : рек. УМО / А. Б. Алхасов, 2011. - 271 с.

40. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: учеб. / Л.С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин, 2010. - 464 с.

42. Роза, Альдо В. да. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учеб. пособие / А. В., да Роза ; пер. с англ., ред. С. П. Малышенко, пер. с англ., ред. О. С. Попель, 2010. - 704 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ ДАГЕСТАНА.....	6
1.1. Современное состояние использования возобновляемых источников энергии. Предпосылки развития возобновляемых источников энергии.....	9
2. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	11
2.1. Традиционные и нетрадиционные источники энергии.....	11
2.2. Запасы и динамика потребления энергоресурсов, политика России в области нетрадиционных и возобновляемых источников энергии	11
3. ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА.....	14
3.1. Характеристики солнечного излучения.....	14
ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ.....	18
3.2. Солнечные нагревательные системы.....	19
ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ.....	23
3.3. Солнечные системы для получения электроэнергии на основе термодинамического принципа.....	25
ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ.....	30
3.4. Фотоэлектрические генераторы.....	32
4.0. БИОЭНЕРГЕТИКА. БИОМАССА КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ.....	37
ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ.....	44
5.0. ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ.....	47
ВОПРОСЫ.....	51
6.0. ЭНЕРГИЯ ОКЕАНОВ.....	52
ВОПРОСЫ.....	57

7.0. ГИДРОЭНЕРГЕТИКА.....	58
ВОПРОСЫ.....	61
8.0. ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГИЯ.....	63
ВОПРОСЫ.....	66
9.0. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	67
ВОПРОСЫ.....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ	74
ЛИТЕРАТУРА.....	83
СОДЕРЖАНИЕ.....	85