

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА»

Кафедра « Энергоэффективные технологии на транспорте»

В.М. ОВЧИННИКОВ, Л.В. ШЕНЕЦ, В.В.МАКЕЕВ

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

*Одобрено методической комиссией строительного факультета в
качестве учебно-методического пособия по дисциплинам
«Энергетическая стратегия государства», и «Местные виды
топлива и их использование на практике» для студентов
специализации I-43 01 06 06
«Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент на
транспорте»*

УДК
БК

Рецензент – заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и экология» учреждения образования «Белорусский государственный технический университет им. П.О.Сухого» кандидат наук, доцент А.В.Овсянник

Овчинников В.М.

Основные виды и характеристика энергитических ресурсов: учебно-методическое пособие для студентов специализации «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент на транспорте»/ В.М. Овчинников, Л.В. Шнец, В.В. Макеев. Мин-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус.гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2015, – с.

Рассмотрено важное значение энергетики в жизни современного человека. Приведена классификация энергоресурсов и природа их возникновения.

Дана характеристика традиционным горючим ископаемым (уголь, нефть, природный газ) и современным невозобновляемым энергоресурсам (сланцевый газ, сланцевая нефть, битуминозные пески).

Ядерная энергетика выделена из традиционных энергоресурсов и рассмотрена ее применимость в Беларуси

Всесторонне рассмотрены возобновляемые энергоресурсы (биомасса, гидро-, ветро- и гелиоэнергия), и их возможность применения в Беларуси.

Проанализированы тепловые насосы, которые используют низкопотенциальную энергию земли и преобразуют ее в тепловую энергию для нужд отопления.

Предназначена для студентов энергетической специализации 1-43 01 06 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент на транспорте» при изучении дисциплин «Энергетическая стратегия государства» и «Местные виды топлива и их использование на практике». Может быть использована студентами технических специальностей транспорта и строительства при изучении дисциплины «Основы энергосбережения», а также полезна инженерно-техническим работникам при решении вопросов, связанных с энергосбережением на предприятии.

УДК
БКК

ISBN

© Овчинников В.М., Шнец Л.В.,
Макеев В.В., 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	
Введение.....	
1 Классификация топливно-энергетических ресурсов.....	
2 невозобновляемые энергетические ресурсы.....	
2.1 Традиционные органические топлива.....	
2.2 Теплота сгорания топлива.....	
2.3 Условное топливо.....	
2.4 Горение углеводородного топлива.....	
2.5 Расход воздуха на горение.....	
2.6 Состав продуктов сгорания при сжигании углеводородного топлива.....	
2.7 Нетрадиционные природные источники энергии.....	
2.8 Неорганические топлива.....	
2.9 Водород как топливо.....	
3 Ядерная энергия.....	
3.1 Общие сведения по ядерной энергии.....	
3.2 Цепные реакции деления ядерных топлив.....	
4 Возобновляемые источники энергии.....	
4.1 Энергия биомассы.....	
4.2 Гидроэнергетические ресурсы.....	
4.3 Энергия ветра.....	
4.4 Солнечная энергия.....	
5 Низкопотенциальная энергия земли.....	
Заключение.....	
Список литературы.....	

Основные единицы измерения

- м (метр) – единица измерения длины
- км (километр) – единица измерения длины ($1\text{ км} = 1000\text{ м}$)
- миля сухопутная – единица измерения длины ($1\text{ миля} = 1,609\text{ км}$)
- с (секунда) – единица измерения времени
- ч (час) – единица измерения времени ($1\text{ ч} = 3600\text{ с}$)
- м/с (метр в секунду) – единица измерения скорости
- км/ч (километр в час) – единица измерения скорости
($1\text{ м/с} = 3,6\text{ км/ч}$)
- кг (килограмм) – единица измерения массы
- т (тонна) – единица измерения массы ($1\text{ т} = 1000\text{ кг}$)
- К (Кельвин) – единица измерения температуры
- °С (градус Цельсия) – единица измерения температуры
($T, K = t, ^\circ\text{C} + 273,15$)
- Дж (Джоуль) – единица измерения энергии
- кДж (килоджоуль) – единица измерения энергии
($1\text{ кДж} = 1000\text{ Дж}$)
- МДж (мегаджоуль) – единица измерения энергии
($1\text{ МДж} = 1\,000\,000\text{ Дж}$)
- ГДж (гигаджоуль) – единица измерения энергии
($1\text{ ГДж} = 1\,000\,000\,000\text{ Дж}$)
- кал (калория) – единица измерения тепловой энергии
($1\text{ кал} = 4,184\text{ Дж}$)
- ккал (килокалория) – единица измерения тепловой энергии
($1\text{ ккал} = 1000\text{ кал} = 4184\text{ Дж}$)
- Мкал (мегакалория) – единица измерения тепловой энергии
($1\text{ Мкал} = 1\,000\,000\text{ кал}$)
- Гкал (гигакалория) – единица измерения тепловой энергии
($1\text{ Гкал} = 1\,000\,000\,000\text{ кал}$)
- Вт (ватт) – единица измерения мощности
- кВт (киловатт) – единица измерения мощности ($1\text{ кВт} = 1000\text{ Вт}$)
- МВт (мегаватт) – единица измерения мощности
($1\text{ МВт} = 1000\text{ кВт} = 1\,000\,000\text{ Вт}$)
- кВт·ч (киловатт-час) – единица измерения энергии
($1\text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3\,600\,000\text{ Дж} = 860\text{ ккал}$, $1\text{ Гкал} = 1\,163\text{ кВт}\cdot\text{ч}$)
- м³ (кубический метр) – единица измерения объема
- л (литр) – единица измерения объем ($1\text{ м}^3 = 1000\text{ л}$)
- галлон – единица измерения объема ($1\text{ галлон} = 4,546\text{ л}$)
- б (баррель) – единица измерения объема нефти ($1\text{ б} = 158,98\text{ л}$)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Известно, что энергия считается основой современной цивилизации. Тепловая и электрическая энергия широко используются в промышленности непосредственно в технологических процессах и для приведения в действие самых различных механизмов и оборудования, на транспорте и в его инфраструктуре, в быту. Работа современных средств связи – телеграфа, телефона, радио, телевидения – основана также на применении энергии электрической. Без энергии невозможно было бы развитие вычислительной техники, кибернетики, космической техники и т.д.

В настоящее время для получения полезных видов энергии затрачивается в основном природное топливо: каменный уголь, нефть и газ. Но запасы этого природного топлива убывают и не восполняются. Все шире начинают использоваться альтернативные источники энергии, в основном это: ядерная энергия, биомасса, ветро-, гидро- и гелиоэнергия.

В результате актуальность рационального, бережливого, эффективного, а следовательно, экономного потребления и распределения энергии возрастает во всём мире. Особенно это важно для Беларуси в связи с недостаточной обеспеченностью собственными природными энергоресурсами. Это вызвало необходимость подготовки специалистов, имеющих квалификацию инженер-энергомеджер, на которых рассчитано данное учебно-методическое пособие.

В учебно-методическом пособии дана характеристика традиционных горючих ископаемых (угля, нефти и природного газа) и современных возобновляемых энергоресурсов (сланцевого газа, сланцевой нефти, битуминозных песков). Особо выделена атомная электростанция, которая строится в Беларуси.

Рассмотрены всесторонне такие возобновляемые источники энергии, как биомасса, ветер, движение воды и солнечное излучение. Проанализированы также теплонасосные установки, приведена их характеристика.

Авторы выражают признательность инженеру П.А. Лутченко, заведующему лабораторией Е.К. Бородёнку и технику М.А. Лутченко за техническое оформление пособия.

ВВЕДЕНИЕ

Никакой вид энергии не обходится так дорого, как ее недостаток.

Гоми Баба

Это высказывание известного индийского ученого никогда не звучало столь актуально, как в наши дни, когда человечество, не считаясь с огромными финансовыми расходами, прилагает все усилия к поиску новых путей получения энергии. Нынешняя действительность показывает, что какой бы прогрессивной, технологической ни была страна, но без энергонезависимости отключение от энергопотоков моментально убьет современную цивилизацию, откатив экономику на десятки лет назад по уровню развития. Это было подтверждено крупнейшей энергетической аварией XX века, произошедшей 9 ноября 1965 года, которая потрясла Нью-Йорк и некоторые близлежащие к нему города.

Случилось вот что: на одной из второстепенных линий электропередач, связывающих США с Канадой, возникли неполадки. Они привели к отклонению других параллельных линий, вследствие чего образовалась лавинорастущая авария. В результате отключились электростанции мощностью примерно 45 млн кВт (для сравнения общая мощность электростанций Беларуси около 10 млн кВт). Такой встряски не выдержала вся электро-энергетическая сеть северо-востока страны, и электроэнергию лишились 8 штатов США и 2 провинции Канады с населением примерно 40 млн человек.

В тот вечер (авария произошла в часы «пик» 9 ноября) все населенные пункты окутала кромешная тьма. Особенно жутко это проявилось в таком мегаполисе как Нью-Йорк. Выключенные светофоры вызвали пробки и аварии на транспорте. В метро остановились поезда на перегонах, выключилась вентиляция, нарушилась система откачки грунтовых вод – люди оказались в ужасном положении, началась паника. «Служба спасения» не могла прийти на помощь, она была парализована.

Авария произошла при окончании рабочего времени бизнес-центров. Поэтому люди, покидавшие работу в офисах, размещенных в высотных зданиях, оказались запертыми в лифтах, лишенные притока воздуха (фактически лифты превратились в душегубки).

Вышли из строя холодильные хранилища. Нарушились технологические процессы на заводах и фабриках, что привело к авариям. Возникли пожары. Начались грабежи. Пожарные команды и полиция в сложившейся ситуации оказались бессильны. Нарушилась связь. Жизнь мегаполиса и других городов была парализована. Лишь на следующий день возобновилась работа электростанций. Много оказалось погибших, искалеченных и раненых людей. Избежавшие этой участи люди оказались лишившимися крова, поскольку многие здания были охвачены пожарами. Урон, нанесенный аварией, был колоссальный.

Эта авария предельно четко, хотя конечно и очень зло, показала значение энергии для современного общества.

Современная энергетика в качестве топлива использует в основном природные горючие ископаемые, т.е., по сути дела, аккумулированную солнечную энергию. Сначала это были дрова, затем вода и ветер, потом уголь, нефть и газ.

В настоящее время «до половины бюджета промышленно развитых стран тратится на обеспечение общества энергией» (президент АН СССР А.Александров). Причем добыча горючих ископаемых требует все большего труда при непрерывном росте потребностей в энергии и загрязнении атмосферы при сокращении топливных запасов.

Как известно, первый энергетический кризис произошел в 1973-1974гг. Страны-экспортеры нефти снизили объемы добычи, что привело к росту цен на нефть. Этот рост, с менее чем двух долларов за баррель в начале 1973г. до более чем 11 долларов за баррель к весне 1974г., т.е. почти в 6 раз, был умышленно спровоцирован ведущими экспортерами нефти и никаким образом не был связан с физической нехваткой запасов топлива. Кризис прервал беспрецедентный период экономического роста после Второй мировой войны. Он заставил отдельных лиц, организации и правительства обратить

внимание на все более усложняющуюся задачу: обеспечить достаточное количество энергоресурсов по разумным ценам.

Затем случилось еще два крупнейших нефтяных кризиса. Сначала энергетический кризис в 79-80 годов из-за исламской революции, что вызвало повышение цен на нефть. В конце 80-х снова был обвал цен на нефть, что ускорило распад СССР. Затем нефтяной кризис начала 90-х годов из-за войны между нефтяными странами Ираком и Кувейтом.

Колебания цен на нефть – в мировой экономике явление обычное. После резкого падения в 2009 году, обусловленного мировым финансовым кризисом, «черное золото» постепенно поднялось в цене до уровня более 100 долларов за баррель и продержалось на этой отметке с февраля 2011 года по сентябрь 2014 года. Затем снова падение цен на нефть (в июле 2015 года 1 баррель нефти стоил менее 60 долларов).

Обычно резкое изменение цен на нефть связывают либо с изменением экономических показателей крупнейших держав, либо с изменением добычи в странах-экспортерах, либо с появлением на мировом энергетическом рынке мощного участника, способного влиять на цены. Но есть еще одна причина – политическая.

Несколько десятков лет назад к энергии, получаемой из органического топлива, добавилась энергия, сопровождающая деление ядер атомов. Необходимость этого диктовалась истощением запасов органического топлива.

Развитие атомной энергетики – мировая тенденция. Даже страны, которые не относятся к числу энергозависимых, продолжают идти по этому пути. Мораторий на ядерную энергетику, введенный отдельными странами после аварии на Чернобыльской АЭС, к настоящему времени практически отменен. Требование закрыть атомные станции на реакторах чернобыльского типа (РБМК) выполнено только в Литве: под давлением ЕС второй блок Игналинской АЭС остановлен 1 января 2010 года. Вместе с тем реакторы не были выведены из эксплуатации не только в странах Восточной Европы, но и в Финляндии. Более того, Болгария и Словения вновь запускают ранее остановленные реакторы чернобыльского типа. На месте Игналинской АЭС страны Балтии планируют построить Висагинскую АЭС.

Мировое сообщество уже давно осознало ограниченность запасов ископаемого топлива. Рано или поздно человечество выкачает из земных недр всю нефть, сожжет весь газ и выкопает весь уголь. Основная проблема в том, что эти легкодоступные энергетические ресурсы не возобновляются.

Не стоит также забывать и об отрицательном экологическом воздействии сжигания ископаемого топлива. Увеличение содержания парниковых газов в атмосфере приведет к увеличению средней температуры на планете. Продукты сгорания ископаемого углеводородного топлива загрязняют воздух.

По всему миру человечество ищет и постепенно внедряет замену ископаемого топлива. Ведущие государства уже сейчас внедряют программы постепенного перехода на экологически чистые и возобновляемые источники энергии. Во всем мире внедряются солнечные, ветряные, гидравлические, приливные и геотермальные электростанции.

Но пока у альтернативной энергетики много проблем. Например, проблема географического распределения энергетических ресурсов. Ветряные электростанции строятся только в районах, где часто дуют сильные ветры, солнечные – минимальное количество пасмурных дней, гидроэлектростанции – на крупных и горных реках.

Вторая проблема альтернативной энергетики – нестабильность. На ветроэлектростанциях выработка зависит от ветра, который постоянно меняет свою скорость или вообще затихает. Гелиоэлектростанции плохо работают в пасмурную погоду и вообще не работают ночью.

Из-за этих и многих других сложностей замедляется развитие альтернативной энергии в мире. Сжигать ископаемое топливо пока по-прежнему проще и дешевле.

В общем, как сказал Шухов, герой повести А.И. Солженицина «Один день Ивана Денисовича»: «Любое решение, как и палка, имеет два конца». С одной стороны – выгода, плюс, и с другой стороны – убыток, минус.

Следовательно, проблемы связанные с происхождением, экономичностью, техническим освоением и способами использования различных источников энергии, были и будут неотъемлемой частью нашей жизни. Понимание принципов

производства и потребления энергии создает необходимую предпосылку для успешного решения нынешних задач и ближайшего будущего. Таким образом, получение знаний в области энергетики, особенно энергоэффективности, весьма актуально и необходимо.

1 КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Мы не потому действуем, что познаем, а познаем, потому что предназначены действовать.

И. Фихте, немецкий философ

На основе всеобщего закона сохранения энергии человечество, обитающее на поверхности Земли, может использовать такое количество энергии, которое есть на поверхности Земли. Рассмотрим общий бюджет энергии земной поверхности. На поверхность Земли энергия поступает из трех источников.

Первый источник – это кинетическая энергия вращения Земли, часть которой нам доступна благодаря тому, что океанские приливы являются постоянным тормозом, замедляющим вращение планеты. Приливы являются возобновляемым источником и для практических целей обладают определенной энергией.

Второй источник – это энергия земных недр, которая поступает на поверхность Земли в форме тепла, называемого геотермальным. Сейчас высокие температуры внутри Земли поддерживаются теплом, выделяемым при спонтанном распаде природных радиоактивных элементов – урана и тория. В качестве ресурсов атомной энергии рассматриваются только уран и торий, сосредоточенные в самой верхней однокилометровой кромке континентов. Ядерный потенциал Земли огромен и никогда не может быть полностью использован не только потому, что невозможно переработать на глубину в 1 км всю поверхность суши, но еще и потому, что для извлечения урана и тория из горных пород потребуется больше энергии, чем ее может быть произведено потребителями этого сырья – атомными станциями.

Третий источник – это Солнце, которое посылает на поверхность Земли тепло и свет. Ежедневно на Землю поступает $1,5 \cdot 10^{12}$ Дж солнечной энергии, или в единицах мощности $17,3 \cdot 10^{16}$ Вт. Этот огромный поток свидетельствует по существу о безграничности солнечной энергии, и вопрос состоит в том, как ее использовать, превратив в полезные для человека виды энергии, и как это сделать разумно и без ущерба

окружающей человека среде. Поступающая солнечная энергия затрагивает почти каждый процесс и каждое живое существо на земной поверхности. Нагревая атмосферу, океаны и сушу, солнечное тепло вызывает движение воздуха в виде ветра, часть солнечной энергии аккумулируется в водных резервуарах – озёрах и реках, часть в растениях и животных. Однако вся энергия (почти вся) поступившая на Землю, вновь излучается в холодный космос, сохраняя земную поверхность в тепловом равновесии. Лишь небольшая часть солнечной энергии временно аккумулируется, как указано ранее, в атмосфере, воде и биомассе.

Захороненный в осадках органический материал также аккумулирует запас солнечной энергии. При этом главным энергоуправляющим механизмом является фотосинтез – процесс, благодаря которому растения, используя лучистую энергию Солнца, соединяют воду с двуокисью углерода (углекислым газом) CO_2 и производят углеводороды, необходимые для жизнедеятельности растений (рост, плодоношение) и кислород, необходимый для дыхания животным и человеку. Когда животные поедают растения, органические компоненты становятся тем горючим, которое поддерживает их жизнь. Следовательно, животные являются вторичными потребителями уловленной растениями солнечной энергии. Когда растения съедаются животными или когда они отмирают и разлагаются, накопленная в них энергия высвобождается, а органическая материя распадается снова на воду и двуокись углерода. Незначительная часть органического материала захороняется в осадках прежде, чем органика полностью исчезнет из-за разложения. Таким образом, некоторая часть солнечной энергии как бы консервировалась десятки миллионов лет назад, становясь с этих пор горючим ископаемым. Скорость аккумуляции солнечной энергии в них много ниже скорости, с которой мы добываем и сжигаем этот органический материал. Таким образом, горючие ископаемые являются по существу невозобновляемым ресурсом. На сегодня мы в основном используем три вида горючих ископаемых: уголь, нефть и природный газ («большая троица»).

Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР) – это совокупность природных и произведенных энергоносителей, запасённая

энергия которых при существующем уровне развития техники и технологии доступна для использования в хозяйственной деятельности. Топливо-энергетические ресурсы делятся на *первичные* и *вторичные*.

К первичным энергетическим ресурсам относятся ресурсы, получаемые непосредственно из природных источников для последующего преобразования в другие виды энергии либо для непосредственного применения. Часто первичные ресурсы не могут быть использованы непосредственно и должны быть извлечены и подготовлены к дальнейшему потреблению.

Первичные ресурсы подразделяют на *возобновляемые* и *невозобновляемые*.

Вторичные ресурсы – это энергетические ресурсы, получаемые в виде побочных продуктов основного и вспомогательного производства в различных технологиях.

Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР) включают в себя не только источники получения энергии, но и *произведенные энергетические ресурсы*, к которым относят в первую очередь тепловую энергию (чаще всего передаваемую в виде горячей воды и водяного пара) и электрическую энергию и которые получают, используя энергию первичных и вторичных энергоресурсов. Электрическая энергия впоследствии может быть снова преобразована в другие виды энергии.

Основные виды ТЭР представлены на схеме изображенной на рис.1.

К невозобновляемым источникам энергии относят большинство видов природного органического топлива, а также ядерное топливо. В настоящее время более 90 % тепловой и электрической энергии производится при использовании невозобновляемых ресурсов.

Возобновляемые источники энергии, поскольку они, как и невозобновляемые источники энергии, неравномерно распределены на Земном шаре, а также нестабильны в выработке энергии, как по временам года (зима, весна, лето, осень), так в течение суток (утро, день, вечер, ночь) и маломощны, в настоящее время не в состоянии заменить невозобновляемые источники энергии.

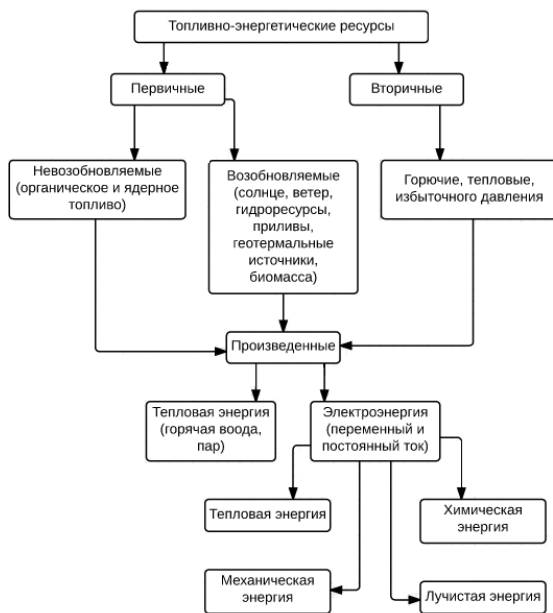


Рис. 1. Основные виды топливно-энергетических ресурсов

Наличие или отсутствие собственных энергетических ресурсов выводит на первый план необходимость обеспечения энергетической безопасности любого государства.

2 НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Величие нации вовсе не измеряется её численностью, как величие человека не измеряется его ростом.

В. Гюго, французский писатель

Рассмотрим сначала невозобновляемые ресурсы, начало образования которых уходит назад на десятки миллионов лет. В настоящее время человечество широко использует энергию именно этих природных горючих веществ. В результате вся современная мировая экономика зависит от богатств, накопленных еще во времена динозавров: угля, нефти, газа и прочих видов ископаемого топлива.

Уровень энергетической безопасности любого государства оценивается на базе индикаторов, количественно характеризующих состояние и степень угроз энергетической безопасности на основе следующего:

- определения текущих и ожидаемых значений индикаторов;
- сопоставления значений индикаторов с пороговыми (предельно допустимыми) уровнями;
- определения качественного состояния энергетической безопасности, которое можно характеризовать как нормальное (Н), предкритическое (ПК) и критическое (К).

В «Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь» от 17.09.2007 приводится таблица 1, в которой даны текущие значения индикаторов энергетической безопасности, определенные на основе экспертных оценок, пороговые уровни и прогноз изменения значения этих индикаторов до 2020 года.

Доля горючих ископаемых веществ (угля, нефти и природного газа) в производстве полезных видов энергии (тепловой, механической и световой) в мировом масштабе в 2012 году по данным Мирового энергетического агентства в общемировом энергопотреблении составила 86,7%. Однако территориальное распределение доказанных горючих ископаемых крайне неравномерное. Это распределение представлено в таблице 2.

Из приведенной таблицы видно, что по запасам угля в мире лидируют США, Российская Федерация и Китай, по запасам нефти - Саудовская Аравия, Ирак и Иран (причем на Ближнем

Востоке сосредоточено около 62 % мировых запасов нефти), по запасам природного газа - Российская Федерация, Иран и Катар.

Таб. 1. Индикаторы энергетической безопасности

Индикатор	Пороговые уровни		Значение индикаторов (характер ситуации) по годам		
	Н	К	2010	2015	2020
Энергоемкость ВВП, кг у.т./доллар	0,35	0,5	0,42 ПК	0,3 Н	0,24 Н
Доля собственных энергоресурсов в балансе котельно-печного топлива государства, процентов	30	15	22,5 ПК	27,5 ПК	31,6- 34,5 Н
Доля возможного собственного производства в общем объеме потребления электрической энергии, процентов	100	85	100 Н	100 Н	100 Н
Доля доминирующего энергоресурса (газа) в производстве тепловой и электрической энергии, процентов.	65	90	68-54 ПК-Н	64-58 Н	57-43 Н
Доля доминирующего поставщика энергоресурсов в потреблении валовых ТЭР, процентов	65	85	77-75 ПК	71-70 ПК	64-57 Н
Доля ТЭС, способных работать на двух и более взаимозаменяемых видах топлива, процентов	80	50	94,9 Н	76,2 Н	64,2 Н
Износ ОПФ предприятий ТЭК, процентов	45	75	53,6 ПК	48,3 ПК	43 Н
Обеспеченность емкостями для хранения запасов КПП (по газу и мазуту), суток	90	30	67,0 ПК	78,9 ПК	118,0 Н
Отношение суммарной установленной мощности электростанций к максимальной фактической нагрузке в энергосистеме (резервирование), процентов	120	95	126,9 Н	126,7 Н	122,6 Н

Таб. 2. Распределение мировых запасов углеводородного топлива

	Уголь		Нефть		Газ	
	Млрд т у.т.	%	Млрд т у.т.	%	Млрд т у.т.	%
Северная Америка	190,8	28,0	11,0	5,0	8,5	4,1
В том числе:						
США	185,0	27,1	5,4	2,4	6,2	3,0
Канада	4,9	0,7	3,1	1,4	1,8	0,9
Мексика	-	-	2,5	1,1	-	-
Южная и Центральная Америка	14,9	2,2	19,2	8,6	8,0	3,9
В том числе:						
Бразилия	7,6	1,1	2,2	1,0	-	-
Венесуэла	-	-	14,8	6,6	4,9	2,4
Колумбия	5,0	0,7	-	-	-	35
Европа и Евразия	215,3	31,6	26,0	12	73,0	36
В том числе:						
Чехия	4,2	0,6	-	-	-	-
Германия	5,1	0,7	-	-	-	-
Норвегия	-	-	1,8	0,8	2,7	1,3
Азербайджан	-	-	1,3	0,6	1,6	0,8
Казахстан	25,7	3,4	7,3	3,3	3,4	1,7
Туркменистан	-	-	-	-	3,3	1,6
Польша	10,5	1,5	-	-	-	-
РФ	117,8	17,3	13,8	6,2	54,5	27
Украина	25,6	3,8	-	-	1,3	0,6
Узбекистан	-	-	-	-	2,1	1,0
Африка	37,8	5,4	21,2	9,5	16,4	8,0
В том числе:						
Южная Африка	36,6	5,4	-	-	-	-
Алжир	-	-	2,3	1,0	5,2	2,5
Ангола	-	-	1,7	0,8	-	-
Ливия	-	-	7,2	3,3	1,7	0,8
Нигерия	-	-	6,6	3,0	6,0	2,9
Ближний Восток	0,3	0,1	137,5	62	82,2	40
В том числе						
Иран	-	-	25,5	11	30,5	15
Ирак	-	-	21,3	9,6	3,6	1,8
Кувейт	-	-	18,8	8,5	1,8	0,9
Катар	-	-	2,8	1,3	29,4	14
Саудовская Аравия	-	-	48,9	22	7,9	3,8
ОАЭ	-	-	18,1	8,1	6,9	3,4
Азиатско-Тихоокеанский регион	222,7	32,7	7,4	3,4	16,9	8,3
В том числе:						
Австралия	58,9	8,6	-	-	2,9	1,4
Китай	85,9	12,6	3,0	1,3	2,7	1,3
Индия	69,3	10,2	-	-	1,3	0,6
Индонезия	-	-	-	-	3,1	1,5

Закрепим изученное!

1. Энергоресурсы – это материальные объекты, в которых сосредоточена возможная для использования энергия.

Энергоресурсы разделяют на невозобновляемые и возобновляемые. В настоящее время мировое сообщество интенсивно использует именно невозобновляемые природные (ископаемые) энергоресурсы: уголь, нефть, газ.

2. Уровень энергетической безопасности любого государства оценивается энергоемкостью ВВП (внутреннего валового продукта), долей собственных энергоресурсов, долей производства собственной электроэнергии (этот вид энергии легко преобразуется в любой полезный вид энергии: тепловую, механическую и световую), долей наиболее экологичного энергоресурса – газа в общем объёме потребления, долей доминирующего поставщика (экспортёра) энергоресурсов, износом основных производственных фондов (ОПФ) предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и др.

3. В настоящее время по данным Мирового энергетического агентства доля горючих ископаемых веществ во всемирном потреблении энергоресурсов составила 86,7 %. Однако территориальное распределение доказанных горючих ископаемых крайне неравномерное.

По запасам угля в мире лидируют США, Россия и Китай, по запасам нефти – Саудовская Аравия, Ирак и Иран, по запасам природного газа – Россия, Иран и Катар. Республика Беларусь, к сожалению, не входит в число стран, обеспеченных собственными ископаемыми энергоресурсами (В настоящее время только около 1,5 млн т нефти добывается в Беларуси, а потребляется и перерабатывается нефти около 23 млн т в год).

2.1 ТРАДИЦИОННЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ТОПЛИВА

Что труднее всего на свете видеть своими глазами?
То, что лежит перед нами

И. Гёте, немецкий поэт, государственный деятель

По определению, данному Д.И. Менделеевым, «топливом называется горючее вещество, умышленно сжигаемое для получения тепла». Практическая целесообразность топлива определяется его количественными запасами, удобством добычи, скоростью горения, теплотой сгорания (теплотворной способностью), возможностью длительного хранения и безвредностью продуктов сгорания для людей, растительного и животного мира, а также оборудования. Существуют естественные (природные) и искусственные виды топлив.

Процесс освобождения химической энергии представляет собой реакцию окисления горючего. Поэтому химические топлива состоят из горючего и окислителя.

Горючие топлива бывают органического и неорганического происхождения. Те и другие могут быть твердыми, жидкими и газообразными. Окислителями служат вещества, включающие элементы с незаполненными внешними атомными оболочками, например кислород, у которого не хватает двух электронов, фтор и хлор – по одному.

Все виды органического топлива (горючие) представляют собой углеводородные соединения, в которых входят небольшие количества других веществ.

К **твердому топливу** относят: антрацит, каменный и бурый уголь, торф, дрова, сланцы, отходы лесопильных заводов и деревообделочных цехов, а также растительные отходы сельскохозяйственного производства – солому, костру, лузгу, и др.

Твердые топлива используются в основном на ТЭС для получения электрической энергии, для отопления и технологических нужд промышленности, а также (в незначительной степени) для судовых и локомотивных двигателей.

К жидкому топливу относят нефть и различные продукты ее переработки: бензин, керосин, лигроин, разнообразные масла и остаточный продукт нефтепереработки нефти – мазут. Искусственное жидкое топливо и горючие смолы, а также масла получают при переработке твердых топлив.

Ископаемым жидким топливом является сырая **нефть**. Нефть - жидкий горючий минерал, который встречается в осадочных породах Земли. Состав нефти представляет собой сложную смесь многих сотен различных углеводородов и соединений, содержащих помимо углерода и водорода разные количества серы, азота, кислорода и металлов. По внешнему виду нефть – маслянистая жидкость от темного до светлого цвета в зависимости от содержания в ней смолистых веществ. Она легче воды, практически не растворима в ней, ее относительная плотность обычно от 0,80 до 0,92. Вязкость нефти значительно выше, чем воды. Температура кипения составляющих нефть разных углеводородов и фракций изменяется от 40-50 °С до высоких температур (вплоть до 500–600 °С). Свое название нефть получила от персидского слова «нафата», что означает «просачивающаяся, вытекающая». Появление нефти на Земле до сих пор остается темой непрекращающихся научных дискуссий (в основном двух взаимоисключающих гипотез - ее органического и неорганического происхождения). Согласно *гипотезе неорганического происхождения нефти* (абиогенная гипотеза) углеводороды образовались в результате превращения неорганических соединений. Еще в 1805 г. немецкий ученый А. Гумбольдт утверждал, что нефть происходит из примитивных горных пород, под которыми покоится энергия всех вулканических явлений. В 1876 г. французский химик М. Бертло, искусственно синтезировав углеводороды из неорганических веществ, высказал предположение, что нефть образовалась в недрах Земли из минеральных соединений. В 1876 г. русский ученый Д. И. Менделеев изложил свою «карбидную» гипотезу образования нефти, согласно которой вода, просачиваясь в недра Земли и взаимодействуя с карбидами металлов, в частности железа, под воздействием высоких температур и давления образует углеводороды и соответствующие оксиды металлов. Подтверждением абиогенной теории служили опыты по получению водорода и

ненасыщенных углеводородов при воздействии серной кислоты (H_2SO_4) на чугун, содержащий значительные количества углерода. В 1878 г. французские ученые, обрабатывая соляной кислотой (HCl) зеркальный чугун и водяными парами железо при белом калении, получили водород и углеводороды, которые даже по запаху напоминали нефть.

Сущность *органической гипотезы происхождения нефти* заключается в том, что нефть и газ появились из органического вещества, которое первоначально было в рассеянном состоянии в осадочных породах. Предполагается, что таким органическим веществом были отмершие остатки микрофлоры и микрофауны (планктон и др.), развивавшиеся в морской воде, к которым примешивались остатки животного и растительного мира. Основные процессы преобразования погребенного в осадочных породах органического вещества происходили после погружения на значительные глубины, где под воздействием высоких температур и давлений, а также из-за каталитического действия горных пород органическое вещество превращалось в углеводороды нефти. На это потребовались сотни (около 570) миллионов лет, что, однако, составляет всего около 10 % истории Земли. Еще в 1888 г. немецкие ученые Г. Гефер и К. Энглер получили предельные углеводороды, парафин и смазочные масла при перегонке рыбьего жира при температуре $400\text{ }^\circ\text{C}$ и давлении порядка 1 МПа. В 1919 г. русский ученый академик Н. Д. Зелинский при переработке органического ила растительного происхождения (сапропель из озера Балхаш) получил бензин, керосин, тяжелые масла, а также метан. Академик И. М. Губкин в своей книге «Учение о нефти» (1932 г.) в качестве исходного вещества для образования нефти также рассматривал сапропель - битуминозный ил растительно-животного происхождения. Пласты, обогащенные органическими остатками, перекрываются более молодыми отложениями, предохраняющими ил от окисления кислородом воздуха с последующим его превращением под воздействием анаэробных бактерий. В пласте по мере тектонических перемещений его в глубину возрастают температура и давление, что приводит к преобразованию органики в нефть. Взгляды И. М. Губкина на образование нефти лежат в основе современной гипотезы ее биогенного происхождения, согласно которой

процесс формирования нефтяных месторождений включает в качестве основных стадии осадконакопления и преобразования органических остатков в нефть.

До 70% и более жидких топлив используется на транспорте (авиация, автомобили, трактора, суда, тепловозы), около 30% сжигается в виде мазута на тепловых электростанциях. Сырую нефть в качестве топлива в котельных не применяют.

К *газообразному топливу* относят природный газ, добываемый из недр земли, попутный нефтяной газ, газообразные отходы металлургического производства (кокосый и доменный газ), крекинговый газ, а также генераторный газ, получаемый искусственным путем из твердого топлива в особых газогенераторных установках.

Газообразные топлива (горючие) сжигаются на ТЭС для получения электрической и тепловой энергии и в очень небольшом количестве используются на транспорте.

Газообразное топливо по своему происхождению разделяют на природное и искусственное. Природные газы делятся на собственно природные, добываемые из чисто газовых месторождений, и попутные, выделяемые при добыче нефтегазовых месторождений.

Природный газ после нефтяных кризисов на Ближнем Востоке, когда зародилось экологическое движение, превозносится как универсальное решение проблемы изменения климата и замена нефти. Это неудивительно, поскольку при сжигании природного газа для выработки электричества выделяется в 2 раза меньше двуокиси углерода, чем при сжигании угля.

Природный газ, добываемый на газовых месторождениях, состоит преимущественно из метана и примесей этана, пропана и бутана. Газообразное топливо сгорает при небольшом избытке воздуха, образуя продукты полного горения без тепла и копоти, не дает твердых остатков, удобно для транспортирования по газопроводам на большие расстояния и позволяет простейшими средствами осуществлять сжигание в теплоэнергетических установках различных конструкций и мощностей.

Газы обладают многими достоинствами как горючее для двигателей внутреннего сгорания (ДВС): высокими антидетонационными свойствами, широкими пределами

воспламенения (по избытку воздуха), хорошими условиями смесеобразования, приводит к меньшему, чем в ДВС на жидком горючем, износу, снижают требования к качеству горючих материалов и т.п. Однако все горючие газы имеют высокую температуру самовоспламенения и поэтому нуждаются в постороннем источнике зажигания.

Закрепим изученное!

1. Все виды горючих ископаемых представляют собой углеводородные соединения, в которые входят небольшие количества других веществ. Основная гипотеза, объясняющая образование ископаемых топлив, состоит в том, что они получились в результате баро-термического очень длительного (сотни миллионов лет) процесса преобразования растительных и животных останков.. Следовательно, это солнечная энергия, законсервированная в ископаемых горючих: угле, нефти и газе. Они относятся к невозобновляемым источникам энергии

2. К твердому ископаемому топливу относят антрацит, каменный и бурый уголь, торф. Используется в основном на тепловых электростанциях (ТЭС) для получения электроэнергии, отопления и технологических нужд промышленности.

3. К жидкому топливу относят нефть и продукты её переработки: бензин, керосин, лигроин, разнообразные масла и мазут. Около 70 % жидких топлив используется на транспорте (авиация, автомобили, суда, тепловозы, трактора), а 30 % сжигается в виде мазута на ТЭС.

4. К газообразному топливу относят в основном природный газ и попутный нефтяной газ. Сжигается на ТЭС для получения электрической и тепловой энергии, а также на транспорте (в небольшом количестве). Природный газ является наиболее экологичным углеводородным топливом, поскольку его выбросы после сжигания характеризуются наименьшим количеством загрязняющих веществ, в том числе основного парникового газа – двуокиси углерода. Кроме того, природный газ удобен в транспортировании на большие расстояния и предъявляет минимальные требования к топливной аппаратуре при сжигании.

2.2 ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

Образование позволяет нам зарабатывать больше, чем деятели образования.

Американское изречение

Основной характеристикой топлива является теплота сгорания (теплотворная способность). **Теплотой сгорания топлива** называется количество теплоты, выделяемой при полном сгорании единицы массы (для твердого и жидкого) или единицы объема (для газообразного) топлива.

Теплоту сгорания обозначают буквой Q и измеряют в кДж/кг (в системе МКГСС в ккал/кг).

Теплоту сгорания газообразного топлива относят обычно к 1 м^3 , взятому при нормальных условиях (0°C , 760 мм рт.ст.), и измеряют в кДж/м³.

Теплота сгорания зависит от химического состава топлива и условий его сжигания.

В соответствии с понятием органической, горючей и других масс топлива она может быть отнесена к той или другой из этих масс. Наибольший практический интерес представляет теплота сгорания рабочей массы топлива Q^p (указывается индекс «р»).

Рабочая масса – это масса топлива в том виде, в котором оно поступает к потребителю, т.е. с учётом влагосодержания и загрязнения.

В продуктах сгорания топлива, содержащего водород и влагу, будет содержаться водяной пар H_2O , обладающий определенной энтальпией, равной примерно 2510 кДж/кг. Наличие в продуктах сгорания топлива водяного пара заставляет ввести понятия высшей теплоты сгорания Q_v .

Высшей теплотой сгорания рабочего топлива называют теплоту, выделяемую при полном сгорании 1 кг топлива, считая, что образующиеся при сгорании водяные пары конденсируются.

Низшей теплотой сгорания рабочего топлива $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ называют теплоту, выделяемую при полном сгорании 1 кг топлива, за вычетом теплоты, затраченной на испарение как влаги, содержащейся в топливе, так и влаги, образующейся от сгорания водорода.

Теплоту сгорания рабочего топлива определяют в основном двумя методами:

-калориметрическим – сжигая навески топлива в сжатом кислороде в особой бомбе, погруженной в воду, и точно измеряя теплоту, поглощаемую водой;

-аналитическим – вычисляя по формулам, учитывающим химический состав топлива.

Определение теплоты сгорания калориметрическим методом требует специального оборудования; кроме того, этот метод довольно сложен.

Чаще всего теплоту сгорания топлива определяют по формулам, учитывающим, что углерод С, водород Н и сера S, участвующие в горении, выделяют определенное количество теплоты.

Наиболее распространена формула Д.И. Менделеева, которая дает достаточно точные результаты для самых разнообразных топлив. Эта формула для высшей теплоты сгорания твердых и жидких топлив имеет вид, кДж/кг,

$$Q_{\text{в}}^{\text{p}}=338C^{\text{p}}+1249H^{\text{p}}-108,5(O^{\text{p}}-S_{\text{п}}^{\text{p}}). \quad (1)$$

Для низшей теплоты сгорания твердого и жидкого топлива, кДж/кг,

$$Q_{\text{н}}^{\text{p}}=338C^{\text{p}}+1025H^{\text{p}}-108,5(O^{\text{p}}-S_{\text{п}}^{\text{p}})-25W^{\text{p}}, \quad (2)$$

где коэффициенты выражают теплоту сгорания отдельных горючих элементов, деленную на 100.

Низшую теплоту сгорания сухого газообразного топлива определяют как сумму произведений теплот сгорания горючих газов на их объемное содержание в смеси, кДж/кг:

$$Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 127\text{CO}_2 + 108\text{H}_2 + 358\text{CH}_4 + 591\text{C}_2\text{H}_6 + 911\text{C}_3\text{H}_8 + 234\text{H}_2\text{S}. \quad (3)$$

Точность формулы Д.И. Менделеева очень высока; по ней рекомендуется сверять результаты лабораторных определений теплоты сгорания.

Закрепим изученное!

1. Основной характеристикой топлива служит теплота сгорания (теплотворная способность). Это количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании единицы массы и объема топлива. Теплоту сгорания обозначают Q и измеряют в кДж/кг (ккал/кг) или кДж/м³ (ккал/м³).

2. Теплота сгорания зависит от химического состава топлива и обычно относится к рабочей массе топлива. В этом случае указывается индекс «р», т.е. $Q^{\text{р}}$.

Различают высшую $Q_{\text{в}}^{\text{р}}$ и низшую $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ теплоту сгорания рабочего топлива. Высшая теплота сгорания рабочего топлива учитывает теплоту, которая выделилась при конденсации водяных паров, образовавшихся при сгорании (окислении) элементарного водорода Н. Наибольший практический интерес представляет низшая $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ теплота сгорания топлива, т.е. теплота, выделившаяся при полном сгорании 1 кг (или 1 м³ при нормальных условиях: 0°С и 760 мм рт. ст.) топлива, за вычетом теплоты, затраченной на испарение воды, как содержащейся в рабочей массе топлива, так и образовавшейся от сгорания элементарного водорода, входящего в состав топлива.

3. Следует помнить ориентировочные величины низшей теплоты сгорания наиболее используемых топлив.

Каменный уголь

Бензин

Дизельное топливо

Мазут

Природный газ

4. Низшую теплоту сгорания твердого и жидкого топлива чаще всего определяют по формуле Д.И. Менделеева, учитывающей элементный состав рабочего топлива

$$Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 338C^{\text{п}} + 1025H^{\text{п}} - 108,5(O^{\text{п}} - S_{\text{п}}^{\text{п}}) - 25W^{\text{п}}, \text{ кДж/кг},$$

а низшую теплоту сгорания газообразного топлива по формуле

$$Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 127CO_2 + 108H_2 + 358CH_4 + 591C_2H_6 + 911C_3H_8 + 234H_2S, \\ \text{кДж/м}^3.$$

2.3 УСЛОВНОЕ ТОПЛИВО

Ум заключается не только в знании,
НО и в умении применять знания на деле.

Аристотель, древнегреческий философ

Различие теплоты сгорания для топлива разных видов и марок очень велико. Например, теплота сгорания твердых топлив колеблется от 8-12 МДж/кг у торфа, до 25-27 МДж у каменных углей; жидких топлив от 40 МДж/кг у мазутов, до 47 МДж/кг у бензинов. Еще больший разброс в теплоте сгорания у газов; если у доменного газа 3,3 МДж/м³, то у попутных газов нефтяных месторождений - до 47 МДж/м³.

В силу этого обстоятельства учет и планирование расхода топлива, контроль за его экономичным потреблением сильно затруднены. Поэтому для сравнения различных топлив по теплоте сгорания все их виды приводят к единому эквиваленту, в качестве которого служит единица условного топлива.

Условное топливо (у.т.) – это эталонное топливо, теплота сгорания которого принята 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг).

При планировании расхода и отчета об использовании различных видов топлива принята единая величина – условное топливо.

Относительная ценность различных видов топлива рассматривается в сравнении с условным топливом с помощью топливных эквивалентов, которых существует два вида: калорийный и технический.

Калорийный топливный эквивалент \mathcal{E}_k – это отношение низшей теплоты сгорания рабочей массы реального топлива к

теплоте сгорания условного топлива, равной 29,3 МДж/кг. Определяется калорийный эквивалент по формуле.

$$\mathcal{E}_k = Q_H^p / 29,3, \quad (4)$$

где Q_H^p – низшая теплота сгорания рабочей массы реального топлива, МДж/кг.

Калорийный топливный эквивалент применяют при планировании расхода топлива и в отчетности. Для топочного мазута калорийный эквивалент $\mathcal{E}_k = 1,37$, для дизельного топлива принят $\mathcal{E}_k = 1,45$. Калорийный коэффициент не учитывает экономичности теплоиспользующих установок, которая оценивается коэффициентом использования теплоты η_n , различным для разных типов и марок оборудования.

Для сравнения экономичности разных топлив и их распределения по топливоиспользующим установкам применяют *технический топливный эквивалент* \mathcal{E}_m , при этом коэффициент использования теплоты при сжигании условного топлива принимается равным единице:

$$\mathcal{E}_m = Q_H^p \eta_n / 29,3 = \mathcal{E}_k \eta_n. \quad (5)$$

Здесь η_n – КПД топливосжигающей установки.

Топливные эквиваленты позволяют производить перерасчеты расходов топлива из условного в реальное и наоборот.

Закрепим изученное!

1. Для сравнения разных видов и марок потребляемого топлива на предприятиях используется некоторое эталонное топливо, т.е. так называемое условное топливо, теплота сгорания (теплотворная способность) которого принята $Q_{у.т.} = 7000$ ккал/кг или 29,3 МДж/кг, учитывая, что 1 ккал = 4,84 кДж, а 1 МДж = 1000 кДж.

2. Для оценки различных видов топлива существуют два вида топливных эквивалентов: калорийный топливный эквивалент

$$\mathcal{E}_k = Q_H^p / Q_{y.t.} = Q_H^p / 29,3.$$

Технический топливный эквивалент $\mathcal{E}_t = \mathcal{E}_k \eta_t$, где η_t – КПД топливосжигающей установки.

2.4 ГОРЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

Каждая решенная проблема порождает новую неразрешимую проблему.

Американское изречение

Ископаемое углеводородное топливо, как известно, бывает трех видов: Твердое, жидкое и газообразное. Рассмотрим с физической стороны процесс горения каждого вида топлива.

Горение твердого топлива состоит из ряда последовательных стадий. Сначала необходим подогрев твердого топлива до температуры, при которой начинается испарение влаги. Затем при температурах от 150–170 °С (бурые угли) до 400 °С (антрацит) происходит термическое разложение топлива с выходом летучих горючих веществ, происходящее вблизи поверхности твердого остатка и способствующее его прогреву и воспламенению. Время горения летучих веществ обычно составляет незначительную часть общего времени горения топлива. Основной стадией является горение коксового остатка (углерода). Продукты сгорания диффундируют в окружающее пространство, и наступает последняя стадия – образование шлака. Зола топлива переплавляется и преобразуется, поглощая некоторую часть теплоты, уменьшая горючую часть, а в ряде случаев затрудняя доступ окислителя к

коксу. При температурах горения, превышающих температуру плавления шлаком, ухудшается доступ кислорода. При пористой структуре кокса горение происходит не только на поверхности, но и в объеме частицы. Чем больше пористость, тем большая масса одновременно участвует в химической реакции окисления и тем быстрее идет процесс горения.

Горение жидкого топлива происходит в парогазовой фазе, т. е. температура воспламенения обычно значительно выше, чем температура кипения топлива. В горении жидкого топлива выделяют следующие стадии: подогрев, испарение влаги, возгонка летучих, горение летучих, дожигание углеродных частиц. Интенсивность испарения горючих веществ возрастает с увеличением поверхности контакта с воздухом и количества подводимой теплоты, т. е. скорость горения зависит от тонкости распыла жидкого топлива.

Горение газообразного топлива происходит наиболее просто. Оно не требует предварительной подготовки к сжиганию, легко образует горючие смеси с воздухом. Горение газа состоит из двух стадий: подогрева и горения летучих веществ.

Закрепим изученное!

1. Горение – это химическая реакция окисления, сопровождающаяся выделением теплоты. При этом оба вещества (топливо и окислитель) в момент воспламенения должны находиться в одной (газообразной) фазе.

2. При горении твердого топлива происходят следующие процессы: подогрев для испарения влаги, термическое разложение с выходом летучих горючих веществ, воспламенение горючих, горение коксового остатка (углерода), образование шлака.

3. При горении жидкого топлива происходят следующие стадии процесса: подогрев, испарение, возгонка и горение летучих горючих веществ, дожигание углеродных частиц.

4. Скорость горения твердого и жидкого топлива возрастает с увеличением поверхности контакта с воздухом и количества подводимой теплоты.

5. При горении газообразного топлива наблюдаются только две стадии: подогрев и горение летучих веществ.

2.5 РАСХОД ВОЗДУХА НА ГОРЕНИЕ

Хуже всего то, что кто смолоду плохообучен, тот до старости в этом не сознаётся.

Петроний Арбитр

Данные для такого расчета могут быть получены в результате анализа элементарных реакций горения горючих элементов, содержащихся в топливе. Горение топлива может быть полным и неполным. Полное горение происходит при достаточном количестве окислителя и завершается полным окислением горючих элементов топлива. Продукты сгорания при этом состоят из CO_2 , SO_2 и H_2O . При недостаточном количестве окислителя происходит неполное сгорание углерода с образованием окиси углерода (угарного газа) CO .

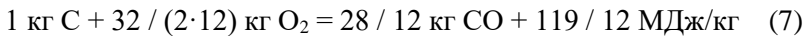
Горение углерода с образованием углекислого газа можно представить уравнением



Следовательно, на 1 кг углерода приходится 2,67 кг или 1,868 м³ кислорода (при нормальных условиях $\rho_{\text{O}_2} = 1,429 \text{ кг/м}^3$) и

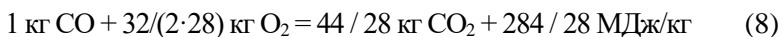
3,67 кг или 1,856 м³ (при нормальных условиях $\rho_{\text{CO}_2} = 1,856 \text{ кг/м}^3$) диоксида углерода (углекислого газа) CO_2 .

Горение углерода с образованием оксида углерода CO :



В этом случае на 1 кг углерода приходится 1,33 кг или 0,933 м³ кислорода и 2,33 кг или 1,867 м³ оксида углерода CO .

Горение оксида углерода с образованием диоксида углерода



Здесь на 1 кг оксида углерода приходится 0,57 кг или 0,4 м³ кислорода и 1,57 кг или 0,8 м³ диоксида углерода.

Горение водорода с образованием водяных паров

$$1 \text{ кг H}_2 + 32 (2 \cdot 2) \text{ кг O}_2 = 18 / 2 \text{ кг H}_2\text{O} + 284 \cdot 2 / (238 \cdot 2) \quad (9)$$

МДж/кг

В этом уравнении тепловой эффект реакции, данный в числителе (последнее слагаемое в уравнении), учитывает теплоту конденсации водяных паров, образующихся при сжигании водорода и охлаждении конденсата до 0 °С. В знаменателе этого слагаемого приведен тепловой эффект реакции при отсутствии конденсации паров воды. Здесь на 1 кг водорода приходится 8 кг или 5,598 м³ кислорода и 9 кг или 11,12 м³ водяного пара, приведенный к нормальным условиям.

Горение серы с образованием сернистого ангидрида:

$$1 \text{ кг S} + 32 / 32 \text{ кг O}_2 = 64 / 32 \text{ SO}_2 + 288 / 32 \text{ МДж/кг} \quad (10)$$

Следовательно, на 1 кг серы приходится 1 кг или 0,699 м³ кислорода и 2 кг или 0,684 м³ сернистого ангидрида.

Горение метана CH₄ с образованием диоксида углерода и водяных паров можно представить уравнением

$$1 \text{ кг CH}_4 + 64/16 \text{ кг O}_2 = 44/16 \text{ CO}_2 + 36/16 \text{ кг H}_2\text{O} + 56,1/50,5 \quad (11)$$

МДж/кг

На 1 кг метана приходится 4 кг или 2,799 м³ кислорода, 2,75 кг или 1,39 м³ диоксида углерода и 2,25 кг или 2,798 м³ водяного пара, приведенных к нормальным условиям.

На основе приведенных соотношений теоретически необходимое (стехиометрическое) количество кислорода для полного сгорания 1 кг твердого или жидкого топлива определяется по выражению

$$M_{\text{O}_2} = \frac{\left(\frac{8}{3C^p} + 8H^p + S_{\text{л}}^p - O^p\right)}{100}, \quad (12)$$

Так как горение происходит за счет кислорода атмосферного воздуха, необходимо знать процентное содержание кислорода в воздухе. Для технических расчетов принимают следующий состав сухого воздуха: объемная доля кислорода O₂ – 21 %, или массовая доля O₂ – 23,2 %; объемная доля азота N₂ – 79 %, или

массовая доля N_2 – 76,8 %. Тогда количество сухого воздуха, кг/кг, теоретически необходимого для полного сгорания 1 кг твердого или жидкого топлива составит

$$M_{O_2} = \frac{\left(\frac{8}{3C^P} + 8H^P + S_{\text{л}}^P - O^P\right)}{100 \cdot 0,232} \quad (13)$$

Разделив уравнение (170) на плотность воздуха ($\rho_{\text{в}} = 1,293$ кг/м³ при нормальных физических условиях), получим теоретический (стехиометрический) объемный расход воздуха:

$$V_{\text{вз}}^{\circ} = 0,0899(C^P + 0,375S_{\text{л}}^P) + 0,265H^P - 0,0333O^P. \quad (14)$$

Теоретический объемный расход воздуха при сжигании 1 м³ сухого газа, м³/м³, определится из следующего выражения:

$$V_{\text{вз}}^{\circ} = 0,0478[0,5H_2 + 0,5CO + 2CH_4 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4}\right) C_m H_n - O_2]. \quad (15)$$

Например, для 1 кг дизельного топлива теоретически необходимое количество воздуха составляет около 14,5 кг или 11,2 м³, для бензина – почти 15 кг/кг или 11,6 м³/кг, для Экибастузского угля марки СС $M_{\text{вз}}^{\circ} = 9,7$ кг/кг или $V_{\text{вз}}^{\circ} = 7,5$ м³/кг.

В реальных условиях для полного сгорания топлива требуется подавать воздуха больше теоретически необходимого (стехиометрического) количества.

Потеря кислорода вследствие сгорания топлива становится весьма ощутимой, если учесть мощность тепловых машин, а значит, потребление топлива. Так, при эксплуатации широко известных автомобилей с дизельным двигателем (мощность 115 л.с. или 85 кВт) Фольксваген Поло, Фольксваген Пассат, Ауди А4, Ауди А6, Форд Гелакси за 1 час потребляется до 260 кг или 200 м³ воздуха. При эксплуатации магистральных тепловозов серий 2ТЭ10У и 2ТЭ10М (составляющих большинство локомотивов на Белорусской железной дороге) мощностью 6000 л. с. или 4400 кВт при работе на полной мощности всего 15 мин затрачивается воздуха на сгорание топлива около 4000 м³. При работе Лукомльской ГРЭС в Витебской области мощностью

2890 МВт ежедневно потребляется около 260 млн м³ воздуха. Для сравнения отметим, что потребность человека в кислороде примерно 500 л/сут, или в атмосферном воздухе около 2,5 м³/сут. Как известно, основным производителем кислорода является растительный мир. При этом 1 га смешанного леса выделяет в атмосферный воздух около 20 м³ кислорода в день. В Беларуси лесами покрыта территория, площадь которой более 6,5 млн га.

В заключение необходимо подчеркнуть, что постепенное повышение КПД тепловых машин ведет не только к уменьшению потребления дефицитного углеводородного топлива, но и к сокращению сжигания кислорода, столь необходимого для человека. Кроме того, необходимо развивать энергетику, не требующую атмосферного кислорода (атомные электростанции, ветроэлектростанции и др.), а также новые транспортные средства (электромобили, гибридные автомобили и локомотивы и др.).

Интересно знать

В ходе эволюции атмосферы фотосинтезирующие организмы преобразовывали углекислый газ в органическое вещество и выделяли кислород. В результате кислорода в атмосфере становилось все больше, а СО₂ все меньше. За 2,7 млрд лет в атмосфере скопилось почти миллион двести тысяч гигатонн кислорода. Организмы-фотосинтетики ежегодно производят еще 3 Гт. Но расходует мы кислорода в несколько раз больше. Опасно ли это для животных и человека?

Дмитрий Геннадьевич Замолодчиков, заместитель директора Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, отвечает на этот вопрос так: “Человечество уничтожает почти 30 гигатонн кислорода в год. Львиная доля расходов приходится на сжигание органического топлива. Переход на газ в роли топлива не спасает: газ горит с еще большим расходом кислорода. Кроме того, люди уменьшают приток кислорода в атмосферу, сводя леса, осушая болота и распахивая почву”.

По общему антропогенному потреблению кислорода первое место занимают США, на долю которых приходится более

четверти мирового расхода. Они же лидируют по антропогенному потреблению кислорода на душу населения – 20 тонн в год. Следом идут Канада и Российская Федерация – 18 и 12 т на человека в год. Большие российские расходы связаны с высокой энергоемкостью внутреннего валового продукта, а также с холодным климатом. Абсолютный минимум, полтонны кислорода на человека, приходится на африканские страны. Там тепло, и нет особой необходимости жечь природное топливо.

Как все это выглядит в глобальном балансе кислорода? При нынешних темпах его потребления человечеству потребуется более 600 лет, чтобы уменьшить содержание кислорода на 1 %. На сжигание всех запасов ископаемого топлива на Земле пойдет не более 2 % атмосферного кислорода. Этим человеческие возможности по уничтожению кислорода ограничиваются, поскольку значительная часть органических веществ рассеяна в осадочных породах и для сжигания недоступна.

Два процента – это много или мало? Ученые утверждают, что уменьшение содержания кислорода в атмосфере на 2 % не повлияет на здоровье людей, тем более что это произойдет не вдруг. С физиологической точки зрения, человек легче адаптируется к недостатку кислорода, чем к его избытку. Незначительное изменение кислородных запасов не повлияет ни на функционирование природных экосистем, ни на мощность озонового слоя. Поэтому, по мнению доктора биологических наук Д. Г. Замолодчикова, нет необходимости регулировать промышленное потребление кислорода. Его должно хватить всем и надолго.

Закрепим изученное!

1. Известные из курса «Химия» реакции окисления горючих элементов С (углерода), Н (водорода) и S (серы) приводят к определению теоретически необходимого (стехиометрического) количества кислорода для полного сгорания 1 кг топлива.

2. Учитывая, что кислород содержится в воздухе (массовая доля кислорода 23,2 %), а элементный состав топлива приводится в процентах от рабочей массы топлива,

теоретически необходимое для полного сгорания топлива количество воздуха составит

$$M_{O_2} = \frac{\left(\frac{8}{3C^p} + 8H^p + S_{II}^p - O^p\right)}{100 \cdot 0,232}, \text{ кг}$$

3. Теоретически необходимый (стехиометрический) объёмный расход воздуха, который нужен при проектировании воздушной системы любой теплосиловой установки, определяется с учётом плотности воздуха (при нормальных физических условиях $\rho_{вз} = 1,293 \text{ кг/м}^3$) для полного сгорания 1 кг твёрдого и жидкого топлива:

$$V_{вз}^o = 0,0899(C^p + 0,375S_{II}^p) + 0,265H^p - 0,0333O^p.$$

4. Теоретический объёмный расход воздуха при сжигании 1 м³ сухого *газа* обычно определяется как сумма количеств воздуха при сгорании горючих газов, входящих в смесь:

$$V_{вз}^o = 0,0478[0,5H_2 + 0,5CO + 2CH_4 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4}\right) C_m H_n - O_2], \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

5. В результате сгорания в атмосферном воздухе происходит весьма ощутимая потеря атмосферного кислорода. Основным «производителем» атмосферного кислорода является растительный мир.

Следовательно, необходимо беречь растительный мир, повышать КПД тепловых машин и развивать энергетику, не требующую атмосферного кислорода (АЭС, ветро-, гелио- и гидроэлектростанции и др.), а также новые транспортные средства.

2.6 СОСТАВ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ПРИ СЖИГАНИИ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

Образованный человек, тем отличается от необразованного, что продолжает считать своё образование незаконченным.

К.М. Симонов, советский писатель

При тепловом расчете топливосжигающих установок (паровых и водогрейных котлов, промышленных огневых печей, двигателей внутреннего сгорания), а также при обработке результатов их испытаний определяют следующие характеристики и величины:

-теоретический и действительный расходы воздуха V_0 , и V_d , необходимые для сгорания 1 кг твердого и жидкого топлива или 1 м³ газообразного топлива;

-состав и объем продуктов сгорания V_r (дымовых газов);

-энтальпию дымовых газов при требующихся температурах и коэффициентах избытка воздуха.

Для полного сгорания топлива требуется некоторый избыток воздуха против теоретического расхода. Избыток воздуха характеризуется так называемым коэффициентом избытка (иногда называемым коэффициентом расхода воздуха). Он зависит от способа сжигания топлива, качества смесеобразования топлива с воздухом и ряда других факторов.

Коэффициент избытка воздуха представляет собой отношение действительного расхода воздуха к теоретическому, т.е.

$$\alpha_r = \frac{V_{вз}^d}{V_{вз}^o}. \quad (16)$$

При полном сгорании дымовые газы (продукты сгорания) состоят из CO₂ и SO₂, получившиеся при сгорании углерода и летучей серы; водяного пара, образующегося при испарении влаги топлива и сгорании его водорода; азота, подводимого в топку (камеру сгорания) с воздухом, и, наконец, кислорода, не использованного при горении.

Объем продуктов сгорания определяется по формуле

$$V_{\text{ог}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}. \quad (17)$$

При проведении химического анализа дымовых газов содержание CO_2 и SO_2 определяется совместно, поэтому в расчетные формулы вводится сумма количества CO_2 и SO_2 , обозначаемая символом RO_2 , тогда

$$V_{\text{ог}} = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{сг}} + V_{\text{H}_2\text{O}}. \quad (18)$$

где $V_{\text{с.г}}$ – объем сухих газов,

$$V_{\text{сг}} = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}. \quad (19)$$

В таблице 3 приведены расчетные формулы для определения объемов воздуха и продуктов полного сгорания для твердых, жидких и газообразных топлив. В этих формулах C^{P} , H^{P} , S^{P} , O^{P} , N^{P} , W^{P} ; CO , CO_2 , H_2 , CH_4 ... – содержание соответствующих элементов и компонентов в рабочем топливе, %; α_{T} – коэффициент избытка воздуха; $d_{\text{в}}$ – влагосодержание сухого воздуха, $\text{г}/\text{м}^3$ (обычно принимается $10 \text{ г}/\text{м}^3$).

В случае отсутствия элементного состава сжигаемого топлива при известной величине Q_{H}^{P} и W^{P} можно пользоваться эмпирическими формулами табл.4.

Энтальпия газа H в общем виде вычисляется как произведение его объема при нормальных условиях на объемную теплоемкость при постоянном давлении и на температуру. Удельная энтальпия ($\text{кДж}/\text{кг}$) продуктов сгорания h рассчитывается для твердого и жидкого топлива, а объемная энтальпия ($\text{кДж}/\text{м}^3$) – для газообразного. Выражается она в виде суммы энтальпий теоретического объема продуктов сгорания h_{O}^{r} и избыточного воздуха $(\alpha_{\text{T}} - 1)h_{\text{возд}}^{\text{O}}$

$$h = h_{\text{r}}^{\text{O}}(\alpha_{\text{T}} - 1)h_{\text{возд}}^{\text{O}} \quad (20)$$

Таб. 3. Расчетные формулы для определения объемов воздуха и продуктов полного сгорания

Определяемые величины	Для твердого и жидкого топлива, $\text{нм}^3/\text{кг}$	Для газообразного топлива, $\text{нм}^3/\text{м}^3$
Теоретически необходимое количество воздуха	$V_0 = [0,0889(C^p + 0,375S^p) + 0,2665H^p - 0,033O^p] \times (1 + 0,00124d_b)$	$V_0 = 0,0476[0,05CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + 2CH_4 + \sum(m + n/4) \times C_mH_n - O_2] \times (1 + 0,00124d_b)$
Действительное количество воздуха	$V_d = \alpha_T V_0$	
Количество продуктов полного сгорания	$V_{CO_2} = 0,0187C^p$ $V_{H_2O} = 0,112H^p + 0,0124W^p + 0,00124V_d d_b$ $V_{SO_2} = 0,07S^p$ $V_{O_2} = 0,21(\alpha_T - 1)V_0$ $V_{N_2} = 0,008N^p + 0,79V_d$	$V_{CO_2} = (CO + CO_2 + CH_4 + \sum m C_m H_n) \cdot 0,01$ $V_{H_2O} = (H_2 + H_2S + 2CH_4 + \sum (n/2 C_m H_n + 0,124 V_d d_b)) \cdot 0,01$ $V_{SO_2} = 0,01 H_2S$ $V_{O_2} = 0,21(\alpha_T - 1)V_0$ $V_{N_2} = (N_2 + 79V_d) \cdot 0,01$
	$V_T = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + V_{O_2} + V_{N_2}$	
Процентный состав продуктов сгорания	$CO_2 = (V_{CO_2}/V_T) \cdot 100\%$ и т.д.	

Таб. 4. Эмпирические формулы для определения V_0 и V_2 $\text{нм}^3/\text{кг}$ или $\text{нм}^3/\text{м}^3$

Топливо	Теоретически необходимое количество воздуха	Действительное количество продуктов сгорания
Дрова	$V_0 = 4,66(1 - W^p/1000)$	$V_T = 5,3 - 4,055W^p/1000 + (\alpha - 1)V_0$
Уголь	$V_0 = 0,24Q_H^p + 0,5$	$V_T = 0,21Q_H^p + 1,65 + (\alpha - 1)V_0$
Жидкое топливо	$V_0 = 0,24Q_H^p + 2,0$	$V_T = 0,265Q_H^p + (\alpha - 1)V_0$
Газообразное топливо с $Q_H^p < 12 \text{ МДж}/\text{м}^3$	$V_0 = 0,21Q_H^p$	$V_T = 0,17Q_H^p + 1,0 + (\alpha - 1)V_0$

То же с $Q_H^p > 12$ МДж/м ³	$V_0 = 0,26Q_H^p - 0,25$	$V_{\Gamma} = 0,27Q_H^p + 0,25 + (\alpha - 1)V_0$
Коксодоменная печь	$V_0 = 0,24Q_H^p - 0,2$	$V_{\Gamma} = 0,225Q_H^p + 0,765 + (\alpha - 1)V_0$

Примечание. Q_H^p в МДж/кг или МДж/м³ (1 ккал = 4,187 кДж).

Закрепим изученное!

1. Для полного сгорания топлива в реальных условиях требуется не стехиометрическое (теоретически необходимое) количество воздуха, а некоторый его избыток. Коэффициент избытка воздуха представляет собой отношение действительного расхода воздуха $V_{ВЗ}^{\Delta}$ к теоретическому $V_{ВЗ}^{\circ}$, т.е.

$$\alpha_T = V_{ВЗ}^{\Delta} / V_{ВЗ}^{\circ}$$

2. Объем продуктов сгорания определяется как сумма объемов отдельных веществ, содержащихся в отработавших газах:

$$V_{ог} = V_{сг} + V_{HO_2}$$

Причем $V_{сг}$ представляет собой количество сухих газов CO_2 , SO_2 , N_2 и O_2 .

Следовательно,

$$V_{ог} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{HO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}$$

3. Формулы для определения количества продуктов сгорания, которое необходимо при проектировании выхлопной системы теплосиловой установки, приводятся в теплотехнической литературе.

2.7 НЕТРАДИЦИОННЫЕ ПРИРОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Каждый прав, пока не ошибётся.
*Э.Хемингуэй, американский писатель,
лауреат Нобелевской премии*

Несколько лет назад США приняли доктрину, по которой они должны производить потребляемые энергоносители на своей территории (до этого США были главным мировым импортером природного углеводородного топлива). Дело в том, что средствами массовой информации США была запущена так называемая «сланцевая революция». США перестали импортировать природный газ, и в последние 2–3 года США усиленно удерживает первое-второе место в мире (сравнились с Российской Федерацией) по объемам добычи природного газа. Стремительно нарастает в этой стране и добыча нефти.

Все это стало возможным после разработки так называемых сланцевых газа и нефти на территории страны.

Сланцевая нефть. Она вырабатывается из твердых полезных ископаемых органического происхождения («горючих сланцев»), которые образовались 450 млн лет назад из остатков растений и животных. Это вещество очень перспективно не только для производства топлива, но и в нефтехимической промышленности. Многие страны – импортеры нефти, образно говоря, вытянули выигрышный сланцевый билет: на их территориях были обнаружены крупные месторождения горючих сланцев. Это США, Китай, Германия, Великобритания, Индия и Япония. А вот крупные страны – экспортеры нефти, прежде всего страны Ближнего Востока и Россия, как считают многие эксперты, понесут ощутимые потери из-за возможного в перспективе резкого падения спроса на «традиционную» нефть.

Более того, согласно мнению экспертов компании Price-water house Coopers, к 2035 г. уровень добычи сланцевой нефти по всему миру составит 14 млн баррелей в день (более 800 млн м³ в год), что составит почти 12% от сегодняшних объемов добычи традиционной нефти. Кстати, приведенная цифра

заметно превышает объем современной добычи нефти в России. Отметим также, что в ряде стран, и в первую очередь в США, сланцевые месторождения освободили от налогов, т.е. добытчики сланцевого газа стали получать весомую государственную поддержку. Это, естественно, явилось мощным стимулом для ускорения разработки соответствующих месторождений и повышения конкурентоспособности сланцевой нефти и газа на мировых рынках

Справедливости ради следует указать, что, помимо относительно высокой стоимости сланцевой нефти, ее добыча сопряжена с двумя *экологическими рисками*: загрязнением подземных вод, которые во многих регионах мира являются единственным источником питьевой воды, и угрозой землетрясений магнитудой в 2–4 единицы по шкале Рихтера. Такие землетрясения наблюдались, например, в 2012 г. в Великобритании, в районах добычи сланцевых углеводородов. Как в России, так и в Европе запасы горючих сланцев расположены зачастую в густонаселенных районах (у нас это, в основном, запад страны), и поэтому добывать их может быть не очень безопасно, считают аналитики. Тем не менее многие эксперты, предполагая, что появление на мировых рынках больших объемов сланцевых нефти и газа неизбежно приведет к существенному уменьшению экспортных доходов России, настоятельно рекомендуют приступить к широкомасштабному освоению соответствующих месторождений.

Сланцевый газ – продукт естественной переработки отмерших растительных и животных организмов – накапливался в сланцевой породе миллионами лет. По составу он близок к природному газу. Накопилось его очень много, однако добывать его долго не удавалось. Одной из причин этого явилось то, что, в отличие от обычных газовых месторождений – пористого песчаника, – сланцевый пласт, содержащий сланцевый газ, «размазан» тонким слоем. Для его добычи нужно бурить сложные скважины (рис.).

Вначале (с 1981 г.) стали бурить обычные вертикальные скважины, но в течение почти 18 лет ничего не получалось. Однако инженер Д. Митчелл применил новую технологию – горизонтальные скважины с гидроразрывом пласта. Для этого

под землю закачивалась под давлением смесь воды, песка и разных химикатов, и газ выдавливался из пласта. Дело пошло успешно, и через два года, Митчелл фактически положил начало «сланцевой революции». Запасы сланца на планете огромны, а новые технологии сделали его добычу выгодной.

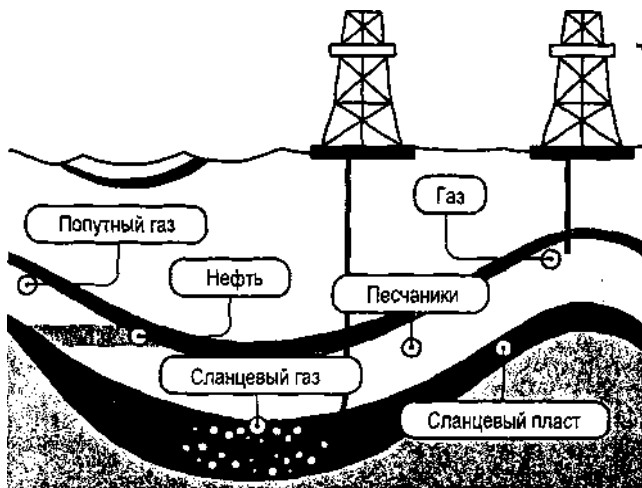


Рис. 2. Схема добычи сланцевого газа

США из покупателя газа стремительно превращаются в его продавца. Ожидается, что с 2016 г. Америка благодаря бурному развитию технологии добычи сланцевого газа станет его крупным экспортером. Когда дешевый газ придет из США в Европу, российскому газу, который сейчас обеспечивает почти одну треть ее потребностей, придется с ним конкурировать. И это будет нелегко. В 2012 г. сланцевый газ на европейских биржах стоил 280 долл. США за 1 тыс м³, а средняя европейская стоимость природного газа от российского «Газпрома» составляла 350 долл. США. Поэтому «Газпрому» пришлось уступить в цене почти 5 долл. США за 1 тыс м³. Вряд ли ситуация для России улучшится в перспективе: добыча сланцевого газа в США уже перевалила за 150 млн м³ в год, и они стали строить заводы для его сжижения. Перевозка сжиженного сланцевого газа из США в

Европу может оказаться дешевле транспортировки природного газа из северных регионов России по протяженным трубопроводам.

У добычи газа из сланцев, конечно, есть *недостатки*. К примеру, скважина дает максимальный объем газа только в первый год освоения, а через несколько лет иссякает. Кроме того, в скважину для разрыва пласта необходимо закачивать вредные химикаты. Однако недавно в Канаде была разработана новая технология добычи сланцевого газа, которая более эффективна в плане экономики и снимает многие ограничения в экологическом аспекте. Правда, некоторые эксперты, и в их числе российские, считают, что прибыльность сланцевых скважин сильно преувеличена и «сланцевая революция» – всего лишь очередной «пузырь». Так ли это – покажет время. Между тем Франция, всегда позиционирующая себя как «зеленое» государство, вообще запретила данный метод добычи газа.

Газогидраты – перспективный источник природного газа. Согласно современным геологическим данным, в донных осадках морей и океанов в виде твердых газогидратных отложений находятся огромные запасы углеводородного газа.

Газогидраты представляют собой маленькие белые, быстро тающие кристаллы; их упрощенная формула может быть представлена как $x\text{CH}_4 \cdot y\text{H}_2\text{O}$. Газогидраты содержат в себе большое количество углеводородного газа: так, 1 м³ природного метангидрата содержит около 164 м³ (116 кг) метана CH_4 в газовой фазе и 0,87 м³ воды.

Потенциальные запасы метана в газогидратах оцениваются величиной $2 \cdot 10^{16}$ м³, в то время как разведанные запасы природного газа по состоянию на конец 2008 г. составляли $1,77 \cdot 10^{14}$ м³, т.е. на 2 порядка меньше. Иначе говоря, газогидраты могут содержать 10^{12} т углерода, т.е. в 2 раза больше, чем вместе взятые мировые запасы угля, нефти и обычного природного газа (табл. 5).

Укажем при этом, что в 2007 г., например, добыча газа в мире составила $2,94 \cdot 10^{12}$ м³ (около $2,1 \cdot 10^9$ т).

В 1974 г. советские ученые Б.П. Жижченко и А.Г. Ефремова, проводя натурные исследования дна Черного моря, обнаружили образцы газогидратов. В последующем

они были найдены в Атлантическом и Тихом океанах, в Охотском и Каспийском морях, на Байкале и др. Исследования ученых различных стран, проведенные в последние два десятилетия, позволили сделать обоснованный вывод о практически повсеместном наличии крупных скоплений аквальных залежей газогидратов, из которых можно будет извлечь в промышленных масштабах метан.

Таб. 5. *Содержание углерода в известных мировых запасах углеводородов*

Виды запасов углеводородов	Доля, %
Газовые гидраты	53
Разведанные и неразведанные ресурсы угля, нефти, газа	27
Почва	8
Растворенное в море органическое вещество	5
Наземная растительность	4
Торф, дегрированное органическое вещество, атмосфера и морские отложения	3

К настоящему времени установлено, что около 98% залежей газогидратов являются аквамаринными и сосредоточены на шельфе и континентальном склоне Мирового океана (у побережий Северной, Центральной и Южной Америки, Северной Азии, Норвегии, Японии и Африки, а также в Каспийском и Черном морях), на глубинах воды 200–700 м. Около 2% газогидратов расположены в приполярных частях материков, в частности, российской тундре.

Газовые гидраты являются пока единственным неразрабатываемым источником природного газа на Земле, который, по мнению экспертов, может в недалекой перспективе составить реальную конкуренцию традиционным углеводородам. Это обусловлено широким распространением газогидратов на планете, их относительно неглубоким залеганием и большим удельным содержанием метана.

Закрепим изученное!

1. Горючие сланцы являются источником получения так называемых сланцевых газа и нефти. По составу они близки к природному газу и нефти. Залежи горючих сланцев по всему миру велики.

Однако добыча сланцевой нефти и газа требует бурения сложных скважин, применения довольно сложной технологии (гидроразрыв пласта) и сопряжена с экологическими рисками (загрязнение подземных вод и угроза землетрясений).

2. Газогидраты представляют собой маленькие белые, быстро тающие кристаллы, имеющие упрощённую формулу $x\text{CH}_4 - y\text{H}_2\text{O}$.

Залегают в виде донных отложений на дне морей и океанов.

Газогидраты содержат в себе большое количество углеводородного газа. Однако технология добычи газогидратов пока не разработана.

2.8 НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ТОПЛИВА

Ключом во всякой науке является
вопросительный знак.

О. Бальзак, французский писатель

Неорганические горючие пока применяются только в ракетной технике. Те из них, которые способны реагировать с водой, гидрореагирующие горючие (ГРГ) имеют некоторые перспективы применения на морских судах и аппаратах.

Однако по мере исчерпания запасов органических горючих интерес к неорганическим должен повышаться, особенно к такому (самому распространенному), как кремний, составляющему 25% земной коры (в связанном виде).

В качестве возможных горючих исследованы все элементы Периодической системы Д.И. Менделеева. Наилучшими показателями обладают металлические горючие – кремний (металлоид), алюминий, бериллий, литий (табл. 6).

Таб. 6. Основные характеристики элементарных неорганических топлив

Горючее	Окислитель				
	Кислород			Фтор	
	ρ , г/см ³	Q_n^p , кДж/кг	Продукты сгорания	Q_n^p , кДж/кг	Продукты сгорания
Водород H ₂	—	13 500	H ₂ O газообразный	13 350	HF газообразный
Литий Li	0,534	20 000	Li ₂ O твердый	23 700	LiF твердый
Бериллий Be	1,85	2 260	BeO »	20 250	BeF ₂ »
Бор B	2,30	18 200	B ₂ O ₃ »	15 900	BF ₃ газообразный
Углерод C	2,25	28 970	CO ₂ газообразный	7 670	CF ₄ »
Магний Mg	2,25	13 120	MgO твердый	17 750	MgF ₂ твердый
Алюминий Al	2,69	16 100	Al ₂ O ₃ »	15 500	AlF ₃ »
Кремний Si	2,40	14 340	SiO ₂ »	14 900	SiF ₄ газообразный

При нормальных условиях они находятся в твердом состоянии, поэтому их подают в камеру сгорания в составе суспензий, распыляют в виде порошка или впрыскивают в расплавленном состоянии. Можно также весь запас горючего поместить в камеру сгорания и, расплавив и воспламенив его с помощью порции обычного топлива, сжигать постепенно, регулируя подачу окислителя.

Важной задачей при использовании металлов является предотвращение оседания твердых и жидких продуктов сгорания на деталях двигателя, а следовательно, их износа и выхода из строя.

Интерес представляют также бороводороды: B_2H_6 , B_4H_{10} , B_5H_9 и др. Одни из них при нормальных условиях являются жидкостями, другие – твердыми или очень вязкими веществами. Теплота сгорания бороводородов достигает 60 000–75 000 кДж/кг. Основные их недостатки – ядовитость, высокая температура застывания, термическая нестойкость, нестойкость при хранении на воздухе (реагируют с влагой), образование отложений на деталях двигателя. Бороводороды хорошо реагируют не только с кислородом воздуха и тем более с чистым кислородом, но и с водой. Поэтому их рассматривают и как возможные ГРГ для судов.

Для увеличения теплоты сгорания приготавливают суспензии металлов (магний, алюминий и т.п.) в углеводородном горючем, сжигание которых позволяет повысить температуру в камере сгорания до 6000–7000 °С, что приводит к резкому увеличению тяги двигателя.

Окислители. Во всех обычных теплогенераторах и тепловых двигателях в качестве окислителя используется атмосферный воздух. На морских судах можно использовать воду. На ракетах и летательных аппаратах других типов применяются окислители, содержащие кислород, фтор или хлор.

Таб. 7. Основные характеристики типичных гидрореаги-рующих горючих (топлив)

ГРГ	Удельная масса, кг/л	Температура плавления, °С	Теплота сгорания, $Q_{\text{н}}^0 \cdot 10^{-4}$		Газообразование	
			кДж/кг	кДж/м ³	м ³ /кг	м ³ /м ³
Литий Li	0,534	186,0	2,83	154,5	1,61	800
Натрий Na	0,971	97,5	0,612	60,7	0,485	470
Калий K	0,89	62,3	0,361	32,9	0,285	245
Кальций Ca	1,55	850,0	1,032	163,2	0,56	370
Алюминий Al	2,69	660,0	1,55	426,0	1,24	3220
Магний Mg	1,74	651,0	1,39	248,0	0,92	1600
Диборан B ₂ H ₆	0,477	165,5	1,74	84,7	4,536	2220
Тетраборан B ₄ H ₆	0,56*	120,0	1,795	102,3	4,62	2720
Пентаборан B ₅ H ₉	0,61**	46,6	2,013	125,2	4,26	2600

* При 112 °С.

** При 70 °С.

Кислородные окислители – озон, кислород (газообразный и жидкий), перекись водорода H₂O₂, вода, тетранитрометан C(NO₂)₄, азотная кислота HNO₃, оксиды азота N₂O₅, N₂O₄ и др.

Фторные окислители – фтор (газообразный и жидкий), моноокись фтора OF₂, перекись фтора O₂F₂, трифторид хлора ClF₃ и др. Хлорные окислители представляют собой кислородные соединения хлора – безводная хлорная кислота HClO₄ и семиокись хлора Cl₂O₇. Соли хлорной кислоты (хлораты и перхлораты) применяются в качестве окисляющих компонентов твердых ракетных топлив.

В целом же фторные и хлорные окислители уступают кислородным по активности. Каждая из этих групп окислителей так же, как и каждый окислитель внутри группы, имеют свои достоинства и недостатки, которые подробно рассматриваются в специальной литературе.

Закрепим изученное!

1. Наибольший интерес представляют неорганические топлива, которые способны реагировать с водой. Гидрореагирующие горючие (ГРГ) имеют определённые перспективы применения на морских судах и аппаратах. К ним можно отнести: кремний (металлоид), алюминий, бериллий, литий. Интерес представляет также борводороды.

2. В настоящее время практического использования (кроме ракетной техники) неорганические топлива не имеют. Они применяются в виде добавок к углеводородному горючему для приготовления суспензий. В результате сжигания полученных суспензий удастся существенно повысить температуру в камере сгорания, а значит повысить термический КПД теплового двигателя.

2.9. ВОДОРОД КАК ТОПЛИВО

Успех – это движение от неудачи к неудаче без потери энтузиазма.

*У. Черчилль, премьер-министр
Великобритании*

Водород, самый простой и легкий из всех химических элементов, можно считать идеальным топливом. При сжигании водорода образуется вода, которую можно снова разложить на водород и кислород, причем этот процесс не вызывает никакого загрязнения окружающей среды. Водородное пламя не выделяет в атмосферу продуктов, которыми неизбежно сопровождаются горение любых других видов топлива: диоксида углерода, оксида углерода, диоксида серы, углеводородов, золы и других органических примесей. Водород обладает очень высокой теплотой сгорания $Q = 120$ МДж/кг, тогда как теплота сгорания бензина и дизельного топлива соответственно $Q = 47$ МДж/кг и $Q = 42,5$ МДж/кг.

Водород можно транспортировать и распределять по трубопроводам, как природный газ. Трубопроводный транспорт топлива – самый дешевый способ дальней передачи энергии. К тому же трубопроводы прокладываются под землей, что не нарушает ландшафта.

Несмотря на это, у водорода имеется ряд недостатков:

- он в 8 раз легче природного газа, и его объемная теплота сгорания меньше, чем у метана в 3,3 раза;
- водород более взрывоопасен, чем природный газ, и образует с воздухом взрывоопасные смеси в большом диапазоне концентраций (4-75%);
- температура сжижения водорода при атмосферном давлении очень низкая (-253 °С, или 20 К), что существенно ниже чем у природного газа (у метана 108К, или -165 °С);
- водород дорог в производстве.

Основные методы получения водорода

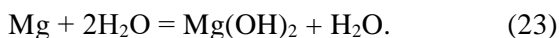
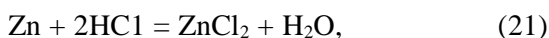
Водород – синтетическое топливо. Его можно получить из угля, нефти, природного газа либо путём разложения

воды. Рассмотрим подробнее методы производства водорода.

Водород практически не встречается в природе в чистом виде (если не считать выделения его из разломов земной коры) и поэтому должен быть извлечен из водородсодержащих соединений (неорганических и органических) с помощью различных методов. Следует подчеркнуть, что разнообразие способов получения водорода является одним из главных преимуществ водородной энергетики, так как повышает энергетическую безопасность и снимает зависимость от отдельных видов сырья.

Водород может быть получен различными путями с использованием широкого диапазона технологий, выбор которых *определяется требованиями чистоты продукта, его количеством* и экономическими показателями производства.

В лабораторных условиях в небольших количествах водород можно получить взаимодействием металлов с кислотами или щелочами, например, цинка с соляной кислотой или алюминия с гидроксидом натрия, а магний бурно реагирует просто с горячей водой:



Реакция Al с NaOH применялась раньше для получения водорода в полевых условиях (для наполнения аэростатов). Так, для получения 1 м³ водорода (при 0 С и 1 атм) требуется только 0,81 кг алюминия по сравнению с 2,9 кг цинка или 2,5 кг железа.

При взаимодействии порошкообразного алюминия с водой также выделяется водород (3—5). Эта реакция может быть использована для получения водорода в больших количествах и лежит в основе действия алюмоэнергетических установок:



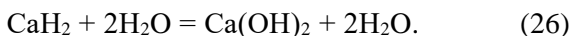
Действие натрия на воду приводит к образованию водорода:



Ввиду того, что чистый натрий реагирует в этом случае слишком энергично, его чаще вводят в реакцию в виде амальгамы натрия.

Аналогично натрию с водой реагируют и остальные щелочные и щелочноземельные металлы.

Действие гидроксида кальция CaH_2 на воду также дает водород:



Этот метод удобен для получения водорода в полевых условиях. Для получения 1 м³ водорода теоретически необходимо 0,94 кг CaH_2 и кроме воды не требуется никаких других реактивов

Для получения водорода в промышленных масштабах используются следующие технологии:

- паровая и парокислородная конверсия природного газа и углеводородов нефти;
- газификация угля;
- электролиз воды и водяного пара;
- термохимическое и термоэлектрохимическое разложение воды;
- плазмохимическое разложение воды и сероводорода;
- физические методы выделения водорода из смесей.

Из таблицы 8 видно, что в настоящее время 96 % водорода добывается из невозобновляемых ископаемых источников, что еще более осложняет решение экологических проблем.

Таб. 8. Промышленное производство водорода

Сырье	Доля производимого водорода, %
Природный газ	48
Нефть	30
Уголь	18
Вода (электролиз)	4

Закрепим изученное!

1. Водород можно считать идеальным топливом, поскольку при его сжигании образуется вода, которую снова можно разложить на водород и кислород. При этом никакого загрязнения окружающей среды не происходит.

Водород обладает очень высокой массовой теплотой сгорания ($Q = 120$ МДж/кг), которая в 2,6 раза больше теплоты сгорания бензина и в 2,8 раза больше, чем у дизельного топлива.

2. Однако объёмная теплота сгорания водорода меньше в 3,3 раза, чем у метана. Водород более выгоден, чем природный газ, а также дорог в производстве.

Кроме того, в настоящее время водород главным образом (96%) добывают из невозобновляемых ископаемых источников, что осложняет решение экологических проблем.

3 ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ

Мы охотно верим тому,
чему хочется верить.

*Публий
Теренций, древнеримский
драматург*

Как было ранее отмечено, запасы углеводородного (традиционного) топлива истощаются. Кроме того, сжигание углеводородного топлива приводит к загрязнению окружающей среды и, в первую очередь, к парниковому эффекту, который вызывает потепление климата и может привести к катастрофическим последствиям. Поэтому, заглядывая в будущее, мы обязаны учитывать эти негативные последствия традиционного развития энергетики и использовать другие источники энергии. Одним из вариантов привлечения в энергетику является использования ядерной энергии.

В 1954 году Люис Л. Страус, председатель американской комиссии по атомной энергии, сказал: «Можно ожидать, что наши дети будут пользоваться в своих домах электричеством, которое будет слишком дешевым, чтобы измерять его стоимость...». Заявление Л.Страуса – своего рода гипербола. После ядерных бомбардировок США городов Японии Хиросима и Нагасаки в августе 1945 года и ужасных последствий не было спроса на ядерную электроэнергию. Но в 1950 году в СССР начато строительство и в 1954 году пущена в эксплуатацию первая в мире АЭС в Обнинске. США стремились реабилитироваться в глазах мирового сообщества после бомбежек Хиросимы и Нагасаки, им было необходимо продемонстрировать использование ядерной энергии в мирных целях. Важным фактором были политические и стратегические цели США – стремление не допустить того, чтобы их обогнал Советский Союз.

Настоящий бум производства ядерной энергии приходится на конец 1960-х.гг. В 1971 году Гленн Сиборг, лауреат Нобелевской премии по химии, председатель Комиссии по атомной энергетике США, заявил, что невероятные преимущества ядерной энергетике должны

будут улучшить качество жизни большей части населения в мире. Атомные реакторы будут применяться не только для производства практически всей электроэнергии в мире, с их помощью преобразится все мировое сельское хозяйство, появятся так называемые электрифицированные комплексы пищевой промышленности. Суть высказываний Сиборга заключалась в том, что без ядерной энергии человеческая цивилизация просто исчезнет.

Однако после нефтяного кризиса 1973-1974гг. позиция ядерной энергетики не только не укрепилась, а ухудшилась. В результате увеличения требований безопасности (увеличились в десятки раз) начала стремительно повышаться стоимость АЭС.

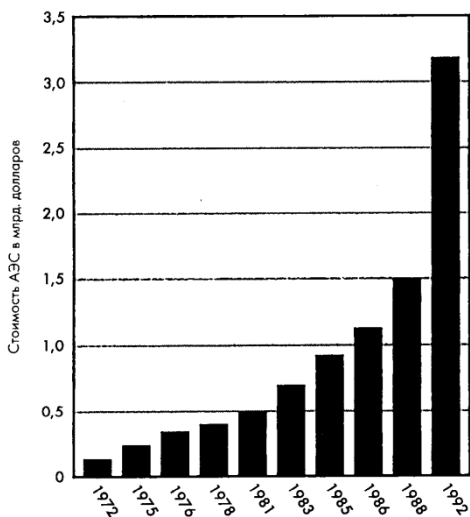


Рис. 3. Тенденции роста стоимости АЭС мощностью 1ГВт в США, млрд. долларов на одну АЭС

Например АЭС в Нью-Йорке оценивалась в 6 млрд долларов, в то время как первоначальная стоимость проекта была 241 млн долларов.

К концу 1980-х гг стоимость проектов по строительству АЭС повышалась постоянно, и эксперты пришли к следующему выводу: для минимизации затрат необходимо остановить все строительные работы по АЭС. Кроме того,

общественные представления об опасности ядерной энергетики проявились с новой силой в связи с аварией на АЭС Три-Майл-Айленд в Пенсильвании (США) в 1979 году и аварией на Чернобыльской АЭС в Украине (СССР) в 1986 году. Все это наложило отпечаток на атомную энергетику (особенно в Европе).

В последнее время у ядерной энергетики появилось множество новых сторонников, поскольку данная отрасль является, по сути, безуглеродным способом получения энергии. Высказывается мнение, что ядерная энергетика – лучший и наиболее доступный способ предотвращения быстрого, и возможно, катастрофического глобального потепления. Согласно прогнозам, десятикратное увеличение текущих мощностей ядерной отрасли позволит избежать попадания в атмосферу в общей сложности 15% от общего объема выбросов углекислого газа (непроницаемого для теплового излучения и способствующего парниковому эффекту) в течение 2000-2075 гг.

Однако после террористических актов в США 11 сентября 2001 года (таран башен близнецов Всемирного торгового центра в Нью-Йорке) появились новые угрозы: ядерный терроризм, проблема хранения высокорadioактивных отходов, вероятность катастрофических отказов ядерного реактора, проблема воздействия ядерной энергетики на окружающую среду (в ближайшей и долгосрочной перспективе), а также проблема нераспространения ядерного оружия.

Из всего вышеуказанного следует, что в ближайшее время отношение к ядерной энергетике будет очень осторожное. Возврат к ядерной энергетике маловероятен как в Северной Америке, так и в Европе. В число стран, которые продолжают увеличивать объем ядерных мощностей и разрабатывают планы по дальнейшему расширению отрасли, входят Франция (в основе ее успешной ядерной программы – модульные водо-водяные энергетические реакторы – ВВЭР), Япония, Южная Корея, Индия, Россия и Китай. У Китая очень амбициозные планы: уровень атомных мощностей к 2020 году должен приблизиться к 70 ГВт (для сравнения: американский атомный потенциал в настоящее время составляет чуть более 100 ГВт).

Для Республики Беларусь развитие собственной атомной энергетики – это вопрос сегодняшнего дня. После ввода в эксплуатацию атомная электростанция (первый блок – 2018, второй в - 2020 году) будет вырабатывать около 25% электроэнергии страны, что позволит заместить около 5 млрд м³ газа. Замещение природного газа ядерным топливом снизит уровень выбросов парниковых газов (в основном диоксида углерода CO₂) в атмосферу примерно 7-10 млрд м³ газа. Отработавшее в реакторах энергоблоков Белорусской АЭС ядерное топливо российского производства будет подлежать возврату в Россию для переработки.

Себестоимость электроэнергии, выработанной на АЭС, как показывает мировой опыт, примерно на 3,5% ниже произведённой на тепловых электростанциях, работающих на природном газе. Снизится темп роста тарифов на электроэнергию, и как следствие понизятся стоимость белорусских товаров и услуг, повысится их конкурентоспособность.

3.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

Привыкайте к новизне!

*В.С.Высоцкий, советский поэт,
артист.*

Ядерная энергия освобождается в виде тепловой в процессе торможения продуктов ядерного деления или синтеза атомных ядер, движущихся с большими скоростями, и поглощения их кинетической энергии веществом теплоносителя.

Известно, что полная энергия связи — энергия, необходимая для деления ядра на отдельные протоны и нейтроны, или, что то же самое, энергия, выделяющаяся при синтезе ядра из отдельных протонов и нейтронов. Если известна масса m ядра, состоящего из Z протонов и $A - Z$ нейтронов, то его полная энергия связи будет равна

$$E_{\text{св}} = [m_p Z + m_n (A - Z) - m] c^2, \quad (27)$$

где m_p – масса протона; m_n – масса нейтрона; A – массовое число, равное числу протонов и нейтронов в ядре; c – скорость света.

Так, для урана ${}^{238}\text{U}$ $E_{\text{св}} = 1780$ МэВ, кислорода ${}^{16}\text{O}$ $E_{\text{св}} = 127,2$ МэВ, дейтрона, состоящего из одного протона и одного нейтрона, $E_{\text{св}} = 2,2$ МэВ.

Удельная энергия связи ядра – энергия, приходящаяся на один нуклон (общее название частицы из протона и нейтрона), для большинства ядер (c $A = 50\dots 90$) примерно постоянна и составляет $8,5$ МэВ.

В области тяжелых ядер она уменьшается, достигая значения $7,6$ МэВ для урана. Таким образом, наиболее стабильными оказываются элементы с массовыми числами приблизительно от 20 до 200 , поэтому энергетически выгодно производить деление тяжелых ядер и синтез легких. Чтобы освобождение ядерной энергии началось, надо подвести некоторую начальную энергию – энергию активации E_a .

Деление ядер нейтронами. Попытки освобождения энергии связи ядра путем бомбардировки его протонами и другими заряженными частицами оказались неудачными из-за противодействия кулоновских сил. Освобождение ядерной энергии стало возможным после открытия в 1932 г. нейтрона Дж. Чадвиком (Англия) на основе экспериментов Бете и Беккера (Германия, 1930 г.), Ирен и Фредерика Жолио-Кюри (Франция, 1932 г.). Не обладая зарядом, нейтрон оказался идеальным снарядом для деления ядер, открытым О. Ганом и Ф. Штрассманом (Германия, 1939 г.).

По скоростям движения различают медленные (тепловые) нейтроны, энергия которых $E_n = 0,03\dots 0,5$ эВ (скорость несколько тысяч метров в секунду, температура комнатная и несколько выше), промежуточные – $E_n = 1\dots 10^3$ эВ и быстрые – $E_n = 10^5$ эВ и более.

Энергия активации зависит от вида ядер и применяемых «снарядов». Так, ${}^{235}\text{U}$, ${}^{233}\text{U}$ и ${}^{239}\text{Pu}$ делятся под действием тепловых нейтронов, а ${}^{232}\text{Th}$ и ${}^{238}\text{U}$ – при бомбардировке быстрыми нейтронами.

Не все нейтроны, направляемые на мишень, сталкиваются с ее ядрами, а из столкнувшихся не все вызывают соответствующую реакцию.

Если нейтрон не поглощается ядром, а только сталкивается с ним, он теряет часть своей энергии, т.е. замедляется. При замедлении (упругом и неупругом рассеянии энергии) быстрый нейтрон может стать промежуточным, медленным (или тепловым).

Процесс деления ядра проще всего представить с помощью капельной модели. В ядре-капле действуют противоположные силы – электростатическое (кулоновское) отталкивание протонов стремится разорвать ядро-каплю на составные части, а поверхностные силы, обусловленные ядерным взаимодействием нуклонов, противодействуют распаду ядра. Ядро, поглотившее нейтрон, возбуждается и, подобно жидкой капле, начинает колебаться

Если нейтрон с кинетической энергией W_k захватывается делящимся ядром, то образующееся промежуточное ядро приобретает энергию возбуждения $W_{\text{возб}}$, равную сумме кинетической энергии и энергии связи поглощенного нейтрона в промежуточном ядре. Если $W_{\text{возб}} > E_a$, то ядро делится, если, напротив, $W_{\text{возб}} < E_a$, то энергия возбуждения передается какой-либо частице, испускаемой ядром. Так как энергия связи существенно зависит от того, является ли число нейтронов в ядре $N = A - Z$ четным или нечетным, Бору удалось вывести правило (*правило Бора*), согласно которому **ядра с нечетным числом нейтронов (большое $W_{\text{возб}}$) в основном делятся тепловыми нейтронами, тогда как ядра с четным числом нейтронов (малое $W_{\text{возб}}$) делятся только под действием быстрых нейтронов.**

Мерой способности деления ядра является отношение энергии электростатического отталкивания протонов E_k к энергии поверхностного натяжения E_n , называемое *параметром деления*. Установлено, что $E_k / E_n = aZ^2/A$, где a – коэффициент пропорциональности. Чем Z^2/A больше, тем меньше надо затратить энергии для разрыва ядра (более подробно вопросы ядерного деления рассматриваются в специальной литературе).

3.2 ЦЕПНЫЕ РЕАКЦИИ ДЕЛЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ТОПЛИВ

Самое удивительное в мире –
это то, что он познаваем
А.Эйнштейн, физик

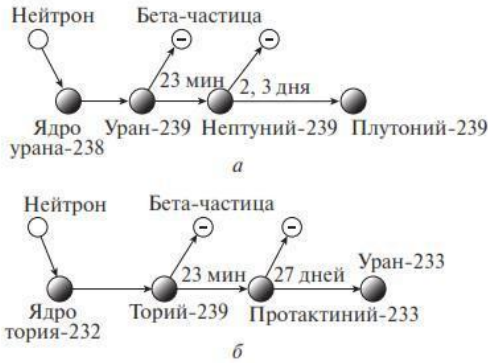
В теорию ядерной реакции и практическое применение этой теории при создании ядерного реактора внесли Н.Н. Семенов, Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон, И.В. Курчатов, Э Ферми и др. Суть цепной реакции деления ядерного топлива сводится к следующему.

Для возникновения цепной реакции необходимо, чтобы в каждом последующем акте деления участвовало больше нейтронов, чем в предыдущем. Делящиеся ядерные топлива являются однокомпонентными. Тепловые нейтроны поглощаются делящимися изотопами наиболее интенсивно. Сечение деления в тепловой области в сотни раз превышает сечение деления в области энергий быстрых нейтронов. Поэтому в атомных реакторах нейтроны замедляются в специальных веществах – *замедлителях* – воде, тяжелой воде, бериллии, графите и др.

Природный уран, добываемый из земной коры, содержит только 0,712% ^{235}U , делящегося при захвате тепловых нейтронов. Остальную массу составляет ^{238}U , который обладает большим сечением захвата тепловых нейтронов, поэтому осуществить цепную реакцию с ними можно только при тщательном расчете системы «топливо – замедлитель» в реакторах очень больших размеров. Это приводит к необходимости обогащать природный уран добавлением в него ^{235}U от 1–2 до 40–80% (первые цифры относятся к реакторам электростанций, а последние – к реакторам некоторых транспортных установок).

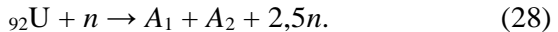
В двухступенчатом режиме с воспроизводством топлива можно использовать ^{238}U и ^{232}Th . Ни одно из них не делится под действием тепловых нейтронов, но, захватывая быстрые нейтроны, они превращаются в делящиеся изотопы ^{239}Pu и ^{233}U (рис. 4). Таким путем запасы ядерного топлива теоретически увеличиваются почти в 140 раз за счет энергии урана и еще в 2–3 раза – за счет энергии тория. Однако если учесть при этом различные потери, то энергоресурсы

возрастут только в 15–25 раз. В расчете на это и планируется будущее ядерной энергетики (деления).



а – урановый цикл; б – ториевый цикл
Рис. 4. Процессы воспроизводства ядерного топлива

Реакцию деления в общей форме можно записать так:



Символ n означает нейтрон, а A_1 и A_2 – два осколка деления, представляющие собой радиоактивные многократно ионизованные атомы различных элементов из средней части Периодической таблицы Д.И. Менделеева. В среднем за каждый акт деления ${}^{235}\text{U}$ испускается $(2,5 \pm 0,1)$ нейтрона. При делении ядра ${}^{235}\text{U}$ освобождающаяся энергия распределяется между различными продуктами деления следующим образом, МэВ:

Кинетическая энергия осколков деления	168
Энергия нейтронов деления	5
Энергия мгновенного γ -излучения	5
Энергия β -распада	7
Энергия фотонов γ -распада осколков деления	6
Энергия нейтрино	11
Всего	202
Энергия, уносимая нейтрино, не может быть уловлена.	

Кинетическая энергия продуктов реакции, попадающих в вещество теплоносителя, превращается в теплоту. Один килограмм ядерного топлива обеспечивает получение тепловой мощности 2000 кВт в течение года.

Ядерное топливо применяется в реакторах в виде металлических блоков, отличающихся высокой эффективностью использования нейтронов, хорошей теплопроводностью и высоким сопротивлением термическим ударам (внезапным изменениям теплового режима при выключении и включении реактора). Но твердое металлическое ядерное топливо имеет и ряд недостатков: низкую температуру плавления $t_{\text{пл}} = 1133 \text{ }^\circ\text{C}$, малую прочность, испытывает фазовые превращения при высокой температуре (до $600 \text{ }^\circ\text{C}$), что не позволяет применять его в реакторах большой удельной мощности. Для устранения этих недостатков разрабатывают различные виды керамического ядерного топлива – двуокись урана UO_2 ($t_{\text{пл}} = 2800 \text{ }^\circ\text{C}$), карбид урана UC ($t_{\text{пл}} = 2700 \text{ }^\circ\text{C}$), силицид урана USi_2 ($t_{\text{пл}} = 1700 \text{ }^\circ\text{C}$) и др.

Закрепим изученное!

1. После освоения ядерной энергии в мирных целях (1950-е годы) начался настоящий бум производства электроэнергии на атомных электростанциях. Считалось, что атомные реакторы будут применяться для производства всей электроэнергии в мире. В результате преобразится жизнь всего человечества.

2. Однако обеспечение требований безопасности существенно (на порядок) повысило стоимость АЭС в 1980-е годы (после аварий на АЭС Три-Майл-Айленд в США и на Чернобыльской АЭС в СССР).

Кроме того, обострение международного терроризма вызвало боязнь ядерного терроризма, что привело к проблеме хранения высокорadioактивных отходов. Также недостаточная изученность воздействия ядерной энергетики на окружающую среду (в ближайшей и долгосрочной перспективе).

3. В последнее время у ядерной энергетики появилось много новых сторонников. Это обусловлено тем, что запасы традиционного углеводородного топлива истощаются, а также

ядерная энергетика – наиболее доступный способ безуглеродного получения энергии, следовательно, способ предотвращения быстрого глобального потепления.

4 ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Если вы не думаете о будущем,
у вас его и не будет.
*Дж. Голсуорси, английский писатель,
лауреат Нобелевской премии*

Как было ранее отмечено, энергетическая независимость любого государства обеспечивает экономическую и политическую независимость страны. Но, во-первых, природные горючие ископаемые распределены на Земном шаре неравномерно; во-вторых, эти энергетические ресурсы являются невозобновляемыми, т.е. рано или поздно человечество для обеспечения своей комфортной жизни выкачает из земных недр всю нефть, сожжет весь газ и выкачает весь уголь. В-третьих, не стоит забывать об отрицательном экологическом эффекте сжигания углеводородного топлива. Продукты сгорания топлива загрязняют воздух, и эти загрязняющие вещества, по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в конечном итоге оказывают отрицательное воздействие на жизнь человека и её продолжительность. Кроме того, увеличение парниковых газов (в первую очередь, углекислого газа CO_2) в атмосфере приводит к увеличению средней температуры на всей планете.

Мировое сообщество уже давно осознало ограниченность мировых запасов ископаемого топлива и отрицательное воздействие его использования в энергетике на экологию.

По всему миру человечество ищет и постепенно выделяет замену ископаемому топливу. Внедряются программы перехода на экологически чистые и возобновляемые источники энергии.

Но у **альтернативной энергетики** множество проблем.

Первая проблема – проблема географического распределения возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Ветряные электростанции строятся только в районах, где дуют сравнительно сильные и постоянные ветра, солнечные – где минимальное количество пасмурных дней, гидроэлектростанции – в горной местности и на крупных реках.

Вторая проблема – нестабильность ВИЭ. На ветреных электростанциях выработка зависит от ветра, который постоянно меняет скорость или вообще затихает. Солнечные электростанции плохо работают в пасмурную погоду и вообще не работают ночью. Решить проблему может только строительство огромных хранилищ энергии, для создания резерва на случай низкой выработки. Однако это сильно удорожает всю систему.

Третья проблема альтернативной энергетики состоит в том, что она предусматривает децентрализацию производственных мощностей. На первый взгляд, это положительно, так как значительно сократятся издержки производства (затраты на постройку линий электропередач, трансформаторов, содержание обслуживающего персонала и т.д.); а в дальнейшем эти сбережения превысят расходы, связанные с эксплуатацией небольших энергоблоков. Однако экономическая оценка мелкомасштабной возобновляемой энергетики показывает определенную несостоятельность ВИЭ. Централизованное крупномасштабное производство электроэнергии по-прежнему доминирует.

Мелкомасштабная возобновляемая энергетика не может снабжать энергией такие современные крупные энергопотребляющие отрасли как производство чугуна и стали, нефтеперерабатывающие и химические предприятия, производства цемента, стекла и др.

Следует также учесть, что сегодня более половины человечества живет в густонаселенных городах с огромной транспортной системой и развитой промышленной сетью. Значит этому населению нужна энергия, которая будет производиться на крупномасштабных централизованных энергопредприятиях.

Из-за этих и многих других сложностей замедляется развитие альтернативной энергетики в мире. Сжигать ископаемое углеводородное топливо по-прежнему проще и дешевле.

Однако если в масштабах мировой экономики ВИЭ и не дают большой выгоды, то в рамках отдельных

потребителей энергии они могут быть предпочтительнее невозобновляемых энергоресурсов.

Закрепим изученное!

1. Природные (углеводородные) горючие ископаемые (уголь, нефть, природный газ) являются невозобновляемыми и разведанными, в настоящее время их залежи истощаются. Кроме того, их сжигание, в результате которого высвобождается энергия, законсервированная в них, приводит к отрицательному экологическому эффекту: образовавшиеся загрязняющие вещества вредно действуют на живую и неживую природу, а также приводят к парниковому эффекту (главным образом, такое влияние оказывает углекислый газ CO_2) в атмосфере, что вызывает потепление климата на Земле.

2. В настоящее время широко используются возобновляемые источники энергии (ВИЭ): биомасса, гидро-, ветро- и солнечная энергия. Но применение ВИЭ встречается с рядом проблем, свойственным этим источникам. Это неравномерность распределения на поверхности Земли, нестабильность в течение года (зима, весна, лето, осень) и суток (утро, день, вечер, ночь) и небольшая производственная мощность. Указанные и другие сложности замедляют развитие ВИЭ. Сжигать ископаемое углеводородное топливо (уголь, нефть, газ) по-прежнему проще и дешевле.

4.1 ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ

Не спрашивай, что твоя страна может сделать для тебя; спрашивай себя, что ты можешь сделать для неё.
Дж. Кеннеди, президент США

Биомасса – это органические вещества, сохранившие в себе энергию Солнца, благодаря процессу фотосинтеза.

Источниками топлива из биомассы являются наземная и водная растительность, отходы сельскохозяйственного и лесозаготовительного производства, муниципальные отходы и отходы животноводства. Она образуется в ходе работы пищевой цепочки. В первоначальном виде существует в форме растений, затем передается травоядным животным, а если их съедят – то и плотоядным. Человек тоже ест растения и животных.

Биомасса характеризуется способностью к возобновлению,

низкой ценой, небольшим объемом выбросов, исключением повышения содержания CO_2 в атмосфере, неэкономичностью транспортировки на большие расстояния и сильной тенденцией образования нагара и шлака при сжигании.

При сгорании биомассы (древесины, высушенной растительности) освобождается накопленная энергия и углекислый газ.

В принципе, биомасса – это любой материал органического происхождения, не только растения и животные, но и экскременты животных или остатки растений, такие как солома. Бумага и целлюлоза, отходы бойни, органические отходы, растительное масло и этанол – все это биомасса и может быть использовано для производства энергии.

Внимание, уделяемое в последние годы биомассе, связано как с постоянно растущим дефицитом ископаемых топлив, угля, нефти, природного газа, так и с поисками им замены. О том, что биомасса обладает достаточным энергетическим потенциалом, говорит хотя бы такой факт: только в континентальных лесах ее накапливается ежегодно до 70 млрд. т. По энергосодержанию это втрое превышает современное потребление энергии в мире. С энергетической проблемой тесно связана проблема экологическая. Интенсификация промышленного и сельскохозяйственного производства, а также дальнейшая урбанизация неизбежно приведут к тому, что концентрация разнообразных отходов в ближайшие десятилетия резко увеличится. А это значит: нужно будет принимать неотложные меры по их утилизации. Переработка отходов, т.е. биомассы позволит в определенной степени решить и экологическую, и энергетическую проблемы.

Энергетическое использование биомассы реализуется по трем направлениям (рис. 5).

При *первом направлении* биомасса непосредственно используется в качестве топлива путем сжигания растений, деревьев, водорослей, произрастающих в естественных условиях или быстрорастущих видов, специально выращиваемых в искусственных условиях.

Второе направление – использование теплоты, которую выделяют при брожении органические отходы (навоз, помет,

опилки и т.п.) и которую можно употреблять для обогрева парников, теплиц и других объектов.

Третье направление – извлечение из биомассы таких энергоносителей, как биогаз или спирты. Биогаз в основном получают из отходов растениеводства и животноводства. Хотя он и не является высококачественным энергоносителем, но с успехом может быть использован в небольших фермерских хозяйствах. Во многих тропических странах сооружены заводы, где из растительных отходов извлекают спирт. Добавляя его в бензин, можно экономить нефть и уменьшать токсичность выхлопных газов.

Прямое сжигание растительной биомассы, будучи древнейшим источником получения энергии для человека, интенсивно используется им и сейчас. Еще в 1987 г., согласно статистике, растительная биомасса обеспечила 14 % энергопотребления мира, что эквивалентно 1,26 млрд. т нефти.

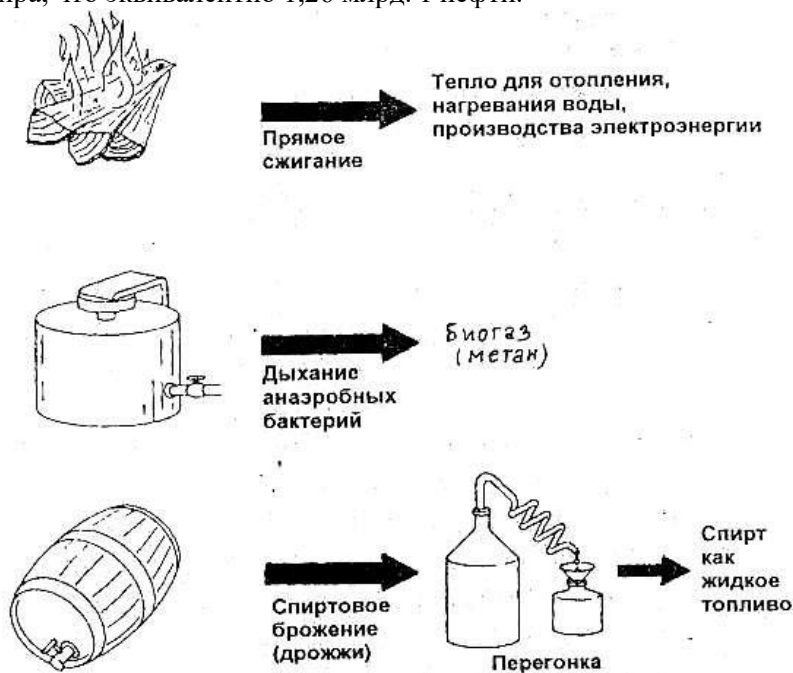


Рис. 5. Энергетическое использование биомассы

Термохимический метод переработки биомассы

Прямое сжигание биомассы. Простейшим методом получения полезной энергии из сухой биомассы является ее сжигание на воздухе. Теплота реакции составляет от 16 до 24 МДж/кг абсолютно сухой биомассы, в зависимости от ее типа. Если количество кислорода недостаточно для полного окисления горючего материала, тогда происходит образование углерода, оксида углерода, углеводородов и других газов, а теплота реакции снижается. Азот и другие элементы, присутствующие в биомассе, превращаются в газообразные продукты и золу.

Вода также снижает температуру пламени и скорость сжигания. Однако использование печей с псевдо сжиженным слоем материала позволяет проводить сжигание при содержании воды до 55%.

Были предложены регенеративные печи, повторно использующие тепло испарившейся воды и газообразных продуктов сгорания; в этих условиях теоретически возможно сжигание материалов, насыщенных влагой. Сжигание в соответствующих камерах сгорания может явиться одним из наиболее эффективных методов использования энергетического потенциала биомассы.

В печах прямого нагрева и паровых котлах использование тепла составляет 85%, однако многие установки на практике являются значительно менее эффективными.

Промышленная технология сжигания. Биомасса обычно используется в промышленности в качестве топлива только в тех случаях, когда она представляет собой остатки от переработки биологических материалов другие, более ценные, продукты. Это имеет частичное значение с точки зрения охраны окружающей среды, так как удаление остатков является часто затруднительным.

Два вида топлива биологического происхождения уже используются в промышленности, и методы сжигания их являются документально обоснованными:

- солома, получаемая в сельском хозяйстве:
- древесные отходы деревообрабатывающей промышленности.

Сжигание соломы на фермах практикуется в некоторых районах, а печи для сжигания соломы производятся в Дании в широком масштабе. Однако, по крайней мере, в Великобритании, после закупки в 70-х годах тысяч небольших бойлеров интерес к последним упал, и, по имеющимся данным, в настоящее время используется менее половины закупленного оборудования.

Причина тому, по-видимому, неудобство работы с этим оборудованием, сгорание неустойчивое и неэффективное, а дым и сажа вызывают загрязнение окружающей среды. Выход тепла был ниже, чем это было гарантировано производителем. Появились усовершенствованные варианты с непрерывным сжиганием и разделением печи и бойлера (для повышения полноты сгорания), однако эти устройства стали более дорогостоящими, и они вышли из употребления.

Отрасли деревообрабатывающей промышленности используют древесные остатки для парообразования на месте производства. Пар используется для поддержания температурных условий процесса и для выработки электроэнергии. Горячие продукты сгорания могут использоваться для сушки.

Общие отходы деревообрабатывающей промышленности могут составлять до 50% от массы сырья. Содержание влаги в отходах составляет 30–50%. Паровые установки, использующие эти отходы, сжигают до 250 т/ч. Используется несколько типов бойлеров и печей – например, датские печи, печи с механической загрузкой, печи с наклонной решеткой.

Сжигается как влажная (до 30% влаги), так и сухая древесина. Эффективность может быть такой же высокой, как и при сжигании других видов твердого топлива. Однако оборудование для сжигания часто включает высокоэффективные газовые и масляные установки (на случай отсутствия отходов).

Сжигание широко используется в целях утилизации городских и промышленных отходов. Несмотря на существование множества проектов по использованию полученного тепла для обогрева жилых домов, в большинстве случаев это тепло не используется. Стоимость сжигания может быть неожиданно высокой, но здесь первостепенное значение

имеет борьба с загрязнением окружающей среды, а для некоторых отходов сжигание является единственно приемлемым способом их утилизации.

Применение газогенераторов. Газогенератор использует простой, хорошо проверенный способ преобразования твердого топлива в газообразное. На стадии газификации топливо и кислород воздуха, подаваемого в ограниченном количестве в камеру газообразования, нагреваются раскаленным реактором и вступают между собой в реакцию. В результате нее топливо разлагается на углерод, водяной пар, смолы и масла. Дальнейшая реакция между кислородом и углеродом обеспечивает температуру, достаточную для образования окиси углерода (СО) – главного горючего компонента вырабатываемого газа.

Смолы и масла разлагаются на газы, содержащие водород и некоторое количество метана. Минимальная теплотворная способность газа – 1100 ккал/м³. Газогенераторы позволяют при совместной работе с серийно выпускаемыми водогрейными или паровыми котлами, воздушными теплообменниками осуществлять теплоснабжение зданий и сооружений различного назначения, получать горячую воду, пар или горячий воздух для обеспечения технологических процессов (запарка кормов, стерилизация, сушка древесины, зерна и др.).

В качестве топлива для газогенераторов может применяться древесная щепа, кусковой торф (объем кусков от 1см³ до 200 см³), смесь кускового торфа с опилками или стружками в соотношении примерно 1:1 по объему. Топливом могут быть и только опилки и стружка. Хорошим топливом для газогенераторов являются отходы гидролизной переработки древесины – лигнин, сформованный в топливный брикет (кусок).

Важной особенностью газогенераторов является их «всеядность». В них может использоваться топливо практически любой «сортности». Так, газогенераторы работают на измельченной древесине любых пород и любого качества (с корой, хвоей, подгнившая и т. п.). Существенную роль играет

только влажность. Возможно применение топлива влажностью до 45–50%.

Для наиболее эффективной работы и обеспечения максимального срока службы агрегата рекомендуется применять топливо с влажностью не выше 35%.

Газогенератор – агрегат модульной конструкции, легко приспособляемый к работе с различными водонагревательными и воздухонагревательными устройствами.

Газогенератор состоит из трех основных узлов: камеры газообразования, трубы горения и бункера для топлива.

Сухая перегонка, газификация и сжижение биомассы.

Основной целью всех процессов повышения качества биомассы является превращение ее в стабильное транспортабельное топливо, способное заменить ископаемые виды топлива без использования специального оборудования для погрузочно-разгрузочных работ. Путем сочетания нагрева и частичного сжигания биологических материалов можно получить твердые, жидкие и газообразные соединения, обладающие, по крайней мере, некоторыми свойствами угля, нефти и природного газа

Производство газа для использования его в качестве топлива путем сухой перегонки и газификации угля и биомассы было начато почти 200 лет назад. Различные термические процессы повышения качества биомассы, предлагаемые в настоящее время и использовавшиеся в прошлом, имеет много общих черт. Схематически используемые процессы представлены на рис. 6.

При нагревании биомассы происходит распад углеродсодержащих молекул с образованием ряда газообразных, жидких и твердых продуктов. Специфические продукты реакции определяются:

- температурой реакции;
- тепловой мощностью;
- степенью измельчения;
- типом биомассы;
- присутствием неорганических веществ и катализатора.

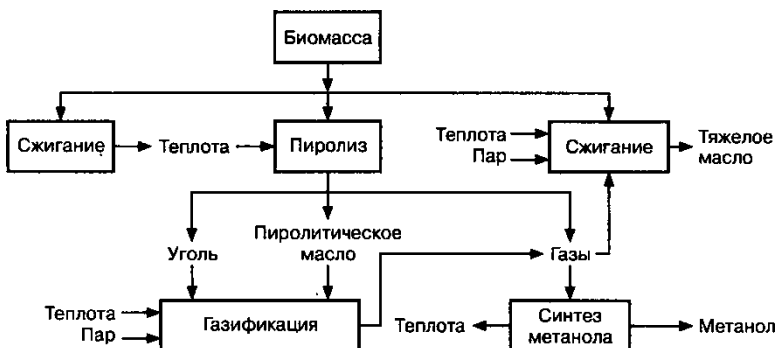


Рис. 6. Схема перегонки биомассы

Тепло, необходимое для осуществления этих изменений, носящих эндотермический характер, подводится или из внешнего источника, или путем введения воздуха или кислорода в реактор и сжигания части биологического материала.

Газификация и сжижение биомассы происходят как в присутствии, так и в отсутствие окислительных (O_2 , воздух) и восстановительных (CO , H_2) газов, обычно связанных с этими процессами.

Сухая перегонка рассматривается отдельно как анаэробный процесс. Превращение биомассы в газы при сжигании на месте рассматривается как газификация. Понятие «сжижение» охватывает восстановление биомассы до масел под действием восстановительных газов, полученных также из биомассы.

Сухая перегонка.

Нагрев биомассы приводит к удалению влаги (ярко выраженный эндотермический процесс). При температуре выше $100\text{ }^{\circ}C$ биомасса начинает разлагаться, а между 250 и $600\text{ }^{\circ}C$ основными продуктами являются уголь и маслянистая кислая смесь дегтя и различных количеств метанола, уксусной кислоты, ацетона и следы других органических веществ. До развития нефтехимической промышленности источником этих соединений была перегонка древесины.

На рис. 7 показан в качестве примера пиролиз целлюлозы.

При температуре свыше 600°C жидкие продукты пиролиза могут быть газифицированы, а свыше 800°C газифицируется также и уголь в результате эндотермической реакции углеродсодержащих молекул с водой с образованием синтез-газа, смеси оксида углерода и водорода.

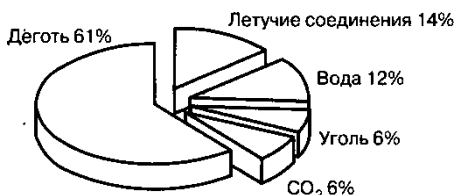


Рис. 7. Пиролиз целлюлозы

Сухая перегонка биомассы в развитых странах в промышленном масштабе не используется за исключением производства высокоценного древесного угля. Древесный уголь обычно получают путем нагревания древесины до 350°C в пиролизном реакторе. Выход составляет около 35% топлива с энергоемкостью примерно 29 ГДж/т, то есть сохраняется около 50% энергии древесины.

Пиролиз при $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ и давлении 2 Мпа приводит к получению синтез-газа. Быстрый пиролиз сухой биомассы при 800°C ведет к образованию олефинов, которые могут быть полимеризованы в автомобильный бензин (его заменитель).

В «западном» процессе сырье должно быть высушено и тонко размолото. Теплота, необходимая для осуществления пиролиза, получается в результате реакции. Газы удаляются из угля в циклонном сепараторе до очистки от жидкостей и остающихся твердых частиц, а затем уголь и газы возвращаются в пиролизатор. Схематическая диаграмма этого процесса показана на рис. 8.

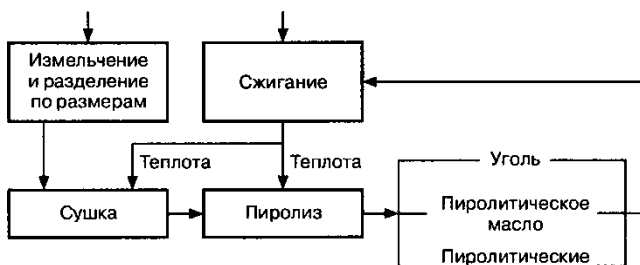


Рис. 8. *Схема пиролиза сухой биомассы*

В целях максимизации выхода жидкости время пиролиза сокращается до нескольких секунд. Выход пиролитического масла составляет около 40% в расчете на сухое сырье. Пиролитическое масло не смешивается с топливной нефтью, имеет коррозионные свойства, аналогичные свойствам уксусной кислоты, и может храниться только в течение примерно двух недель вследствие продолжающихся химических реакций

Для использования этого масла в качестве топлива необходимо специальное оборудование. Теплота сгорания пиролитического масла составляет около 53% теплоты сгорания топливной нефти (по массе). Выход угля составляет от 20 до 50%, содержание золы в угле до 50%. Газы имеют низкую теплоту сгорания и содержат до 65% двуокиси углерода и до 8% сероводорода.

Газификация. Газификация биомассы кислородом позволяет получить в среднем газ, состоящий из оксида углерода и водорода. Использование воздуха приводит к тому, что образующиеся горючие газы CO и H_2 разбавляются азотом N_2 , и теплота сгорания полученного газообразного топлива снижается. Химический процесс газификации представляет собой сочетание химического процесса сжигания с реакциями пиролиза. Уголь, полученный в результате пиролиза, реагирует с паром или диоксидом углерода CO_2 , с образованием синтез-газа.

Пиролитические масла претерпевают аналогичные реакции. При температуре выше $1000\text{ }^\circ\text{C}$ единственно стабильными молекулами топливного газа являются молекулы CO и H_2 . При более низких температурах стабильны молекулы этилена,

метана и другие молекулы с небольшим весом.

Газификаторы классифицируют следующим образом: газификаторы восходящего тока, нисходящего тока, кипящего слоя и взвешенного потока. Схематические диаграммы газификаторов восходящего и нисходящего токов показаны на рис. 9.



Рис. 9. Газификация способом нисходящего и восходящего потоков

Последний тип широко использовался в период второй мировой войны на транспортных средствах, трейлерах и небольших силовых установках. Недавно газификаторы, работающие на угле, использовались на Филиппинах для различных форм транспорта. Такие газификаторы нуждаются в постоянном уходе и внимательном отношении при запуске, регулировании и техническом обслуживании.

Воздушные газификаторы нуждаются в постоянном уходе и внимательном отношении при запуске, регулировании и техническом обслуживании. Воздушные газификаторы представляются как первые биотопливные системы будущего для замены существующих бойлеров и для обеспечения процессов необходимой теплотой с использованием отходов отраслей промышленности, перерабатывающих биомассу, например продовольствие и бумагу. Состав типичных газов, полученных с использованием кислородного газификатора, дает возможность химического их превращения, например в метанол и аммиак.

Сжижение биомассы. Разработаны способы превращения биомассы в жидкость, напоминающую тяжелую топливную нефть. Обычно такую горючую жидкость получают путём реакции биомассы с восстанавливающими газами (оксид углерода и водород) в присутствии катализатора.

Например, древесину высушивают до влажности 4%, размалывают в муку и смешивают с частью продуцированной

нефти. В качестве катализатора добавляют карбонат натрия в количестве 5% по массе. Смесь древесины, нефти, пара и катализатора подвергают первоначальному давлению 29 бар и нагревают до 300 °С в течение часа для обеспечения 99%-ного превращения древесины и выхода нефти 56%. Состав и свойства сжиженной нефти. Углерод — 76,1%. Водород — 7,3%. Кислород — 16,6. Плотность — 1,1 г/см³. Энергоемкость — 31,4 ГДж/т. Схематически процесс показан на рис. 10. Полученная нефть рекомендована для использования в качестве бойлерного топлива.

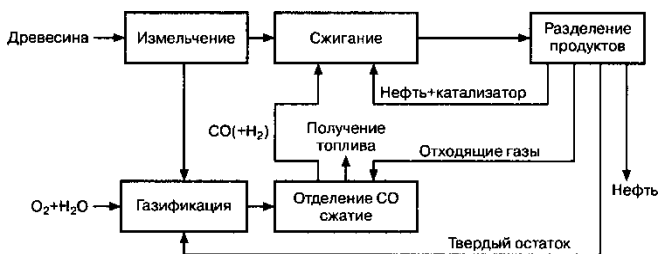


Рис. 10. Схема получения нефтяного топлива из древесины

Биохимический метод переработки биомассы

Выделяют два процесса переработки (разложения) биомассы в биотопливо:

- ферментация;
- анаэробное разложение.

Ферментация биомассы. Все виды растительной биомассы содержат моно- и полисахариды, служащие для аккумуляции энергии и углерода. Но промышленный характер носит получение сахара только из сахарного тростника и сахарной свеклы.

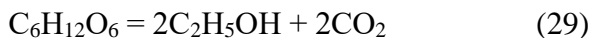
В табл. 9 представлены некоторые виды сахаров (мономеры, олигомеры и полимеры), полученные из различных видов растений и отходов биомасс.

Выход углеводов колеблется в широком диапазоне (в расчете на сухую биомассу) и может составлять до 60% (целлюлоза) в древесине и около 15—20% (сахароза) в сахарном тростнике и сахарной свекле.

Таб. 9. Углеводы и источники их получения

Источник	Углевод
Моносахариды и олигосахариды	
Сахарный тростник и сахарная свекла	Сахароза
Меласса	Сахароза, глюкоза, фруктоза
Отходы молочной промышленности	Лактоза, галактоза
Сорго сахарное	Сахароза, глюкоза
Полисахариды	
Древесные и пожнивные остатки	Целлюлоза, гемицеллюлоза
Городские и бумажные отходы	Целлюлоза
Кукуруза и другие зерновые	Крахмал
Маниок и картофель	Крахмал

Ферментацией называется химический процесс, в результате которого под воздействием определенных микроорганизмов, таких как дрожжи и некоторые бактерии, из сахара получается спирт. Этот процесс может быть описан следующей химическим уравнением.



В деятельности это сложный механизм, здесь может образовываться ряд других веществ, особенно при высоких значениях рН, как это показано в таблице 10.

Кроме дрожжей, можно использовать другие организмы, включая некоторые виды грибов, бактерий и зеленых растений, которые в анаэробных условиях могут превращать сахара в спирт.

Некоторые микроорганизмы могут разлагать целлюлозу. Такие реакции протекают медленно, и выход спирта является низким. Кроме спирта, процессы брожения и перегонки дают

остатки и смолы, которые следует удалить. Объем этих остатков в 15 раз больше объема произведенного спирта.

Таб. 10. *Продукты ферментации глюкозы*

Продукт	Ферментировано углерода (глюкозы), %	
	pH 3,0	pH 7,6
Этанол	57,3	43,3
Двуокись углерода	30,2	24,8
Глицерон	3,10	16,0
2,3-Бутандиол	0,5	0,5
Молочная кислота	0,4	0,7
Янтарная кислота	0,3	0,5
Уксусная кислота	0,2	5,0
Муравьиная кислота	0,1	0,1
Клетки	Примерно 4	

На рис. 11 схематически показан типичный процесс получения топливного спирта из древесины. В литературе описано множество других вариантов с использованием иных источников углеводов, начиная от соломы и отходов бумажной промышленности, кончая городским мусором.

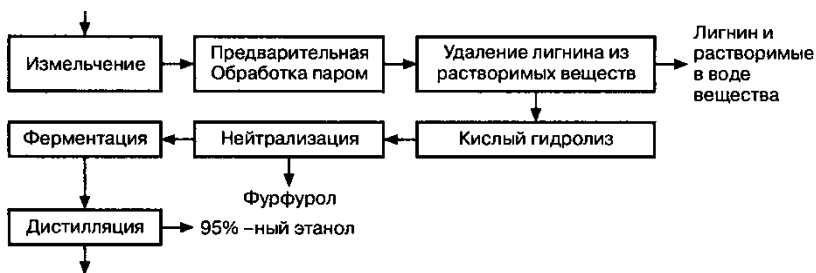


Рис. 11. *Превращение древесины в спирт*

Жидкое топливо из растений. После двух периодов

повышения цен на нефть использование алкоголя в топливных целях возросло. Лидером в данной энергетической отрасли Бразилия: более половины бразильских автолюбителей ездили на безводном этаноле. Коммерческое производства этанола как вида топлива стало расширяться в США. Развитие данной отрасли было активным.

Однако энергетическая ценность этанола составляет всего 65% по сравнению с бензином. Поэтому для коммерческого производства топливного этанола уже в 2005 году понадобилось бы 600 млн га земли, что превосходит все обработанные территории в тропиках и соответствует 40% от всей площади обрабатываемых земель в мире. Поскольку к 2050 году эти земли должны будут прокормить от 8,5-9 млрд человек, это обрекает любые инициативы по производству биотоплива на провал.

У сторонников производства этанола из сельскохозяйственных культур есть более убедительный аргумент: получение целлюлозного этанола – спирта, произведенного из глюкозы, образованной в результате разрушения макро-молекул целлюлозы.

Зерновое земледелие сегодня доминирует во всех развитых странах, современные сорта позволяют обеспечить соотношение между зернами и тем, что остается, равное 1:1. Но получить новый источник энергии снова не удастся: мечты не соответствуют реальности. В ходе процесса получения целлюлозного этанола нарушаются законы термодинамики: получить больше энергии из меньшего, или даже из ничего. Остатки по своей сути обладают низкой энергоёмкостью, она намного ниже, чем у сельскохозяйственных культур. Остатки порой очень трудно собирать и дорого перевозить. Кроме того, разрушить в молекуле целлюлозы прочные связи между остатками молекулы глюкозы очень сложно и энергоёмко. И, наконец, растительные остатки не являются бесполезными отходами. Вместе с переработанными растительными остатками возвращаются в почву химические соединения. Поступающие в почву вещества увлажняют её и предотвращают эрозию почвы. Кроме того, в бедных густонаселённых странах до сих пор растительные остатки используются как топливо и корм для животных.

Анаэробное разложение биомассы. Некоторые органические молекулы биомассы могут подвергаться анаэробному разложению в результате деятельности микроорганизмов. Основные продукты распада – диоксид углерода, метан и большое число микробных клеток. В природе этот процесс протекает в гнилостной среде.

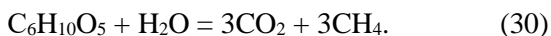
С прошлого века его использовали для обработки больших количеств шлама (осадка сточных вод). Главное преимущество этого метода – сокращение числа и обезвреживания твердых частиц вторичного отстоя очистительных установок.

Только крупные канализационно-очистные сооружения используют выделившийся метан как источник энергии. Небольшие очистные сооружения, имеющие реакторы, могут сжигать газ или использовать его для подогрева самих реакторов.

За последние годы была предложена технология удаления навоза на крупных предприятиях интенсивного животноводства; удаление стоков с предприятий, занимающихся переработкой биологических продуктов, например переработкой продуктов питания; превращения биомассы в энергию.

Эта технология – одна из наиболее простых, среди технологий получения топлива из биомассы. В результате эта технология особенно пропагандировалась для использования в странах третьего мира, где устанавливается большое число реакторов.

На примере целлюлозы анаэробное разложение можно представить в виде следующего химического уравнения:



В 1970-х – начале 1980-х гг. в Китае были построены и введены в эксплуатацию домашние биогазовые установки, которые стали идеальным воплощением возобновляемой энергетики.

Практика мелкомасштабной выработки биогаза была основана на применении доступного в бедных деревнях сырья: навозы, человеческих экскрементов, растительных остатков (стеблей, соломы, скошенной травы, листьев), мусора и

сточных вод. Всё это изолировалось в кирпичных или бетонных контейнерах (автоклавах) для дальнейшего разложения. При анаэробном разложении (в этом процессе участвуют метаногенные бактерии) вырабатывается 55–70 % метана (CH₄) и 30–45 % углекислого газа (CO₂), при этом выделяемая энергия составляет 22–26 МДж/м³.

Сельские жители Китая использовали полученный биогаз для приготовления пищи и освещения. Потребности семьи из пяти человек могла удовлетворить подобная биогазовая установка с автоклавом объемом 10 м³. К 1980 году в Китае насчитывалось около 20 млн биогазовых «реакторов».

Однако в результате реформ Дэн Сяопина распространение биогазовых установок перестало быть элементом политики Мао Цзэдуна. Уровень жизни в сельских районах Китая стал повышаться, и их жители стали оценивать экономические преимущества мелкомасштабной (даже микромасштабной) возобновляемой энергетики, то общее число биогазовых установок в 1984 году упало до менее чем 4 млн. Кроме того, большая часть сохранившихся биогазовых установок была не в состоянии производить достаточно топлива даже для того, чтобы варить рис три раза каждый день на протяжении четырех сезонов года. Причины этого следующие. Хотя процесс выработки биогаза на первый взгляд довольно прост, на практике тяжело управлять его протеканием. Малейшая утечка может уничтожить анаэробные условия, необходимые для метаногенных бактерий. Кроме того, низкие температуры (ниже +20°C), некачественное сырье, неправильный процесс перемешивания, а также нехватка соответствующих субстратов могут замедлить (или вообще остановить) процесс брожения, привести к образованию нежелательных соединений углерода с азотом и высокому значению рН (высокая щёлочность среды), а также нежелательному пенообразованию. Следовательно, если не управлять надлежащим образом протеканием сложных процессов анаэробного разложения, то производство биогаза может свестись к дорогостоящим технологиям по утилизации отходов, а в итоге придется вообще отказаться от биогазовых установок.

Ниже приведена схема биогазовой установки для промышленной переработки отходов животноводства.



Рис. 12. *Схема промышленной биогазовой установки*

Современная очистная установка может быть вместимостью от 500 до 4500 м³. Крупные емкости строятся из бетона и стали. Стальные емкости покрывают изоляционным материалом, а поверхность, находящуюся в контакте с содержимым реактора, — эпоксидной смолой или аналогичным материалом.

Содержимое перемешивают с помощью крыльчатки или винтового насоса, расположенных в емкости, а также путем прокачки жидкости через внешний обводной трубопровод или путем повторной циркуляции отходящих газов. Перемешивание и нагрев часто чередуются или осуществляются одновременно. Перемешивание служит в основном для предотвращения образования поверхностных корок, особенно при переработке сельскохозяйственных отходов.

Нагревание необходимо потому, что при умеренной температуре окружающей среды реакция протекает слишком медленно. Нагрев до 30–45°C одновременно обеспечивает высокую скорость реакции и в тоже время позволяет избежать чрезмерных расходов.

Для обеспечения непрерывной подачи материала устанавливается специальная емкость, а для отвода используется уровень. Небольшие очистные сооружения часто имеют систему загрузки партиями (при наличии первичных и вторичных сточных осадков). Время нахождения жидкости в реакторе обычно составляет от 10 до 30 дней. В случае трудно

сбраживаемых материалов и при температурах, ниже оптимальных, эти сроки могут увеличиваться до нескольких месяцев.

Наиболее легко превращаемым материалом является навоз нежвачных животных, а также легкогидролизуемый крахмал, белки и моносахариды. Растительные остатки, отходы целлюлозы и навоз жвачных трудно разлагаются и требуют длительного нахождения в реакторе.

Загрузка реактора зависит от типа материала. Обычно поступающий материал содержит 3% твердых частиц при максимальном их содержании 5%.

Разлагаемая часть отходов (летучие твердые частицы) может составлять до 90% общего количества твердых частиц, но обычно их доля составляет около 70%.

Хранение биогаза обычно считается крайне дорогостоящим. Стоимость газометров может в 4 раза превышать капитальные затраты, на строительство самого реактора.

Газ используется, прежде всего, для нагревания реактора до рабочей температуры. При наличии излишков, биогаз может быть использован в силовых установках или в качестве топлива для двигателей.

Для нагрева автоклавов могут также быть использованы вода, охлаждающая генераторы, или выделившееся тепло. Состав биогаза делает его малопригодным для подобного использования, так как он высокоагрессивен и приводит к разрушению большинства обычных насосов и трубопроводов. Сероводород способствует коррозии двигателя и должен быть удален; диоксид углерода и влага, содержащаяся в газе, снижает ценность топлива для двигателей внутреннего сгорания, которые не будут работать на смесях, содержащих более 45% CO_2 .

Состав газа, выделяющегося при анаэробном разложении. Метан – 20–80%. Двоукись углерода – 15–16%. Вода – 2–3%. Азот – 0,5–1%. Сероводород – до 1%.

Однако теплотворная способность биогаза обычно достаточна для использования его в модифицированных бойлерах, дизельных и карбюраторных двигателях, устанавливаемых, в частности на крупных очистных

сооружениях. Для транспортных средств необходимы компрессоры для снижения объема газа до приемлемого уровня.

Опасности, связанные с использованием биогаза

Следует упомянуть о двух важных обстоятельствах, связанных с подготовкой и использованием биогаза при самостоятельном его изготовлении. Во-первых, смесь метана с воздухом взрывоопасна, и, во-вторых, что более серьезно, сероводород присутствующий в биогазе, крайне токсичен. В промышленных условиях применяются соответствующие меры безопасности, однако недостаточное осторожное обращение с этим газом может оказаться роковым.

Удаление сброженного осадка

Заключительной проблемой, связанной как с использованием энергии, так и с охраной окружающей среды, является удаление осадка из автоклава, объем которого может достигать 50–60% исходного количества твердых частиц. Что касается коммунальных отходов, то этот объем составляет 10–15%.

Возможно, возникнет необходимость транспортировки сброженных осадков в места отсыпки грунта и к морю. Для сокращения транспортных расходов используется отстаивание, коагуляция и другие методы обезвоживания.

Содержание меди, цинка и других токсичных металлов в сброженном осадке затрудняет его использование в качестве удобрения. Имеется предложения по переработке осадка в корм для животных; технически это осуществимо.

Агрохимический метод переработки биомассы

Многие растения содержат масла, а значит жидкие энергетические продукты, которые можно использовать как жидкое топливо для транспортных средств. Наиболее известные растения, от которых получают жидкие углеводороды (масла) это: семена подсолнечника, копра кокосовых орехов (пальмовое

масло), оливки, семена рапса, соевые бобы, листья эвкалипта, сок каучукового дерева.

Возможна организация сельскохозяйственных ферм по производству агрохимических топлив для легковых автомобилей, грузовиков, внедорожников, железнодорожного и водного транспорта. Но получаемые таким образом продукты по своим потребительским качествам могут быть гораздо ценнее, чем топливо.

Поскольку к 2050 году ожидается население от 8,5 до 9 млрд человек, то любые инициативы получения жидкого топлива из продуктов обрекаются на провал. Биотопливо не должно заменить горючее, производимое из нефти, в течение ближайших нескольких десятилетий. Некоторый интерес в настоящее время может представлять биодизельное топливо, особенно для Европы, где почти половина всех легковых автомобилей имеет дизельные двигатели.

Биотопливо на основе растительных масел для дизельных двигателей называют *биодизелем*. Нередко биодизель, или биодизельное топливо (БДТ), считают новым видом топлива, что не соответствует действительности. Этот вид моторного топлива был разработан англичанами Даффи и Патриком еще в 1853 г. Только спустя сорок с лишним лет Рудольф Дизель изобрел свой двигатель, который работал на арахисовом масле. Солярка в то время стоила дешевле, поэтому и стала на много лет основным видом топлива для дизельных двигателей. К идее использования БДТ вернулись вновь только в начале 90-х годов прошлого века.

Из растительных масел можно получать собственно топливо или биологические добавки к нему, при этом последние могут вырабатываться из масел более чем 50 масличных культур. К ним относятся, например, подсолнечник, рапсовое, соевое, хлопковое, льняное, пальмовое, арахисовое и другие растительные масла. По теплоте сгорания эти масла близки к дизельному топливу (табл. 2.12).

Анализ данных табл. 2.12 доказывает, что физико-химические характеристики растительных масел существенно отличаются от дизельного топлива: повышенные плотность, вязкость, температура вспышки. По элементному составу растительные масла близки друг другу, а от нефтяного топлива

отличаются присутствием кислорода (9,6 – 11,5 %). Недостатками растительных масел как топлива по сравнению с нефтепродуктами являются их меньшая теплота сгорания (на 7 – 10 %), более высокая вязкость (в 6 раз и более), повышенная склонность к нагарообразованию, низкая испаряемость и др. Поэтому большинство современных дизельных двигателей может работать на чистых растительных маслах непродолжительное время.

Таблица 2.12

Сравнительные свойства некоторых растительных масел

Показатели	Масло						
	Рапсовое	Подсолнечное	Хлопковое	Соевое	Пальмовое	Арахисовое	Льняное
Плотность при 20°С, кг/м ³	915	924	916	923	913	917	932
Вязкость при 20°С, мм ² /с	77	63	84	25	–	81,5	29
Температура, °С: вспышки кристаллизации	305 -18	320 -16	318 -4	220 -11	295 -8	–	
Теплота сгорания (низшая/высшая) кДж/кг	37200	36981/ 39686	34000	39000	38000	37023/ 39638	37000
Цетановое число	36	33,4	41	27	–		36,6
Масло: содержание, % выход, л/кг извлечение, %	43 0,37 72,1	42 0,25 65,6		22 0,07 32,3		37 0,3 73,5	
Затраты энергии, Вт/кг	47	118,3		178,4		174	

Одним из способов устранения указанных недостатков растительных масел является их химическая переработка, позволяющая получать продукты со свойствами, полностью отличными от исходного сырья – *переэтерификация*. Укажем, что *этерификация* – это получение сложных эфиров из кислот и спиртов:



По молекулярному составу БДТ близко к дизельному топливу. Исходя из стоимости, доступности и физико-химических характеристик, наиболее подходящим для производства БДТ является рапсовое масло; оно может быть использовано в качестве основы или компонента топлива.

Простой и доступный способ использования рапсового масла в виде добавок – разбавление его дизельным топливом, в результате получается так называемая биодизельная смесь. Такие композиции называют еще «биодит» (смесевое топливо). Установлено, что с увеличением содержания рапсового масла в биодизельной смеси продолжительность ее сгорания увеличивается, а при содержании масла более 60 % процесс сгорания не успевает закончиться к моменту открытия выпускного клапана двигателя. Для уменьшения общей продолжительности сгорания в биодизельную смесь вводят активаторы сгорания, например, органическое соединение железа – ферроцен.

Смесевое топливо по сравнению с метиловым эфиром рапсового масла имеет преимущества: несложная технология получения, высокая стабильность в хранении и растворении на молекулярном уровне. Сравнительные физико-химические характеристики рапсового масла, смесевого и дизельного топлив приведены в табл. 2.13 (Биоэнергетика, 2008 г.).

Таблица 2.13

Сравнительная физико-химическая характеристика топлив.

Показатели	Рапсовое масло	Смесь рапсового и дизельного топлива (75:25)	Дизельное топливо (ГОСТ 305- 82 Л/З)
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	37,2	38,3	41,8
Плотность при 20°С, кг/м ³	915	890	860/840
Вязкость при 20°С, мм ² /с	78	38,2	3,6/1,8-5
Температура, °С:			
помутнения	-9	-9	-5/-25
застывания	-18	-16	-10/-35
воспламенения	593	583	543

Цетановое число	41	42	45
Йодное число на 100г, г	9,7-10,3	9	6
Кислотность, мг КОН/100см ³	6,1	6	5
Содержание по массе, %:			
углерода	78,3	80,3	86,4
водорода	12,8	12,95	12,1
кислорода	8,895	6,52	0
Коксуемость 10% остатка, %	0,43	0,4	0,3
Массовая доля серы, %	0,05	0,16	0,5
Содержание фактических смол на 100см ³ , мг	–	–	40/30

По сравнению с дизельным топливом плотность чистого рапсового масла выше на 9 %, вязкость – в 25 раз, содержание серы меньше в 10 раз, температура застывания выше на 17 °С по сравнению с зимним топливом и на 10 °С ниже, чем летнего дизельного. Смесевое топливо по физико-химическим показателям занимает промежуточное положение. Для приготовления смесевое БДТ (75 % рапсового масла и 25 % дизельного топлива) требуется 250 кг дизельного топлива энергоемкостью 10,5 ГДж. В итоге получается 1 т смесевое топлива энергоемкостью 39,8 ГДж. Указанная смесь признана оптимальной в условиях России.

В Финляндии в качестве топлива используется смесь, состоящая из 1/3 рапсового масла и 2/3 дизельного топлива. Физические свойства дизельного топлива и указанной смеси приведены в табл. 2.14.

Таблица 2.14

Физические свойства некоторых топлив

Показатели	Дизельное топливо		Смесь дизельного топлива и рапсового масла, %	
	летнее	зимнее	33	50
Теплотворная способность, МДж/кг	42,7	42,8	41,1	–
Плотность, кг/м ³	850	830	857-865	877-879
Температура, °С:				
воспламенения	70	70	–	–
помутнения	-6	-23	-17	-7

Технологическая линия по производству биодизельного

топлива схематично представлена на рисунке 13.

Растительное масло из емкости перекачивается насосом Н1 в реактор-трансэтерификатор, куда добавляется порция спирта и гидроокиси калия (KOH) или натрия (NaOH) из дозатора. После заполнения реактора включается насос установки ТЕК-БД и компоненты реакции многократно циркулируют через зону гидромеханического воздействия по схеме:

«емкость -> ТЕК-БД -> насос -> турбулентная насадка -> емкость». При этом температура в реакторе ТЕК-БД поднимается на 10—12 °С. По окончании циркуляции продукты реакции перекачиваются насосом Н3 в одну из емкостей для разделения на биодизель и глицерин (процесс разделения длится 15—20 минут).

После разделения биодизель и глицерин перекачиваются насосами Н4 и Н5, соответственно, в свои емкости. После заполнения этих емкостей готовый продукт поступает на хранение или использование.

Перед началом работы линии предварительно готовится 4-5 порций смеси KOH (или NaOH) и спирта в реакторе, куда подается спирт и KOH из своих емкостей. Процесс приготовления смеси занимает 10 минут. С помощью насоса Н2 готовая смесь перекачивается в дозатор.

При производстве биодизельного топлива в качестве добавки к растительному маслу используется метанол, который может производиться из углекислоты или любого органического вещества: древесины, сельскохозяйственных отходов, угля, природного газа и т.п.

Следует иметь в виду, что метанол (метилловый спирт) является ядовитым веществом. Метилловый спирт не относится к особо ядовитым веществам. Его опасность специально раздута из-за склонности российского, белорусского и украинского народа употреблять все, что пахнет спиртом и горит синим пламенем.

Без своевременной оказанной медицинской помощи смертельная доза 100 %-го метанола при приеме внутрь составляет

100–150 мл. При употреблении меньших доз метанола возможна слепота из-за поражения зрительного нерва. Для сравнения, токсическая доза бензина при приеме внутрь равна

30–60 мЛ.

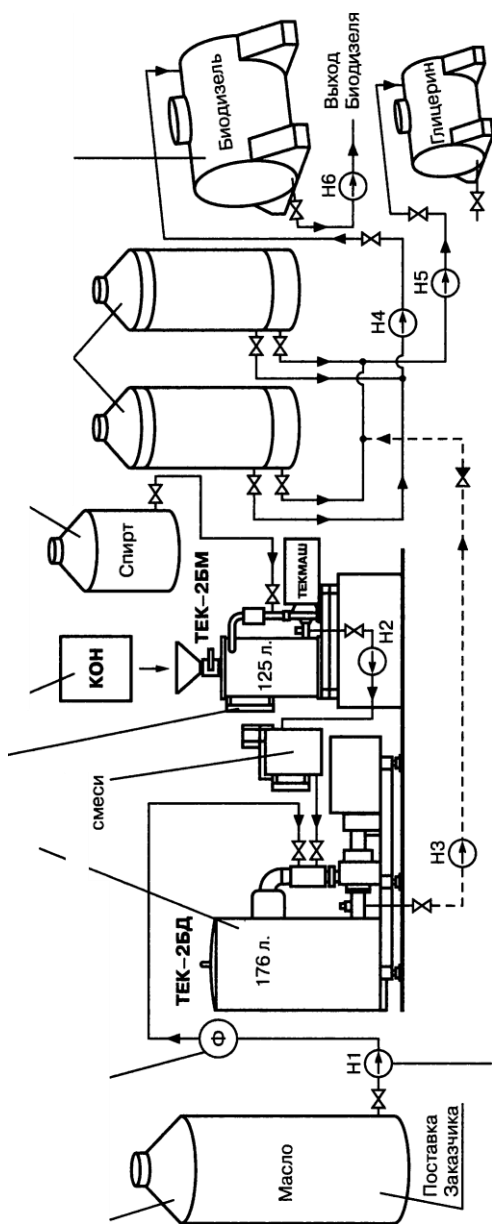


Рис. 13. Линия по производству биодизельного топлива

Закрепим изученное!

1. Биомасса – это органические вещества, которые благодаря процессу фотосинтеза сохранили в себе солнечную энергию (закон сохранения энергии). Иными словами, это любой материал органического происхождения как растения, так поедающие их животные, а также экскременты животных (и человека) или остатки растения (ботва, солома), продукты и отходы производственной деятельности человека (бумага, целлюлоза, отходы пойки скота, растительные масла, этанол, органические отходы и др.).

2. Выделяют 3 основных метода переработки биомассы в энергоресурсы:

- термохимический метод;
- биохимический метод;
- агрохимический метод.

3. Простейшим термохимическим методом является сжигание биомассы на воздухе. Наиболее широко используется сжигание соломы в сельском хозяйстве и древесных отходов деревообрабатывающей промышленности.

Для повышения качества биомассы её превращают в стабильное топливо, способное заменить ископаемые виды топлива путём сухой перегонки, газификации и сжижения. В результате получается, соответственно, древесный уголь, синтез-газ (состоит в основном из оксида углерода CO и водорода H₂) и жидкость, похожая на тяжелую топливную нефть.

4. При биохимическом методе переработки биомассы в топливо выделяют 2 процесса:

- ферментация;
- анаэробное разложение.

В результате ферментации (химический процесс между дрожжами или другими организмами, включая некоторые виды грибов, бактерий и зеленых растений, и сахаром) получается спирт.

При анаэробном (без доступа кислорода) разложении биомассы в результате деятельности микроорганизмов получаются: диоксид углерода CO₂, метан CH₄ и различные микробные клетки. *[Смотри формулу (30)]*

На первый взгляд процесс выработки биогаза довольно прост, но на практике его протеканием в биоустановке управлять не просто. Низкая температура (ниже +20°C), некачественное сырье, неправильный процесс перемешивания, нехватка метаногенных бактерий могут замедлить или вообще остановить процесс брожения, а следовательно, производство биомассы.

5. Для производства агрохимических топлив возможна организация сельскохозяйственных ферм по выращиванию растений: посолнечника, кокосовых пальм, рапса, сои, оливковых, эвкалиптовых и каучуковых деревьев.

4.2 ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Кто решится утверждать,
что мы знаем все, что может быть
познано?

*Г. Галилей, итальянский учёный,
физик, астроном*

Примерно 23 % солнечной радиации уходят на испарение воды, выпадающей затем в виде дождя и снега. Образно говоря, Солнце действует как гигантский насос, выкачивающий воду из моря и сбрасывающий ее на сушу, с которой она снова стекает в море. Таким образом, движение воды, вызываемое солнечной энергией, представляет собой возобновляемый ресурс.

Дешевым источником энергии является движущаяся вода. Когда вода течет или падает с определенной высоты ее потенциальная энергия уменьшается; при этом совершается работа. Такой источник энергии выгоден тем, что он действует постоянно, не требуя топлива.

Вода была первым источником энергии, вероятно, первой машиной, в которой человек использовал энергию воды, была примитивная водяная турбина. Свыше 2000 лет назад горцы на Ближайшем Востоке уже пользовались водяным колесом в виде вала с лопатками (рис. 14). Суть устройства сводилась к следующему. Поток воды, отведенный из ручья или речки, давит на лопатки, передавая им свою кинетическую энергию. Лопатки приходят в движение, а поскольку они жестко с

скреплены с валом, вал вращается. С ним в свою очередь скреплен мельничный жернов, который вместе с валом вращается по отношению к неподвижному нижнему жернову.

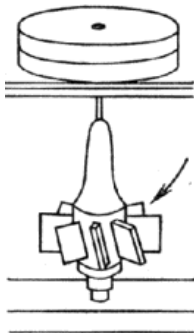


Рис. 14. Схема простого водяного колеса с вертикальным валом (стрелка указывает направление потока воды)

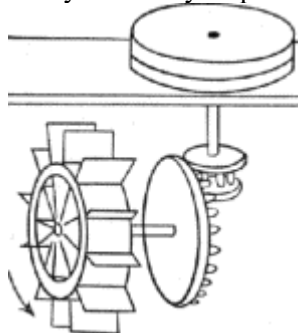


Рис. 15. Колесо Витрувия (стрелка указывает направление потока воды)

Именно так работали первые «механизированные» мельницы для зерна. Но их сооружали только в горных районах, где есть речки и ручьи с большим перепадом и сильным напором. На медленно текущих потоках водяные колеса с горизонтально размещенными лопатками малоэффективны.

Шагом вперед было водяное колесо Витрувия (1 в. н.э.), схема которого представлена на рисунке 15. Это вертикальное колесо с большими лопатками и горизонтальным валом. Вал колеса связан деревянными зубчатыми колесами с вертикальным валом, на котором сидит мельничный жернов. Подобные мельницы и сегодня можно встретить на Малом Дунае; они перемалывают в час до 200 кг зерна.

Почти полторы тысячи лет после распада Римской империи водяные колеса служили основным источником энергии для всевозможных производственных процессов в Европе, заменяя физический труд человека.

До середины XIX века для этого применялись водяные колеса, преобразующие энергию движущейся воды в механическую энергию вращающегося вала. Позднее появились более быстроходные и эффективные гидротурбины.

До конца XIX века энергия вращающегося вала использовалась непосредственно, например:

- для размола зерна на водяных мельницах;
- для приведения в действие кузнечных мехов и молота.

Но когда наступил золотой век электричества, произошло возрождение водяного колеса, правда, уже в другом обличье (в виде водяной турбины). Электрические генераторы, производящие энергию, необходимо было вращать, а это вполне успешно могла делать вода, тем более что многовековой опыт у нее уже имелся.

Преимущества гидроэлектростанций очевидны:

- постоянно возобновляемый самой природой запас энергии;
- простота эксплуатации;
- отсутствие загрязнения окружающей среды.

Принцип работы ГЭС достаточно прост. Цепь гидротехнических сооружений обеспечивает необходимый напор воды, поступающей на лопасти гидротурбины, которая приводит в действие генераторы, вырабатывающие электроэнергию.

Необходимый напор воды образуется посредством строительства плотины, и как следствие концентрации реки в определенном месте, или деривацией – естественным током воды. В некоторых случаях для получения необходимого напора воды используют совместно и плотину, и деривацию (рис. 16).

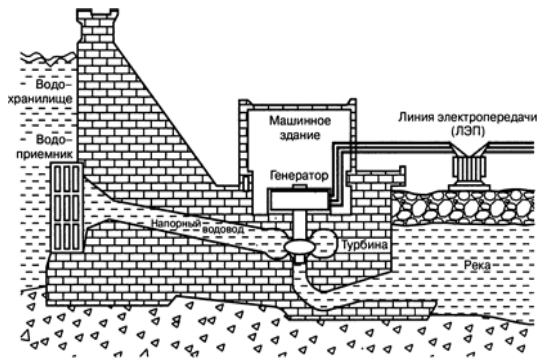


Рис. 16. Схема плотины ГЭС

С точки зрения превращения энергии, гидроэнергетика – технология с очень высоким КПД, зачастую превышающем более чем в два раза КПД обычных теплоэлектростанций.

Причина в том, что объем воды, падающий вертикально, несет в себе большой заряд кинетической энергии, которую можно легко преобразовать в механическую (вращательную) энергию, необходимую для производства электричества.

Оборудование для гидроэнергетики достаточно хорошо разработано, относительно простое и очень надежное. Поскольку никакая теплота в процессе не присутствует (в отличие от процесса горения), оборудование имеет продолжительный срок службы, редко случаются сбои. Срок службы ГЭС – более 50 лет. Многие станции, построенные в двадцатые годы XX века – первый этап расцвета гидроэнергетики – все еще в действии.

Так как всеми существенными рабочими процессами можно управлять и контролировать их дистанционно через центральный узел управления, непосредственно на месте требуется небольшой технический персонал. В настоящее время накоплен уже значительный опыт по работе гидроэлектростанции мощностью от 1 кВт до сотен мегаватт.

Затраты на строительство ГЭС велики, но они компенсируются тем, что не приходится платить (во всяком случае, в явной форме) за источник энергии – воду. Строительство ГЭС на равнинных реках ведет к затоплению пойменной (наиболее плодородной) территории. Следовательно, наносится ущерб сельхозугодиям, а также рыбохозяйственному комплексу.

Малые гидроэлектростанции обычно обладают всеми преимуществами больших ГЭС, но при этом предоставляют возможность подавать энергию децентрализованно. Кстати малые ГЭС выгодно отличаются и отсутствием некоторых недостатков, присущих большим станциям. Это, например, уменьшение или полное отсутствие негативного влияния на окружающую среду.

Малая энергетика позволяет каждому региону использовать собственные ресурсы. На сегодняшний день в мире

эксплуатируется несколько тысяч малых гидроэлектростанций. Малые станции производят электроэнергию в тех случаях, когда уровень воды в реке достаточен для этого. Если малая гидроэлектростанция дополнена аккумуляторной системой, то существует возможность накопления полученной энергии, что помогает избежать перебоев в подаче электричества. Особый интерес малая гидроэнергетика представляет для развивающихся стран, поскольку не требует сложного и дорогостоящего оборудования.

Анализ строительства малых ГЭС в Беларуси был проведен для притоков первого и второго порядков бассейнов рек Западная Двина, Неман, Вилия, Припять и Западный Буг. В перспективе на притоках перечисленных рек может быть построено около 50 тыс. кВт и среднегодовой выработкой электроэнергии 160 млн кВт·ч. Представляется также целесообразным строительство каскада ГЭС на достаточно многоводных реках, таких как Западная Двина, Неман, Днепр. Так, практически без затопления прилегающих к руслу земель может быть сооружен каскад гидроэлектростанций на участке Верхнего Днепра, обеспечивающий ежегодную выработку до 20 млн кВт·ч.

На прудах и малых водохранилищах, напор на которых обычно 2–5 м, а расходы воды в пределах 0,5–1,0 м³/с, возможно применение гидроагрегатов малой мощности (микроГЭС). Такие микроГЭС мощностью 10–50 кВт могут сооружаться на существующих гидротехнических сооружениях водоемов мелиоративных и водохозяйственных систем. По ориентировочной оценке общая мощность микроГЭС на водохозяйственных системах республики может составить до 1 МВт.

Мировой уровень стоимости 1 кВт установленной мощности на микроГЭС составляет 2000–2500 долларов США. Стоимость оборудования, изготовленного в странах СНГ – ниже и составляет 250–800 долларов США на 1 кВт.

Наиболее значительный объем электроэнергии может быть получен при строительстве каскада ГЭС на реках Западная Двина и Неман. Эти гидроэлектростанции при относительно небольшом затоплении пойменной территории позволяют получить до 800 млн кВт в год электроэнергии при

установленной мощности около 240 МВт.

Закрепим изученное!

1. Движущая вода является дешёвым и сравнительно постоянным источником энергии и не загрязняет окружающую среду.

Затраты на строительство гидроэлектростанций (ГЭС) велики, но эксплуатация ГЭС дешёвая. Строительство плотины ведет к некоторому затоплению пойменной (наиболее плодородной) территории, наносится определенный ущерб рыбохозяйственному комплексу.

2. Гидроэлектростанции мощностью до 5 МВт считаются малыми. Строительство малых ГЭС (около 50) на притоках рек Западная Двина, Неман, Виляя, Припять и Западный Буг в Беларуси энергетически и экологически целесообразно (суммарная мощность 50 тыс. кВт·ч) и практически без затопления прилегающих к руслу плодородных земель.

4.3 ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

Ветер, ветер – ты могуч,
Ты гоняешь стаи туч,
Гордо реешь на
просторе,
Ты волнуешь сине
море.

А.С. Пушкин, русский поэт

Давление воздуха распределяется в атмосфере неодинаково, и Солнце с разной силой обогревает различные участки земной поверхности. В результате перепада давлений воздуха возникают ветры.

Оценка энергии ветра в глобальном масштабе внушительна – порядка $1 \cdot 10^5$ Вт, однако большая часть энергии сосредоточена в ветрах, дующих на заоблачных высотах, и следовательно, недоступна для использования на поверхности суши. Устойчивые приповерхностные ветры обладают мощностью порядка $1 \cdot 10^{12}$ Вт, некоторая её часть может быть использована ветряками.

Чтобы охарактеризовать ветер, нужно указать его направление и скорость (силу), которая по шкале Бофорта

измеряется в баллах (табл. 11).

Люди давно задумывались над тем, как использовать силу ветра для своих нужд. Еще в древние времена, человек заставил ветер двигать лодки и корабли. Переправлять по морю людей и грузы.

Таб. 11. Градация силы ветра по шкале Бофорта

Баллы	Характер ветра	Признаки	Скорость, м/с
0	Безветрие	Дым поднимается вертикально	0–0,2
1	Почти безветрие	Дым поднимается почти вертикально	0,3–1,5
2	Легкий ветерок	Ветер едва ощутим	1,6–3,3
3	Слабый ветер	Колышутся листья и флаги	3,4–5,4
4	Умеренный ветер	Качаются веточки, полощутся флаги	5,5–7,9
5	Свежий ветер	Качаются более крупные ветки, ветер вызывает неприятное ощущение	8,0–10,7
6	Сильный ветер	Слышен шум ветра	10,8–13,8
7	Крепкий ветер	Качаются небольшие деревья, волнение на воде	13,9–17,1
8	Шквальный ветер	Качаются толстые деревья, трудно идти	17,2–20,7
9	Шквал	Переворачивает легкие предметы, срывает черепицу с крыш	20,8–24,4
10	Буря (шторм)	Выворачивает деревья	24,5–28,4
11	Сильная буря (жесткий шторм)	Разрушает постройки	28,5–32,6
12	Ураган	Опустошает обширные местности	Свыше 32,6

На суше энергию ветра не использовали так широко, как на море, хотя достоверно известно о существовании ветряных колес

за тысячи лет до нашей эры. Например, в районе Александрии сохранились остатки ветряных мельниц, которым не меньше

трех тысяч лет.

В Европу первые сведения о ветряных мельницах принесли крестоносцы. Во Франции ветряные колеса впервые появились в 1105 году, в Англии – в 1143 году. В Голландии ветряки достигли наибольшего технического совершенства, где их использовали не только для помола зерна, но и для того, чтобы пилить древесину, ткать полотно, давить масло, молоть табак и пряности.



Около 40 лет тому назад пришлось вспомнить о ветряных двигателях. Заставил это сделать разразившийся в начале 70-х годов кризис, в результате которого взлетели вверх цены на углеводородное топливо, прежде всего нефть. Наибольший интерес к ветровой энергии как возобновляемому источнику энергии проявили Германия, США и Дания. Немцы, в частности, удачно использовали особенности климата на севере страны, где ветра, довольно сильные, дуют постоянно.

Действительно, установка с размахом лопастей около 100 м, размещенных на башне высотой порядка 60 м, при оптимальной скорости ветра дает мощность 2,5 тыс. кВт.

Как сектор энергетики, ветроэнергетика присутствует сейчас более чем в 50 странах мира. Странами с наибольшей установленной мощностью по состоянию на 2005 г. являлись:

Германия (18,4 ГВт), Испания (10 ГВт), США (9,15 ГВт), Индия (4,4 ГВт), Дания (3,1 ГВт). Укажем при этом, что мощностью, например 4 ГВт, обладает крупная АЭС.

Целесообразность использования энергии ветра определяется его скоростью. В Беларуси среднегодовая скорость ветра по данным Гидромета не превышает 4,1 м/с. Среднемесячные максимальные значения скорости ветра изменяются от 4,6 до 4,9 м/с, причем максимальные среднемесячные значения достигаются зимой, а минимальные – летом.

Оценка энергетического потенциала ветра производится с помощью значений удельной мощности ветрового потока. Беларусь в осенне-весенний период включает две зоны: с удельной мощностью ветрового потока 75–125 Вт/м² и 125–250 Вт/м², а в летний период основная зона обладает потенциалом менее 75 Вт/м².

Подход к оценке перспективности использования энергии ветра базируется на выводе, что коммерческое применение ветроэнергетики становится выгодным при среднегодовых скоростях ветра не менее 5 м/с, согласно другому источнику – 5,3 м/с, третьему – 6,2 м/с.

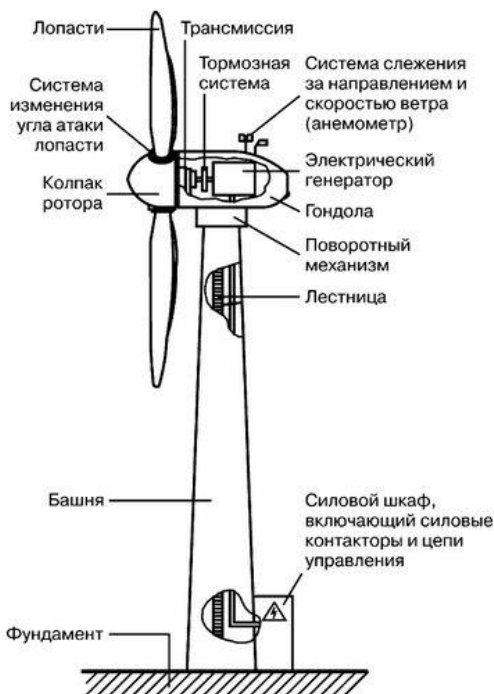
Следовательно, закономерен вывод: Беларусь не входит в разряд зон с высоким потенциалом скоростей ветра и не обладает достаточным энергетическим потенциалом для создания мощных ветроэлектростанций. Вероятно, использование ветроэлектрических установок (ВЭУ) в республике может быть эффективным для автономных потребителей в сельской местности с достаточным ветроэнергетическим потенциалом. Основными направлениями использования ВЭУ в ближайшей перспективе может быть их применение в качестве привода насосных установок и в целях подогрева воды в сельскохозяйственном производстве. Эти области применения характеризуются минимальными требованиями в качестве электрической энергии (стабильности частоты и напряжения), что позволяет резко упростить и удешевить ВЭУ. Особенно перспективным представляется использование ВЭУ в сочетании с малыми ГЭС для прокачки воды.

Однако существуют и другие точки зрения с

оптимистическими оценками энергопотенциала ветра в Беларуси, связанные с использованием зарубежных ВЭУ единичной мощности 100–150 кВт, а также перспективой разработки ветроустановок, способных стабильно работать при скоростях ветра в диапазоне 3–4 м/с. По этим оценкам выработка электроэнергии может составить нескольких миллиардов кВт·ч в год.

Строить ВЭС за рубежом на данный момент времени заставляет не текущая рыночная конъюнктура, а экологические соображения и взгляд в будущее – дефицит традиционных энергоносителей, прежде всего углеводородных, в ближайшие десятилетия неизбежен.

Ветрогенератор (ветроэлектрическая установка или ветроэлектростанция) – устройство для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую. Устройство ветроэлектрической установки в упрощенном виде



представлено на рис. 17.

Рис. 17. Устройство ветроэлектрической установки

Ветрогенераторы можно разделить на две категории: промышленные и домашние (для частного использования). Промышленные ветроэлектростанции устанавливаются государством или крупными энергетическими корпорациями. Как правило, их объединяют в сети, в результате получается ветряная электростанция. Ее основное отличие от традиционных (тепловых, атомных) – полное отсутствие как сырья, так и отходов. Единственное важное требование для ВЭС – высокий среднегодовой уровень ветра. Мощность современных ветрогенераторов достигает 6 МВт.

Уже сейчас за вполне умеренные деньги можно приобрести ветряную установку и на долгие годы обеспечить энергонезависимость своему загородному дому.

Если местность не ветреная, ветрогенератор можно дополнить фотоэлектрическими элементами или дизель-генератором.

Беларусь бедна ветровыми ресурсами. Средняя скорость ветра в 4–5 м в секунду характерна для большинства промышленных районов. Малая скорость ветра означает малую мощность ветрового потока. И, кроме того, в Беларуси значительное количество безветренных дней. ВЭУ в Беларуси в основном будут работать треть или половину времени

Ветрообильные районы – это прибрежные территории, расположенные вдоль морей и крупных озер.

При среднегодовой скорости в 3,5 м/с, характерной для континентальной части России, можно принять, что среднеэнергетическая скорость составит около 5 м/с. А ветряк будет работать треть всего времени.

Важнейшей характеристикой ветряка является т. н. КИЭВ – коэффициент использования энергии ветра. У самых лучших образцов ветряков он составляет до 60–80%! (в среднем 40–45%). У любительских (самопалов) – порядка 35%. Т. о. при скорости ветра 5 м/с получим действительную мощность $0,35 \times 90 = 31,5$ Вт.

Начальная скорость вращения лопастей ветрогенераторов равна 2 м/с, а скорость, при которой генератор работает с максимальной эффективностью, – 9–12 м/с. Еще одно замечание. Мощность ветрогенератора зависит только от

скорости ветра и диаметра винта.

В специальной литературе имеется множество формул расчета мощности ветроустановок. Приведем самую простую.

$$P = D^2 V^3 / 7000, \text{ кВт}, \quad (31)$$

где P – мощность;

D – диаметр винта в метрах (20 м и более);

V – скорость ветра в м/с.

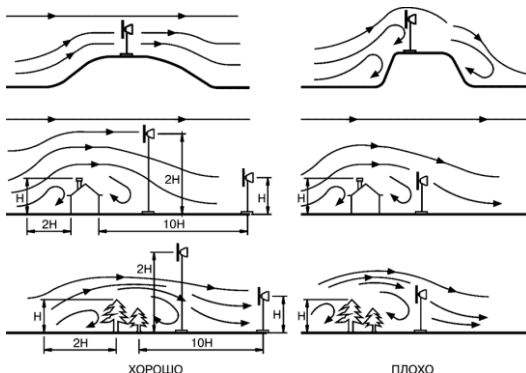
Прежде всего, нужно помнить, что скорость ветра зависит от следующих факторов.

Высота над уровнем земли. Близко к земле ветер замедляется за счет трения о земную поверхность. Для сельскохозяйственных полей и пустынных территорий при увеличении высоты над поверхностью земли в два раза наблюдается увеличение скорости ветра приблизительно на 12%.

Время года. В большинстве регионов наблюдаются значительные сезонные изменения ветровых потоков. Причем в зимние месяцы скорость ветра обычно выше, чем летом. Дневные изменения скорости ветра наблюдаются, как правило, вблизи морей и больших озер.

Утром солнце нагревает землю быстрее, чем воду, поэтому ветер дует в направлении побережья. Вечером же земля остывает быстрее, чем вода, поэтому ветер дует от побережья.

Характер земной поверхности. Холмы или горные хребты, находящиеся на открытом ландшафте, обычно считаются превосходным местом для ветряка. На холмах скорость ветра выше по сравнению с окружающей равнинной территорией. Необходимо помнить, что ветер может менять свое направление прежде, чем достигнет холма, так как область высокого давления фактически расширяется на некотором расстоянии перед холмом. Также необходимо помнить, что



турбулентность, значение которой резко увеличивается в случае крутого холма или его неровной поверхности, может свести на нет преимущества более высокой скорости ветра (рис. 18).

Рис. 18. Хорошие и плохие варианты размещения ветроэлектростанции

Секундная энергия или мощность потока пропорциональна кубу скорости, т. е. если скорость ветра увеличилась, например, в два раза, то энергия воздушного потока возрастает в $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ раз.

Мощность, развиваемая ветродвигателем, изменяется также пропорционально квадрату диаметра ветроколеса, т. е. при увеличении диаметра в 2 раза, мощность при той же скорости ветра увеличивается в 4 раза.

Однако в механическую работу можно превратить только часть энергии потока, протекающего через ветроколесо. Другая часть энергии теряется на трение воздушных частиц и различные потери, так как ветроколесо оказывает сопротивление движению воздушных частиц. Кроме того, значительная часть энергии содержится в воздушном потоке, уже прошедшем через ветроколесо. Это объясняется тем, что поток за ветроколесом также имеет некоторую скорость.

Крыльчатые ветродвигатели получили преимущественное распространение, и только они выпускаются промышленностью. Крыльчатые двигатели делятся на две группы:

- быстроходные (малолопастные), с числом лопастей до 4;
- тихоходные (многолопастные), имеющие от 4 до 24 лопастей, а в некоторых случаях и больше.

При этом следует помнить, чем меньше число лопастей, тем при прочих равных условиях ветроколесо имеет большее число оборотов.

Вот почему малолопастные ветродвигатели называются быстроходными. Быстроходность является одним из серьезных преимуществ этих ветродвигателей, так как делает более простой передачу мощности таким быстроходным машинам, как, например, электрический генератор.

Кроме того, быстроходные ветродвигатели, как правило, более легкие, чем тихоходные. Как указывалось выше, они

имеют более высокий коэффициент использования энергии ветра.

Однако у них имеется и недостаток, заключающийся в том, что их начальный момент трогания, т. е. вращающий момент, развиваемый на неподвижном ветроколесе, при одинаковых диаметрах ветроколес и скорости ветра в несколько раз меньше, чем у тихоходных ветроколес.

Кроме того, при одинаковой скорости ветра тихоходное ветроколесо имеет в несколько раз больший момент, чем быстроходное и, следовательно, будет начинать работать в случае одинаковой нагрузки при меньших скоростях ветра. Это очень важно для эксплуатации, так как возможное число часов работы ветродвигателя увеличивается.

Крыльчатые ветродвигатели работают за счет аэродинамических сил, возникающих на лопастях ветроколеса, при набегании на них воздушного потока. Так же, как и на крыльях самолета, на крыльях ветроколеса возникают подъемная сила и сила сопротивления поверхности. Подъемная сила и создает вращающий момент на ветроколесе.

Для того чтобы лучше использовать энергию ветра, т. е. получить большую мощность, крыльям придают обтекаемые, аэродинамические профили, а углы заклинения делают переменными вдоль лопасти (на конце – меньше, а ближе к валу – большие углы). На рис. 19 представлена схема крыльчатого ветроколеса.

Крыло ветроколеса состоит из трех основных узлов: лопасти и маха, с помощью которого оно скрепляется со ступицей.

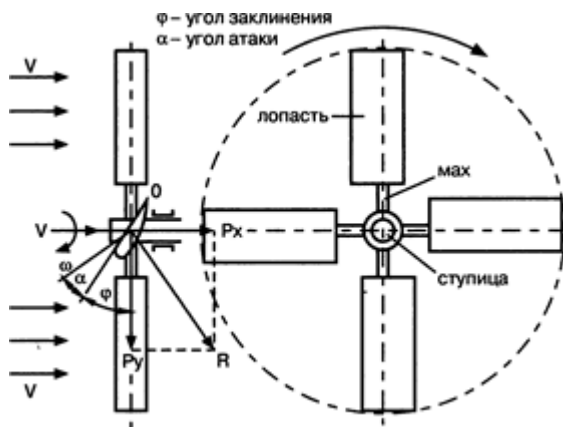


Рис. 19. Схема крыльчатого ветроколеса

Для каждого элемента лопасти эта скорость имеет свою величину и набегаёт под разными углами α . А так как наилучший режим работы крыльчатого ветродвигателя будет только при определенных углах атаки, то и приходится углы заклинивания φ делать переменными по длине лопасти.

Важно иметь в виду, что если лопасти выполнены одинакового качества и профиля, то мощность ветродвигателя практически очень мало зависит от числа лопастей.

Ведь мощность ветродвигателя, как и любого другого двигателя, определяется произведением развиваемого двигателем вращающего момента M на угловую скорость ω .

Момент, развиваемый ветродвигателем, с уменьшением числа лопастей падает, однако примерно в той же пропорции возрастает число оборотов, т. е. угловая скорость. Таким образом, произведение $M \times \omega$ остается почти постоянным, мало зависящим от числа лопастей.

Кроме ветродвигателей крыльчатого типа, известны карусельные, роторные и барабанные ветродвигатели.

Первые два типа имеют вертикальную ось вращения, а последний – горизонтальную.

В отличие от крыльчатых ветродвигателей, у которых все лопасти работают одновременно, создавая вращающий момент, у карусельных и барабанных ветродвигателей одновременно

работает лишь часть лопастей, а именно тех, движение которых совпадает с направлением ветра.

Ввиду малой эффективности (χ у этих ветродвигателей не превышает значения 0,18) и громоздкости, а также вследствие того, что они очень тихоходны, карусельные, барабанные и роторные двигатели в практике не нашли применения.

Анализ, ветрового потенциала Беларуси показал, что в настоящее время и в ближней перспективе наиболее актуальными являются следующие направления развития ветроэнергетики:

- малая автономная ветроэнергетика (с суммарной номинальной мощностью до 100 кВт на базе ВЭУ номинальной мощности

- 30 кВт, снабженных системами аккумулирования электроэнергии);

- автономная ветроэнергетика средней мощности (с суммарной мощностью 0,1 – 1 МВт на базе ВЭУ номинальной мощности

100 – 800 кВт, работающих параллельно с дизельными электростанциями, малыми ГЭС или в составе ветродизельных и гибридных энергетических комплексов;

- сетевая ветроэнергетика (с суммарной номинальной мощностью от 2 МВт и выше на базе ВЭУ номинальной мощности

1 МВт и более.

Особенности малых автономных ВЭС. Следует сразу отметить, что подобно крупным ветряным турбинам, малые турбины не способны производить энергию на постоянной основе. Поэтому для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителя малая ветряная турбина должна быть либо оснащена накопительными электробатареями (аккумуляторами), либо подключена к линии внешнего электроснабжения.

Большинство малых ветряных турбин ориентируются к ветру благодаря прикрепленной к гондоле флюгарке, функционирующей подобно обычному флюгеру. Когда ветер приобретает достаточную скорость для начала работы, флюгарка поворачивается под ветер, а вместе с ней и гондола с

лопастями. В результате плоскость, образуемая вращающимися лопастями турбины, становится перпендикулярной направлению потока ветра.

Естественно, что скорость вращения лопастей зависит от скорости (силы) ветра. Как результат, меняется частота переменного тока, который вырабатывается электрогенератором, размещенным внутри гондолы. Переменный ток преобразуется в постоянный при помощи выпрямителя, далее постоянный ток направляется на зарядку аккумуляторных батарей (рис. 3.15).

Аккумуляторные батареи предназначены для сохранения выпрямленного выходного электрического тока. Батареи обеспечивают энергией *инвертор* – устройство для преобразования постоянного тока в переменный и передачи энергии из сети постоянного тока в сеть переменного тока. Инвертор выдает на выходе переменный ток напряжением 117 В. В ряде случаев заряд батарей применяется напрямую для электропитания бытовой техники, способной функционировать на низковольтном постоянном токе.

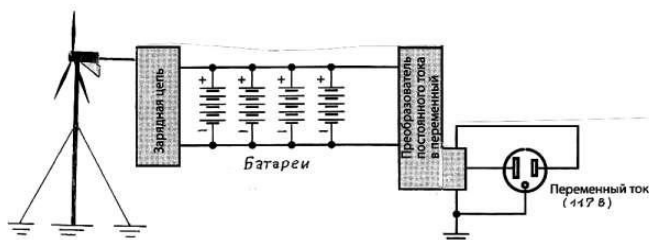


Рис. 20. Малая автономная ветряная турбина с накопительными батареями

Наличие батарей дает возможность снабжать электричеством потребителя (как правило, отдельный дом) даже в том случае, если ветра нет или он слишком слабый. Тем самым потребитель не зависит от централизованной электросети, но, при долгом безветрии, заряд в батареях закончится. Поэтому следует иметь резервный источник электроэнергии.

Закрепим изученное!

1. Атмосферный воздух почти всегда находится в движении, и его бесплатную энергию человек с помощью ветряка давно использует.

Ветроэнергетическая установка, в отличие от традиционных электростанций, характеризуется полным отсутствием как сырья, так и отходов.

2. Республика Беларусь не имеет ветрообильных районов, поэтому бедна ветровыми ресурсами. Коммерческое применение ветроэнергетики выгодно при скоростях ветра около 5 м/с. Перспективные разработки ВЭУ указывают, что они способны стабильно работать при скоростях ветра в диапазоне 3–4 м/с.

3. Главный тормоз внедрения ветроэнергетических установок – высокая стоимость киловатта установленной мощности, учитывая не только капитальную стоимость, но и повышенные эксплуатационные расходы ветряков.

4.4 СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ

И тут в мой разум грянул блеск с
высот, неся свершение всех его
усилий.

Данте, итальянский поэт

Как и наши праотцы, мы говорим, что Солнце «восходит и заходит», ежедневно проходя свой круг по небосводу, хотя и знаем, что это Земля обегает вокруг Солнца, и само оно – одна из миллиардов звезд.

Своей жизненной силой Солнце всегда вызвало у людей чувство поклонения. Народы, тесно связанные с природой, ждали от него милостивых даров – урожая и изобилия, хорошей погоды и свежего дождя или же кары – ненастья, бурь, града. Поэтому в народном искусстве мы всюду видим изображение Солнца: над фасадами домов, на вышивках, в резьбе и т.п.

Почти все источники энергии, о которых мы до сих пор говорили, так или иначе используют энергию Солнца: уголь, нефть, природный газ суть не что иное, как «законсервированная» солнечная энергия. Она заключена в этом топливе с незапамятных времен; под действием

солнечного тепла и света на Земле росли растения, накапливали в себя энергию, а потом в результате длительных процессов превратились в употребляемое сегодня топливо. Солнце каждый год дает человечеству миллиарды тонн зерна и древесины. Энергия рек и горных водопадов также происходит от Солнца, которое поддерживает кругооборот воды на Земле.

Всего за три дня Солнце посылает на Землю столько энергии, сколько ее содержится во всех разведенных запасах ископаемых топлив, а за 1 с – 170 млрд Дж. Большую часть этой энергии рассеивает или поглощает атмосфера, особенно облака, и только треть ее достигает земной поверхности. Вся энергия, испускаемая Солнцем, больше той ее части, которую получает Земля, в 5 000 000 000 раз. Но даже такая «ничтожная» величина в 1600 раз больше энергии, которую дают остальные источники, вместе взятые. Солнечная энергия, падающая на поверхность одного озера, эквивалентна мощности крупной электростанции.

Человек еще с древнейших времен знал об этом неисчерпаемом источнике энергии. Всем нам хорошо известно по собственному опыту, что простым увеличительным стеклом можно сфокусировать солнечный свет в одну точку, где горячий пучок лучей может зажечь какое-нибудь горючее вещество. Существует легенда о том, что древнегреческий математик и физик Архимед во время второй Пунической войны при помощи системы зеркал поджег деревянные римские корабли в Сиракузах. Сегодня эта история представляется нам весьма сомнительной, либо в III в. до н.э. люди не умели делать достаточно больших и точных зеркал, способных что-то поджечь на расстоянии. Но любопытно, что сама идея возникла еще в античную эпоху; значит, люди уже тогда задумывались над тем, как поймать и использовать солнечные лучи, и знали о способности линз и вогнутых зеркал сосредотачивать лучи в одной точке – фокусе. Именно линзами пользовались древнеримские жрицы, чтобы зажечь священный огонь в храме богини Весты. Угасшее пламя полагалось снова зажигать только от «чистого» огня – солнечных лучей. В развалинах древней столицы Ниневии в Месопотамии нашли примитивные линзы, сделанные еще в VII в. до н.э.

Сегодня для преобразования солнечного излучения в

полезный для нас вид энергии мы располагаем двумя возможностями:

- использовать солнечную энергию как источник теплоты;
- преобразовать непосредственно солнечную энергию в электрический ток.

Солнечные коллекторы

Простейшим способом утилизации солнечной энергии является использование ее для нагрева. Все знают, как нагреваются на солнце различные предметы. И чем темнее поверхность, тем больше нагрев. Именно на этом и основан принцип работы солнечного коллектора – солнечное тепло поглощается темной поверхностью (абсорбером) и передается теплоносителю. Далее полученное тепло:

- либо накапливается в специальном теплоаккумуляторе;
- либо сразу используется для нагрева.

Принципы солнечного отопления известны на протяжении тысячелетий. Люди нагревали воду при помощи Солнца до того, как ископаемое топливо заняло лидирующее место в мировой энергетике. Солнечный коллектор – наиболее известное приспособление, непосредственно использующее энергию Солнца, они были разработаны около двухсот лет назад.

Можно выделить несколько основных типов солнечных коллекторов: плоские, вакуумные, концентраторы.

В плоских солнечных коллекторах за плоским абсорбером (чаще всего это металлическая пластина с темным поглощающим покрытием) находится система трубок, по которым пропускается теплоноситель. Чтобы предотвратить потери энергии в окружающую среду обратная сторона и торцы такого коллектора закрываются теплоизолирующим материалом.

Фронтальная часть накрывается стеклом. Солнечный свет практически беспрепятственно проходит через стекло, а вот инфракрасное излучение от нагретого абсорбера назад не проникает. Тепло как бы запирается внутри коллектора, работает парниковый эффект. Фронтальное стекло также в некоторой степени препятствует охлаждению коллектора за

счет тепловой конвекции воздуха.

Самые качественные плоские солнечные коллекторы могут нагревать теплоноситель до температуры более 150 °С, но в большинстве конструкций температура не поднимается выше точки кипения воды. Поэтому считается, что плоские коллекторы можно оставлять на долгое время без присмотра.

Вакуумные коллекторы обязаны своим названием способу накопления тепла. В них теплопоглощающие элементы запаяны в стеклянные трубки, в которых создан вакуум. Стекло препятствует выходу инфракрасного излучения от нагретых элементов, а вакуум идеальная среда для теплоизоляции, т. к. в нем охлаждение из-за конвекции просто отсутствует.

Вакуумные коллекторы эффективно работают даже в сильные морозы и в пасмурную погоду, а на солнце они способны нагревать теплоноситель до 300 градусов. Именно из-за этого системы с вакуумным коллектором обычно гораздо сложнее. Они включают в себя специальные контроллеры и клапаны, обеспечивающие сброс избыточного тепла при перегреве.

И, наконец, коллекторы-концентраторы представляют собой отдельный класс устройств, которые чаще всего используют, когда необходимо получить очень высокую температуру. Простейшим примером концентратора может служить обычная линза. Наверное, все мы, будучи детьми, выжигали с ее помощью узоры на лавочках во дворе. Правда, в современных концентраторах линзы практически не используются. Там, в основном, применяют зеркала. Принцип тот же – солнечные лучи сводятся в одну точку параболическим зеркалом. В фокусе концентратора температура составляет несколько сотен градусов. Нагретый до такой высокой температуры теплоноситель используется для получения пара, который вырабатывает энергию уже в паровой турбине.

Плоский солнечный коллектор

Плоский солнечный коллектор – самый распространенный вид

солнечных коллекторов, используемых в бытовых водонагревательных и отопительных системах. Этот коллектор представляет собой теплоизолированную остекленную панель, в которую помещена пластина поглотителя. Пластина поглотителя изготовлена из металла, хорошо проводящего тепло (чаще всего меди или алюминия). Чаще всего используют медь, т. к. она лучше проводит тепло и меньше подвержена коррозии, чем алюминий. Пластина поглотителя обработана специальным высокоселективным покрытием, которое лучше удерживает поглощенный солнечный свет.

Это покрытие состоит из очень прочного тонкого слоя аморфного полупроводника, нанесенного на металлическое основание, и отличается высокой поглощающей способностью в видимой области спектра и низким коэффициентом излучения в длинноволновой инфракрасной области.

Благодаря остеклению (в плоских коллекторах обычно используется матовое, пропускающее только свет, стекло с низким содержанием железа) снижаются потери тепла. Дно и боковые стенки коллектора покрывают теплоизолирующим материалом, что еще больше сокращает тепловые потери. Устройство плоского солнечного коллектора показано на рис. 20.

Рассмотрим принцип действия. Солнечный свет проходит через остекление и попадает на поглощающую пластину, которая нагревается, превращая солнечную радиацию в тепловую энергию. Это тепло передается теплоносителю – воде или антифризу, циркулирующему через солнечный коллектор. Теплоноситель нагревается и отдает затем тепловую энергию через теплообменник воде в емкостном водонагревателе. В нем горячая вода находится до момента ее использования.

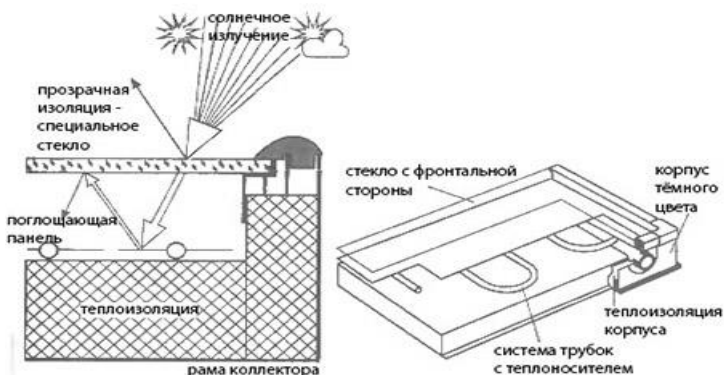


Рис.21 Устройство плоского солнечного коллектора

Прямоточный вакуумированный трубчатый солнечный коллектор

Рассмотрим устройство коллектора. В каждую вакуумированную трубку встроен медный поглотитель с гелиотитановым покрытием, гарантирующим высокий уровень поглощения солнечной энергии и малую эмиссию теплового излучения.

Вакуумированное пространство позволяет практически полностью устранить теплопотери. На поглотителе установлен коаксиальный трубчатый прямоточный теплообменник, выходящий в коллектор. Протекающий через него теплоноситель забирает тепло от поглотителя.

К преимуществам этой системы можно отнести непосредственную передачу тепла воде, что позволяет сократить тепло-потери. Так как полный коэффициент потерь в вакуумном коллекторе мал, теплоноситель в нем можно нагреть до температур 120–160 °С.

Принцип действия таков. Солнечная радиация проходит сквозь вакуумированную стеклянную трубку, попадает на поглотитель и превращается в тепловую энергию. Тепло передается жидкости, протекающей по коаксиальному трубчатому прямоточному теплообменнику. Каждая трубка теплообменника соединена с накопительным баком так называемым «коллектором» системой из 2 медных труб. По одной из них нагретая вода передается в бак-накопитель, по

другой – холодная вода из бака-накопителя поступает на нагрев в вакуумированные трубки.

Вакуумированный трубчатый солнечный коллектор с тепловой трубкой

Конструкция вакуумированного трубчатого коллектора с тепловой трубкой похожа на конструкцию термоса: одна стеклянная/металлическая трубка вставлена в другую большего диаметра. Между ними – вакуум.

На самом деле вакуум – отличный теплоизолятор, но не меняет излучающую способность нагретого тела, вакуум препятствует конвекционной передаче тепла. ИК-излучение задерживается стеклом трубки.

В каждую вакуумированную трубку встроена медная пластина поглотителя с гелиотитановым покрытием, гарантирующим высокий уровень поглощения солнечной энергии и малую эмиссию теплового излучения. Под поглотителем установлена тепловая труба, заполненная испаряющейся жидкостью.

С помощью гибкого соединительного элемента тепловая труба подсоединена к конденсатору, находящемуся в теплообменнике типа «труба в трубе». Соединение относится к так называемому «сухому» типу, что позволяет поворачивать или заменять трубки и при заполненной установке, находящейся под давлением.

Гелиосистемы состоят из солнечного коллектора, системы управления с насосами и бака-аккумулятора (рис. 21).

Задачи, решаемые гелиосистемой:

- получение альтернативного источника неограниченной, экологически чистой бесплатной энергии;
- обеспечение потребностей в горячей воде для бытовых нужд (даже в местах отсутствия магистрального водопровода);
- полное или частичное обеспечение потребностей отопления (осенне-весенний период – до 80 %, а зимний – до 50 %);
- снижение уровня потребления традиционных энергоресурсов, а, следовательно, и финансовых затрат.

В коллекторе (лат. накопитель) медная пластина

аккумулирует солнечную энергию. Они рассмотрены выше. Под пластиной приварены медные трубы, по которым течет коллекторная жидкость. Она транспортирует тепло. Система управления с насосом обеспечивает циркуляцию коллекторной жидкости внутри установки. В хорошо изолированном баке-аккумуляторе тепло жидкости передается воде (теплообменник). Таким образом, в доме будет нагретая вода и ночью, и в дождливые дни.

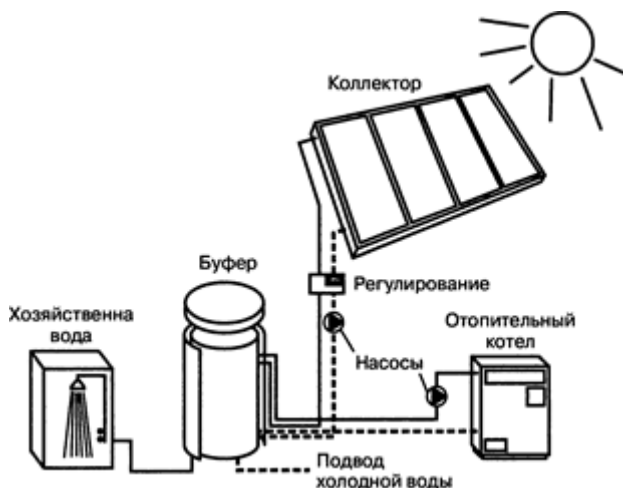


Рис. 22. Устройство гелиоустановки

Важной частью гелиоустановки является поддерживающая конструкция для солнечных коллекторов. Она обеспечивает правильный угол наклона, а также необходимую жесткость конструкции. Комбинация поддерживающей конструкции с солнечными модулями должна выдерживать порывы ветра и другие неблагоприятные воздействия окружающей среды.

Варианты монтажа установки:

- наклонный (на крышу с любым углом наклона ската);
- горизонтальный (на плоскую крышу);
- свободстоящий (солнечный коллектор с опорной конструкцией).

Солнечная электроэнергетика

Солнечную энергию можно использовать как источник теплоты для выработки электроэнергии традиционными способами. Нагревать воду с превращением ее в пар с высокими температурой и давлением, а затем с помощью турбогенераторов вырабатывать электрическую энергию. При этом нет парогенератора (парового котлоагрегата), в котором сжигается дорогое углеводородное топливо (уголь, мазут или природный газ) и загрязняется вредными веществами окружающая среда.

Электростанция, использующая теплоту солнечного излучения, называется солнечной тепловой электрической станцией (СТЭС)

В настоящее время наибольшее распространение получили три типа СТЭС:

- *башенного типа* с центральным приемником – парогенератором, на теплоприемной поверхности которого концентрируется солнечное излучение от зеркал – гелиостатов;

- *модульного типа*, у которых в фокусе параболоцилиндрических концентраторов размещены вакуумированные приемники – трубы с теплоносителем (парогенераторы);

- *комбинированные* – это солнечно-тепловые электростанции, в которых чисто солнечная ЭС того или иного типа объединяется с обычной теплоэлектростанцией.

Современные СТЭС независимо от их типа включают следующие элементы: гелиоконцентратор, теплоприемник, систему транспорта и аккумулирования теплоты, систему преобразования теплоты в работу.

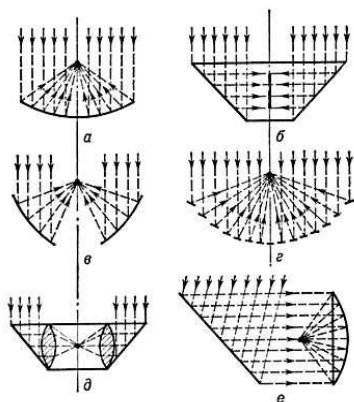


Рис. 23. Схемы гелиоконцентраторов: а – параболоидного (параболоцилиндрического, цилиндрического); б – конического; в – тороидального; г – составного (из отдельных плоских зеркал); д – зеркально-линзового; е – с подвижным зеркалом и неподвижным концентратором

Основным элементом СТЭС является *гелиоконцентратор* – устройство для концентрации лучистой энергии Солнца на относительно небольшом участке нагреваемого тела. Тем самым создается высокая плотность потока солнечных лучей и одновременно уменьшаются тепловые потери из-за сокращения теплоотдающей поверхности. Гелиоконцентраторы выполняются в виде плоских или вогнутых отражателей различной формы (рис. 23), реже ими служат прозрачные оптические фокусирующие линзы.



Рис. 24. Параболоидная гелиоустановка с концентратором

На рис. 24 показана (для примера) типовая параболическая гелиоустановка с концентратором диаметром 10 м. Здесь бак с теплоносителем находится в фокусе зеркала. Она предназначена для получения горячей воды или пароводяной смеси.

В так называемых классических СТЭС пар с необходимыми параметрами образуется следующим образом. Установленные на площади в несколько гектаров зеркала фокусируют солнечный свет на водяном котле, находящемся на вершине 100-метровой башни (рис. 25). В результате высокая температура превращает воду, поступающую в котел, в пар, который приводит в действие обычный электротурбогенератор.



Рис. 25. «Энергобашенный» метод преобразования солнечной энергии в электрическую (в центре «энергобашня» с котлом, вокруг гелиоконцентраторы, постоянно ориентирующиеся на Солнце (Б. Небел, 1993))

В настоящее время разработаны солнечные ТЭС башенного типа, в которых рабочим телом служит сжатый воздух. В теплоприемнике воздух нагревается до температуры 1000°C и направляется в *газовую турбину* с последующей выработкой электроэнергии.

В качестве теплоносителя предложено также термостойкое кремнийорганическое масло; проходя через теплообменник, оно нагревается до температуры 390°C и передает теплоту воде и водяному пару. Теплоприемник выполнен в виде стальной трубы, окруженной стеклянной оболочкой; пространство между ними вакуумировано, а на поверхность самой трубы нанесено покрытие с высоким коэффициентом поглощения в видимой области спектра (400 – 760 нм) и низким коэффициентом излучения в ИК-области. Подобная конструкция теплоприемника обеспечивает минимальные потери теплоты в окружающую среду.

Саудовская Аравия меняет нефть на Солнце. Сам факт того, что в странах Европы и некоторых других, не обладающих большими топливными природными ресурсами, столь большое внимание уделяется нетрадиционной энергетике, в частности солнечной, вполне понятен. Но есть в мире страна, которая, несмотря на колоссальные запасы нефти, занимая первое место

по ее добыче и продаже, инвестирует огромные деньги в развитие солнечной энергетики. Эта страна – Саудовская Аравия.

В настоящее время в стране сжигается для получения электроэнергии почти 140 млн. т. нефти, что составляет треть от ежегодной ее добычи. Казалось бы, что так можно делать в течение многих последующих лет. Однако руководство страны, понимая, что даже гигантские запасы природного топлива имеют только одну тенденцию – к сокращению, сделало ставку на воз-обновляемые источники энергии.

В течение двух десятилетий Саудовская Аравия собирается построить генерирующие мощности на 25 ГВт (это 5 – 6 мощных АЭС). Электроэнергия будет поступать от СТЭС с огромными массивами зеркал.

Но это не все. Страна также планирует ввести дополнительные генерирующие мощности на 21 ГВт от других, не нефтяных источников, в том числе геотермальных и ветровых. Весь проект, как ожидается, потребует вложения 109 млрд. долл. Откуда взять такие деньги? Ответ простой: перенаправляя на продажу треть от общего объема добываемой нефти, которая будет сэкономлена за счет солнечной энергетики, страна может рассчитывать на существенный возврат инвестиций. И не мудрено: 1 т аравийской нефти редко опускается в цене ниже 600 долл. Ориентированная в перспективу и вполне реализуемая, причем с высоким экологическим эффектом, политика.

Фотометрическое преобразование

Солнечная энергия, достигающая земной поверхности существенно зависит от географического положения данной области. Поэтому для гелиоэнергетической установки с электрической мощностью 1 ГВт в пустыне Сахаре потребовалось бы улавливать солнечное излучение с площади 35 км², в Сицилии площадь увеличилась бы до 50 км². В Японии, чтобы страна смогла в 1985 году удовлетворить свою потребность в энергии, пришлось бы собирать солнечное излучение с площади

73 500 км², что составляет около 20 % всей территории страны.

Солнечные установки с плоскими коллекторами имеют низкий КПД. В то же время установки с концентраторами более сложные и дорогостоящие. В них используется вогнутое зеркало, которое сосредотачивает падающее солнечное излучение в малом объеме около определенной геометрической точки – фокуса. Отражающая поверхность зеркала выполнена из металлизированной пластмассы либо составлена из многих малых плоских зеркал, прикрепленных к большому параболическому основанию. Благодаря специальным механизмам коллекторы такого типа постоянно повернуты к Солнцу. Температура в рабочем пространстве зеркальных коллекторов достигает 3000 °С и выше.

Вся цепочка превращения солнечной энергии в электрическую энергию в установке такого типа состоит из трех звеньев: солнечная энергия превращается в тепловую, тепловая энергия – в механическую, механическая энергия – в электрическую. Но каждое преобразование связано с потерями, а общий КПД такой гелиоэлектростанции имеет небольшую величину.

Фотоэлектрическое преобразование

Фотоэлектрическое или прямое преобразование солнечной энергии в электрическую является многообещающим для маломасштабного использования в сельских и отдаленных районах. Это преобразование осуществляется с помощью полупроводниковых фотоэлементов – солнечных батарей, или солнечных элементов.

Солнечные элементы (СЭ) изготавливаются из материалов, которые напрямую преобразуют солнечный свет в электричество. Большая часть из коммерчески выпускаемых в настоящее время СЭ изготавливается из кремния (химический символ Si). Устройство солнечного элемента показано на рис. 22.

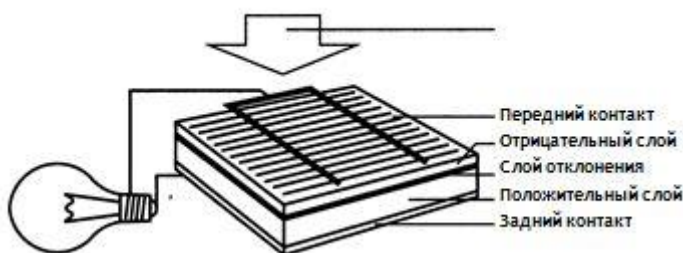


Рис. 26. Устройство солнечного элемента

Типы солнечных элементов. СЭ может быть следующих типов:

- монокристаллический;
- поликристаллический;
- аморфный.

Различие между этими формами в том, как организованы атомы кремния в кристалле. Различные СЭ имеют разный КПД преобразования энергии света. Моно- и поликристаллические элементы имеют почти одинаковый КПД, который выше, чем у СЭ, изготовленных из аморфного кремния.

Прежде всего, в СЭ имеется задний контакт и 2 слоя кремния разной проводимости. Сверху имеется сетка из металлических контактов и антибликовое просветляющее покрытие, которое дает СЭ характерный синий оттенок.

В последние годы разработаны новые типы материалов для

СЭ. Например, тонкопленочные СЭ из медь-индий-диселенида и из CdTe (теллурид кадмия). Эти СЭ в последнее время также коммерчески используются.

КПД солнечных элементов:

- монокристаллические – 12... 15 %;
- поликристаллические – 11...14 %;
- аморфные – 6 ...7 %;
- теллурид кадмия – 7...8 %.

СЭ производит электричество, когда освещается светом. В зависимости от интенсивности света (измеряемой в Вт/м²), солнечный элемент производит больше или меньше электричества: яркий солнечный свет более предпочтителен, чем тень, и тень более предпочтительна, чем электрический свет.

Солнечные батареи были испытаны в полевых условиях на многих установках. Практика показала, что срок службы солнечных батарей превышает 20 лет. Фотоэлектрические станции, работающие в Европе и США около 25 лет, показали снижение мощности модулей примерно на 10%.

Таким образом, можно говорить о реальном сроке службы солнечных монокристаллических модулей 30 и более лет. Поликристаллические модули обычно работают 20 и более лет. Модули из аморфного кремния (тонкопленочные, или гибкие) имеют срок службы от 7 (первое поколение тонкопленочных технологий) до 20 (второе поколение тонкопленочных технологий) лет.

Более того, тонкопленочные модули обычно теряют от 10 до 40% мощности в первые 2 года эксплуатации. Поэтому, около 90% рынка фотоэлектрических модулей в настоящее время составляют кристаллические кремниевые модули.

Другие компоненты системы имеют различные сроки службы: аккумуляторные батареи имеют срок службы от 2 до 15 лет, а силовая электроника – от 5 до 20 лет.

Возможно создание системы электроснабжения на солнечных батареях различной сложности. Наиболее простая система имеет на выходе низкое напряжение постоянного тока (обычно 12 или 24 В). Такие системы применяются для обеспечения работы освещения и небольшой нагрузки постоянного тока в доме – радио, телевизор, ноутбук,

магнитофон и т. п. Можно использовать различные автомобильные аксессуары, вплоть до холодильников.

Типовая схема такой системы приведена на рис. 23. Обычно такие системы применяются, если максимальное расстояние от аккумулятора до самой дальней подключенной нагрузки не превышает 10–15 м, а ее мощность – не более 100 Вт.

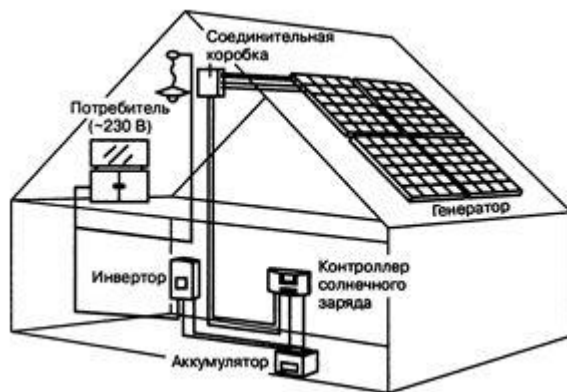


Рис. 27. Типовая схема простейшей системы

Инвертор – это преобразователь постоянного тока низкого напряжения от аккумуляторов в 220 В переменного тока.

В этом случае вы сможете питать практически любую бытовую нагрузку суммарной мощностью, не превышающей мощность инвертора.

Система электроснабжения автономного дома с выходом переменного и постоянного тока на базе фотоэлектрической солнечной батареи включает в себя практически те же компоненты, что и схема на рис. 23, плюс контроллер заряда аккумуляторной батареи, а именно:

- солнечная батарея необходимой мощности;
- контроллер заряда аккумуляторной батареи, который предотвращает губительные для батареи глубокий разряд и перезаряд;
- батарея аккумуляторов (АБ);
- инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный;
- энергоэффективные нагрузки переменного тока.

Для обеспечения надежного электроснабжения необходим

резервный источник электропитания. В качестве такого источника может быть небольшой (2–6 кВт) бензо- или дизельэлектрогенератор.

Введение такого резервного источника электроэнергии резко сокращает стоимость солнечной батареи из-за отсутствия необходимости рассчитывать ее на худшие возможные условия (несколько дней без солнца, эксплуатация зимой и т. п.)

В этом случае в систему также вводится зарядное устройство для быстрого заряда (в течение нескольких часов) АБ от жидкотопливного электрогенератора. Возможно применение блока бесперебойного питания, в котором возможность заряда АБ уже встроена.

Солнечные энергоцентры (фермы). За рубежом солнечная энергетика, основанная на прямом преобразовании излучения Солнца в электричество, в зависимости от мощности и предназначения включает в себя:

- крупные солнечные энергоцентры (солнечные фермы);
- малые фотоэнергетические системы.

Включая в свой состав тысячи (а иногда и сотни тысяч) отдельных фотоэлектрических ячеек, соединенных в сеть модулей, батарей и решеток, такие установки могут производить от нескольких сотен до многих тысяч киловатт энергии.

Современные солнечные энергоцентры имеют панели, которые способны при помощи компьютерной техники и автоматизированной системы управления «следовать» за солнцем в течение всего дня. Через инверторы (преобразователи постоянного тока в переменный) и повышающие трансформаторы панели присоединяются к электросетям (рис. 27).

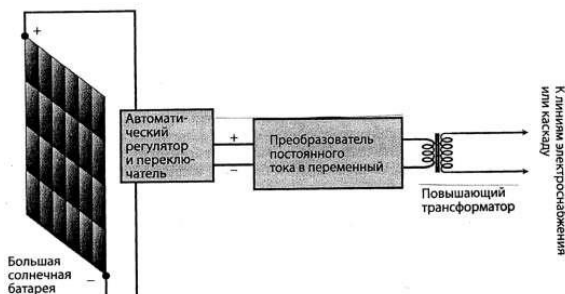


Рис. 27. *Функциональная схема солнечного энергоцентра*

Метод фотоэлектрического преобразования все в большей степени становится в мире привлекательным для выработки электроэнергии в крупных масштабах. Это вызвано тем, что СФЭС на его основе способствуют:

- достижению максимально возможной в настоящее время экологической безопасности преобразования энергии;
- получению энергии (тепловой и электрической) практически в любом

Метод фотоэлектрического преобразования все в большей степени становится в мире привлекательным для выработки электроэнергии в крупных масштабах. Это вызвано тем, что СФЭС на его основе способствуют:

- достижению максимально возможной в настоящее время экологической безопасности преобразования энергии;
- получению энергии (тепловой и электрической) практически в любом районе, где достаточная для этого солнечная радиация;
- относительно малым эксплуатационным затратам;
- наращиванию мощностей (модульный принцип строительства).

Добавим, что СФЭС не шумят, относительно малозаметны, не портят пейзаж и, что весьма важно, не производят добавляемой энергии.

Более 30 стран мира, обладающие приемлемым для развития солнечной энергетики потенциалом, используют процесс преобразования излучения Солнца в электрическую энергию. Более того, появилась целая индустрия по производству ФЭП (как, например, в не очень солнечной Германии), которые экспортируются в другие страны, более одаренные солнечной активностью.

Например, в Португалии в местечке Серпа, одном из самых солнечных в Европе, в 2007 г. заработала одна из самых мощных солнечных ФЭС в мире. Ее 52 тыс. солнечных батарей раскинулись на площади в 60 га. Мощность станции 11 МВт, она способна обеспечить энергией 8 тыс. домов и предотвратить выбросы 30 тыс. т парникового газа – диоксида углерода.

Правительство страны в развитие альтернативных электростанций намерено инвестировать 10,8 млрд. долл. США с тем, чтобы обеспечить в перспективе не менее 45 % потребностей в электроэнергии.

В США стоимость «солнечного» киловатт-часа колеблется в диапазоне от 13 до 20 центов США, тогда как при использовании традиционных источников энергии кВт·ч обходится потребителю в 4 – 6 центов. Американцы, однако, надеются, что появление новых технологий позволит сделать солнечную энергию более дешевой, и прогнозируют в ближайшие годы уменьшить стоимость киловатт-часа до 9 – 10 центов.

Естественно, что крупным солнечным энергоцентрам присущи недостатки:

- они нерентабельны для мест, не получающих достаточной солнечной радиации;

- как и энергия ветра, солнечная энергия неустойчива. Ее трудно запастись в больших количествах;

- солнечная энергия не может сама по себе удовлетворить потребности в электричестве крупного города целиком. Это, прежде всего, дополнительный источник энергии;

- под солнечные энергоцентры необходим отвод больших площадей земель, которые трудно использовать в других целях.

Есть основания считать, что солнечные ФЭС в ближайшие годы получат распространение практически во всех странах, где есть к этому надлежащие условия.



Рис. 28. ФЭС на крыше здания

Малые фотоэлектрические станции. В настоящее время солнечные ФЭС используются для электрификации ряда изолированных объектов: жилых и общественных

зданий (рис. 4.26), теплиц, ферм, горных пастбищ и т.д. Например, на кровле Центра международных культурных связей Джорджтаунского университета в Вашингтоне установлена система из 4400 ФЭП общей мощностью 300 кВт при полном солнечном освещении.

Считается, что такие кровли могут получить широкое распространение в будущем по мере снижения себестоимости солнечных батарей.

Солнечные установки небольшой мощности в десятки киловатт дают часто практически единственную возможность приблизить сельское население различных стран, особенно развивающихся, к современной цивилизации и при том обеспечить сохранение качества среды обитания (рис. 29).



Рис. 29. Современный сельский пейзаж в Дании – передовой стране по развитию солнечной энергетики

Стены всех 7 этажей и крыша Токийского института технологий сделаны из солнечных батарей (всего их 4,5 тыс.), которые вырабатывают 750 кВт электроэнергии. Здание полностью обеспечивает себя электроэнергией, что крайне важно в случае чрезвычайных ситуаций. Японцы извлекли уроки из крупномасштабной аварии на АЭС «Фукусима-1», вызванной подводным землетрясением и последовавшей за ним гигантской волной цунами.

Суммарная мощность всех установленных в мире превысила 1000 МВт; в ряде стран приняты национальные программы по широкому их внедрению ("100 тысяч солнечных крыш" в Германии и в Японии, "1 млн. солнечных крыш" в США).

Крытый стадион в пригороде Берна (Швейцария) превращен в солнечную электростанцию (СЭС). На его крыше смонтированы солнечные панели общей мощностью 850 кВт. Они занимают всю крышу (ее площадь 12 тыс. м²), мощность СЭС достигает 1 300 кВт

Закрепим изученное!

1. Солнечное излучение является неисчерпаемым источником энергии. Атмосфера, необходимая для жизни на Земле, в результате процессов поглощения, рассеяния и отражения уменьшает энергию солнца. Значение энергии солнечного излучения, получаемой поверхностью Земли за год, примерно в 20 000 раз превышает современный уровень мирового энергопотребления.

Однако «сбор» всей энергии, поступающей от Солнца, сопряжен с очень большими трудностями: в настоящее время может быть извлечена только ее сравнительно небольшая часть; эффективность извлечения зависит от местоположения и преобладающих метеорологических условий.

2. Солнечную энергию используют в настоящее время двумя путями:

- как источник тепловой энергии посредством утилизации;
- как источник электрической энергии после предварительного преобразования.

3. Солнечный коллектор – установка для прямого преобразования энергии Солнца в тепловую энергию. Чтобы коллектор отдавал основную часть поглощенного тепла теплоносителю, его надо изолировать от окружающей среды. В вакуумных коллекторах создан вакуум для теплоизоляции, а стекло препятствует выходу инфракрасного (теплового) излучения в окружающую среду.

4. Солнечную энергию можно преобразовать в электрическую традиционным методом. При этом ее используют в солнечных электростанциях для получения

водяного пара, заменив сжигание углеводородного топлива. Вся цепочка превращений состоит из следующих звеньев: солнечная энергия превращается в тепловую, тепловая энергия – в механическую, механическая энергия – в электрическую.

В настоящее время вместо вышеприведенного фотометрического преобразования солнечной энергии широко используется фотоэлектрический способ.

Будущее солнечной энергии за прямым преобразованием солнечного излучения в электрический ток с помощью полупроводниковых фотоэлементов – солнечных батарей.

Система электроснабжения на базе фотоэлектрической солнечной батареи включает: солнечную батарею, батарею аккумуляторов, контроллер заряда аккумуляторной батареи (предотвращает глубокий разряд и перезаряд) инвертер, преобразующей постоянный ток в переменный.

5. Получение электрической энергии путем преобразования солнечного излучения в настоящее время является более дорогим в сравнении с ветроэнергетикой. Это обусловлено тем, что КПД солнечных элементов составляет около 15 %. Кроме того, ночи, пасмурная погода, осенне-зимний период требуют для обеспечения надежного электроснабжения резервный источник электропитания (электрическая сеть или индивидуальный бензо- или дизельэлектрогенератор).

5 НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ЗЕМЛИ

Наука выигрывает, когда ее крылья
раскованы фантазией.

*М. Фарадей, английский ученый,
физик, химик*

Тепло Земли очень «рассеяно», и в большинстве районов мира человеком может использоваться с выгодой только очень небольшая часть энергии. Из них пригодные для использования геотермальные ресурсы составляют около 1 % общей теплоемкости верхней 10-километровой толщи земной коры.

По классификации Международного энергетического агентства источники геотермальной энергии делятся на 5 типов:

- месторождения геотермального, сухого пара – сравнительно легко разрабатываются, но довольно редки; тем не менее, половина всех действующих в мире ГеоТЭС использует тепло этих источников;

- источники влажного пара (смеси горячей воды и пара) – встречаются чаще, но при их освоении приходится решать вопросы предотвращения коррозии оборудования ГеоТЭС и загрязнения окружающей среды (удаление конденсата из-за высокой степени его засоленности);

- месторождения геотермальной воды (содержат горячую воду или пар и воду) – представляют собой так называемые геотермальные резервуары, которые образуются в результате наполнения подземных полостей водой атмосферных осадков, нагреваемой близко лежащей магмой;

- сухие горячие скальные породы, разогретые магмой (на глубине 2 км и более) – их запасы энергии наиболее велики;

- магма, представляющая собой нагретые до 1300 °С расплавленные горные породы.

Главным достоинством геотермальной энергии является возможность ее использования в виде геотермальной воды или смеси воды и пара (в зависимости от их температуры):

- для нужд горячего водо- и теплоснабжения;
- для выработки электроэнергии либо одновременно для всех трех целей.

Кроме того следует отметить:

- ее практическую неиссякаемость;
- полную независимость от условий окружающей среды, времени суток и года.

Беларусь не входит в число стран, которое имеют источники геотермальной энергии. Однако, как и подавляющее большинство стран Европы, Беларусь может использовать низкопотенциальную энергию Земли.

Низкопотенциальная энергия Земли (НГР) – это тепло грунта, грунтовых вод и поверхностных водоемов, аккумулированная в поверхностных слоях земной коры.

Эта энергия может с успехом использоваться для обеспечения тепло- и хладоснабжения (кондиционирования), горячего водоснабжения зданий и сооружений всех типов, а также энергоснабжения технологических процессов.

Технология их освоения заключается в использовании систем извлечения энергии, ее обработки и доставки теплоносителя к потребителю. Главным компонентом подобных систем являются геотермальные тепловые насосы. Пример использования теплового насоса в доме приведен на рис. 30.



Рис. 30. Пример использования теплового насоса в доме

Идея теплового насоса высказана полтора века назад британским физиком Уильямом Томсоном (более известный как лорд Кельвин). Это придуманное им устройство он назвал «умножителем тепла».

Помимо геотермального тепла, источником энергии для тепловых насосов может служить тепло сточных и оборотных вод, что позволяет параллельно решать проблему эксплуатации вторичных энергоносителей.

На сегодняшний день используются:

- парокompрессионные геотермальные тепловые насосы (ПТН), работающие на хладагоне;
- адсорбционные геотермальные тепловые насосы (АТН), в которых рабочими веществами выступают вода и водный раствор бромистого лития.

Однако, в связи с меньшей эффективностью и сложностью конструкции АТН не получили распространения.

Тепловой насос – это «холодильник наоборот», отмечается на www.avante.com.ua. В обоих устройствах основными элементами являются испаритель, компрессор, конденсатор и дроссель (регулятор потока), соединенные трубопроводом, в котором циркулирует поток хладагента.

Хладагенты – это вещества, способного кипеть при низкой температуре и меняющее свое агрегатное состояние с газового в одной части цикла, на жидкое – в другой. Просто в холодильнике главная партия отводится испарителю и отбору тепла, а в тепловом насосе – конденсатору и передаче тепла.

Функция бытового холодильника сводится к охлаждению продуктов, и его сердцем является теплоизолированная камера, откуда тепло «откачивается» (отбирается кипящим в теплообменнике-испарителе хладагентом) и через теплообменник-конденсатор «выбрасывается» в помещение (задняя стенка холодильника довольно теплая на ощупь).

В тепловом насосе главным становится теплообменник, с которого тепло «снимается» и используется для обогрева дома, а второстепенная «морозилка» размещается за пределами здания.

Схематично тепловой насос можно представить в виде системы из замкнутых контуров.

Внешний контур (коллектор) представляет собой уложенный в землю или в воду (например, полиэтиленовый) трубопровод, в котором циркулирует незамерзающая жидкость – антифриз. Источником низкопотенциального тепла может служить грунт, скальная порода, озеро, река, море и даже выход теплого

воздуха из системы вентиляции какого-либо промышленного предприятия.

Во второй контур, где циркулирует хладагент, как и в бытовом холодильнике, встроены теплообменники – испаритель и конденсатор, а также устройства, которые меняют давление хладагента – распыляющий его в жидкой фазе дроссель (узкое калиброванное отверстие) и сжимающий его уже в газообразном состоянии компрессор.

Рабочий цикл выглядит так (рис. 31). Жидкость хладагента продавливается через дроссель, ее давление падает, и она поступает в испаритель, где вскипает, отбирая теплоту, поставляемую коллектором из окружающей среды. Далее газ, в который превратился хладагент, всасывается в компрессор, сжимается и, нагретый, выталкивается в конденсатор. Конденсатор является теплоотдающим узлом теплонасоса: здесь происходит процесс получения теплоты – теплота принимается водой в системе отопительного контура. При этом газ охлаждается и конденсируется, чтобы вновь подвергнуться разрежению в расширительном вентиле и вернуться в испаритель. После этого рабочий цикл начинается сначала.

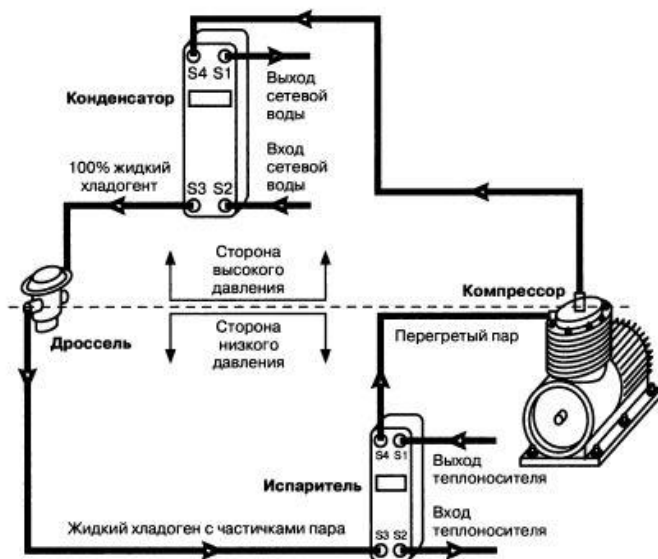


Рис. 31. Схема теплового насоса

Чтобы компрессор работал (поддерживал высокое давление и циркуляцию), его надо подключить к электричеству. Но на каждый затраченный киловатт-час электроэнергии тепловой насос вырабатывает 2,5–6 киловатт-часов тепловой энергии. Соотношение вырабатываемой тепловой энергии и потребляемой электрической называется коэффициентом трансформации (или коэффициентом преобразования теплоты) и служит показателем эффективности теплового насоса. Эта величина зависит от разности уровня температур в испарителе и конденсаторе: чем больше разность, тем меньше эта величина.

По этой причине тепловой насос должен использовать по возможности большее количество источника низкопотенциального тепла, не стремясь добиться его сильного охлаждения. В самом деле, при этом растет эффективность теплового насоса, поскольку при слабом охлаждении источника тепла не происходит значительного роста разницы температур.

По этой причине тепловые насосы делают так, чтобы масса низкотемпературного источника тепла была значительно большей, чем нагреваемая масса. В этом состоит одно из важнейших отличий теплового насоса от традиционных (топливных) источников тепла, в которых вырабатываемая энергия зависит исключительно от теплотворной способности топлива. По этой причине тепловой насос в каком-то смысле «привязан» к источнику низкопотенциального тепла, имеющего большую массу.

К преимуществам тепловых насосов, в первую очередь, следует отнести экономичность: для передачи в систему отопления

1 кВт*ч тепловой энергии установке необходимо затратить всего 0,2–0,35 кВт*ч электроэнергии. Кроме того, теплонасос не сжигает топлива и не производит вредных выбросов в атмосферу.

Он не требует специальной вентиляции помещений и абсолютно безопасен. Все системы функционируют с использованием замкнутых контуров и не требуют эксплуатационных затрат, кроме стоимости электроэнергии, необходимой для работы оборудования.

Еще одним преимуществом тепловых насосов является

возможность переключения с режима отопления зимой на режим кондиционирования летом: просто вместо радиаторов к внешнему коллектору подключаются фанкойлы.

Тепловой насос надежен, его работой управляет автоматика. В процессе эксплуатации система не нуждается в специальном обслуживании, возможные манипуляции не требуют особых навыков и описаны в инструкции.

Теплонасос компактен (его модуль по размерам не превышает обычный холодильник) и практически бесшумен.

Хотя идея, высказанная лордом Кельвином в 1852 году, была реализована уже спустя четыре года, практическое применение теплонасосы получили только в 30-х годах прошлого века. В западных странах тепловые насосы применяются давно – и в быту, и в промышленности. Сегодня в Японии, например, эксплуатируется около 3 миллионов установок.

Широкому распространению теплонасосов мешает недостаточная информированность населения. Потенциальных покупателей пугают довольно высокие первоначальные затраты: стоимость насоса и монтажа системы составляет \$300–1200 на 1 кВт необходимой мощности отопления. Капиталовложения окупаются, по ориентировочным подсчетам, за 4–9 лет, а служат теплонасосы по 15–20 лет до капремонта.

Еще более многообещающей является система, комбинирующая в единую систему теплоснабжения геотермальный источник и тепловой насос. При этом геотермальный источник может быть как естественного (выход геотермальных вод), так и искусственного происхождения (скважина с закачкой холодной воды в глубокий слой и выходом на поверхность нагретой воды).

Другим возможным применением теплового насоса может стать его комбинирование с существующими системами централизованного теплоснабжения. К потребителю в этом случае может подаваться относительно холодная вода, тепло которой преобразуется тепловым насосом в тепло с потенциалом, достаточным для отопления. Но при этом вследствие меньшей температуры теплоносителя потери на пути к потребителю (пропорциональные разности температуры теплоносителя и окружающей среды) могут быть значительно уменьшены. Также будет уменьшен износ труб центрального

отопления, поскольку холодная вода обладает меньшей коррозионной активностью, чем горячая.

Концепция «умного дома»

В последние годы в обиход вошло понятие «умный дом». Под ним понимают жилой автоматизированный дом современного типа, организованный для удобства проживания людей при помощи высокотехнологичных устройств. «Умный дом» — это система, которая способна распознавать конкретные ситуации, происходящие в здании (например, изменения температуры, влажности, освещенности) и соответствующим образом на них реагировать, включая те или иные устройства, с целью доведения параметров жилья до требуемых значений. Основной принцип концепции «умного дома» — обеспечение комфорта проживания через энергосбережение.

Модульная структура «умного дома» позволяет создавать системы относительно невысокой стоимости. Они могут работать автоматически, поддерживая заданную температуру воздуха, управлять освещением, роллставнями в зависимости от времени суток или настроения человека, включать или отключать электроприборы, оповещать хозяина при возникновении любых ситуаций. Эксперты предсказывают, что в будущем все здания станут «интеллектуальными» и будут объединены между собой.

Помимо использования ИТ-платформ и особых устройств, автоматизирующих систему жизнеобеспечения, «умный дом» широко использует окружающую среду для получения электроэнергии. Одним из способов энергообеспечения дома является извлечение низкопотенциальной энергии и использование ее для выработки энергии в целях теплоснабжения.

Низкотемпературное тепло, в большом количестве содержащееся в окружающей дом среде (воздух, земля, озерная, речная и подземная вода и другие источники), может быть использовано с помощью тепловых насосов для отопления по-

мещений и нагрева воды, в других бытовых целях (рис. 32). Возможно применение и искусственных (вторичных) источников тепла: вентиляционного воздуха жилых помещений, отработанного воздуха или воды производственных технологических процессов, тепла отработанных газов при сжигании топлива и др.

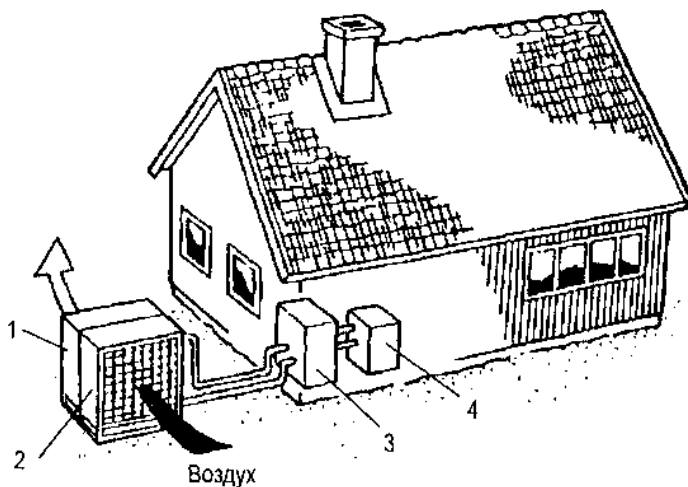


Рис. 32. *Схема системы с тепловым насосом, использующим тепло наружного воздуха: 1 — вентилятор; 2 — теплообменник; 3 — тепловой насос; 4 — нагреватель воды*

«Умный дом» в современном понимании — это интеграция систем отопления, вентиляции, кондиционирования, контроля доступа и прочего в единую интеллектуальную систему.

На сегодняшний день «умные дома» могут обеспечить до фсги экономии энергии. Это обусловлено тем, что тепловые насосы имеют существенно более высокую эффективность использования энергии по сравнению с любым традиционным методом обогрева. Так, котел, работающий на жидком топливе, позволяет использовать около 75—80% энергии, содержащейся в нем. Прямой электрический обогрев дает практически 100% в месте использования, но это дорого. Тепловой насос обычно позволяет получить в 3 раза больше энергии по сравнению с затраченной в месте использования для привода

компрессора. Отсюда видна экономическая привлекательность использования тепловых насосов в жилом «умном доме».

Тепловые насосы, использующие тепло внешнего воздуха

Воздух является источником тепла, на который не оказывают сметного влияния какие-либо местные условия (за исключением холодного времени года).

Тепловые насосы, использующие тепло внешнего воздуха, имеют существенно большие потенциальные возможности для применения в жилом секторе по сравнению с другими типами тепловых насосов, хотя из воздуха удастся извлечь несколько меньшее количество тепла, чем из большинства других источников низкопотенциального тепла.

В таком доме (рис. 32) испаритель теплового насоса устанавливается снаружи, а атмосферный воздух нагнетается вентилятором непосредственно в испаритель и отдает тепло хладагенту. Так как воздух имеет небольшую плотность тепловой энергии и низкую теплоемкость, его требуется прокачивать в больших количествах: зимой для обеспечения теплом дома средних размеров требуется около 3000 м³/ч.

Температура атмосферного воздуха меняется в течение года, соответственно, и производительность насоса уменьшается с ее понижением. Так, снижение температуры внешнего воздуха с 10 до 0°С приводит к увеличению потребности в обогреве помещений в индивидуальных домах почти на 100%. Следовательно, необходимо увеличивать объем прокачиваемого воздуха.

Вполне возможно извлекать тепло из воздуха даже при температуре его до — 20 °С, но при этом требуются значительные затраты энергии для привода компрессора, поэтому экономические показатели всего процесса оказываются весьма низкими. Обычно тепловые насосы, использующие тепло внешнего воздуха, отключаются, когда температура опускается ниже —10 °С. Тогда включается резервная отопительная система, предназначенная для покрытия пиковых нагрузок. В целях экономии энергии, подаваемой на привод компрессора, в ряде случаев

используют ветряные преобразователи.

Тепло, запасенное в атмосферном воздухе, можно использовать, для теплоснабжения не только индивидуальных, но и многоквартирных домов (рис. 33).

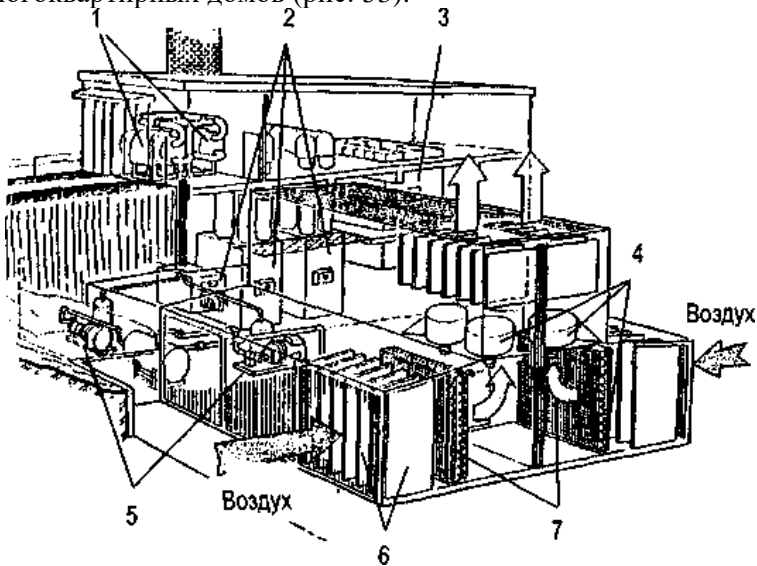


Рис. 33. *Схема установки для теплоснабжения многоквартирного дома (Стокгольм, Швеция): 1 — конденсаторы; 2 — бойлеры на нефти; 3 — электрическое оборудование; 4 — вентиляторы; 5 — компрессоры; 6 — шумоглушители; 7 — испарители*

Тепловые насосы, использующие тепло вентиляционного воздуха

Температура воздуха, выбрасываемого через вентиляционную систему жилых зданий с механическим приводом, составляет около 20°C , а объем может достигать десятков тысяч кубометров в час. Указанная температура мало изменяется в течение дня, что позволяет получить более высокий коэффициент преобразования тепла по сравнению с другими источниками низкопотенциального тепла.

Конфигурация системы зависит от места расположения теплового насоса в здании. Извлеченное тепло трансформируется в накопителе тепла, который, как правило, размещается в подвале. Тепловой насос может располагаться

либо в чердачном помещении (рядом с каналом вентиляционного выброса), либо рядом с водяным накопителем тепла в подвале. В этом случае конденсатор устанавливается в канале вентиляционного выброса и соединяется с испарителем теплового насоса через замкнутую систему (рис. 34).

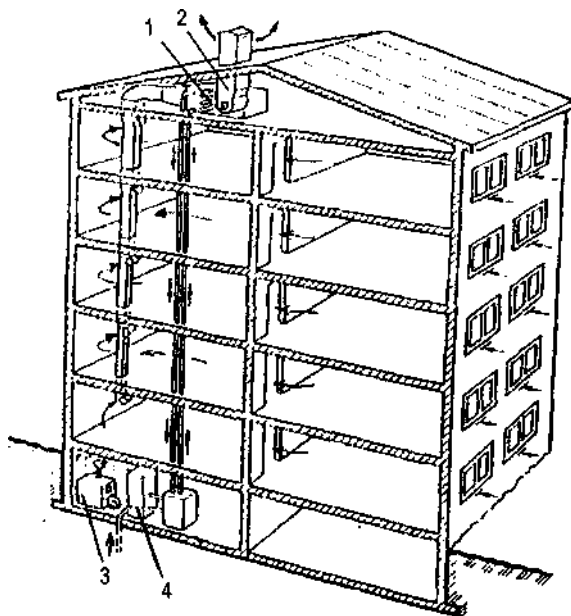


Рис. 34. *Схема системы с тепловым насосом, использующим тепло наружного воздуха: 1 — вентилятор; 2 — теплообменник; 3 — тепловой насос; 4 — нагреватель воды*

Сезонный коэффициент преобразования тепла в условиях Швеции составляет от 3 до 4, что определило относительно широкое применение тепловых насосов, использующих тепло вентиляционного воздуха, для горячего водоснабжения и отопления как многоквартирных, так и индивидуальных домов.

Использование тепла поверхностных слоев земли

Поверхностные слои земли являются относительно стабильными аккумуляторами солнечного тепла,

накопленного в летний период, и поэтому представляют собой огромный источник низкопотенциального тепла, которое может быть использовано даже зимой. В летний период солнечное тепло проникает в землю на глубину 3 м, и температура там достигает 10°C и более. При этом температура грунта достигает максимума в конце лета и обычно заметно превышает температуру воздуха в период с сентября по март.

Пригодность для теплоснабжения зависит от типа грунта и содержания в нем воды (позитивный фактор). Стандартные системы способны обеспечивать в среднем $30\text{--}40$ кВт ч энергии с 1 м^2 в течение года. Максимальная теплоотдача фунта составляет $50\text{--}70$ кВт ч/ м^2 в год.

Коллектор тепла представляет собой пластиковый трубопровод в форме решетки, размещенной в земле на глубине $0,6\text{--}1,5$ м (рис. 35).

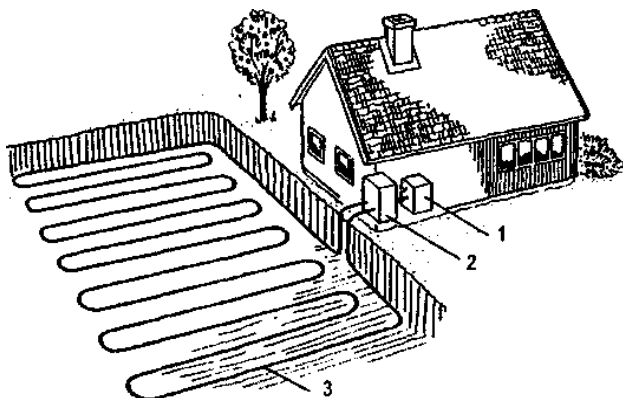


Рис. 35. Система отопления индивидуального дома от тепла грунта:

1 — воздухонагреватель; 2 — тепловой насос; 3 — пластиковая труба

Возможны два варианта расположения труб: укладка металлопластиковых труб в траншеи либо в вертикальные скважины глубиной $20\text{--}100$ м. Иногда трубы укладывают в виде спиралей в траншеи глубиной $2\text{--}4$ м, что существенно уменьшает общую длину траншей.

Тепловое поле состоит из труб диаметром около 40 мм, равномерно уложенных в фонт с шагом $0,75\text{--}0,9$ м. Съем тепла с каждого метра трубы зависит от многих параметров:

глубины укладки, наличия фунтовых вод, качества фунта и т.д. Ориентировочно можно считать, что для горизонтальных коллекторов в зависимости от типа фунта теплосъем с 1 м трубы составляет: сухой песок — 10 Вт/м; сухая глина — 20 Вт/м; влажная глина — 25 Вт/м; глина с большим содержанием воды — 35 Вт/м. Для горизонтальных коллекторов съем тепла составляет в среднем 20 Вт на 1 метр трубы, а для вертикальных — 50 Вт на 1 м скважины (зонда), т.е. для обогрева дома с потребностью в тепле 10 кВт (коттедж площадью 200 м²) необходимы две скважины (глубиной по 100 м либо поверхностный коллектор с суммарной длиной труб 500 м, заглубленных на площади около 400 м²).

Длина одной траншеи составляет обычно от 30 до 120 м. В качестве рабочего тела (теплоносителя) первичного контура рекомендуется использовать 25-процентный раствор гликоля. В расчете следует учесть, что его теплоемкость при температуре 0°С составляет 3,7 кДж/(кг·К), плотность — 1,05 г/см³. При использовании антифриза потери давления в трубах в 1,5 раза больше, чем при циркуляции воды.

На участке над коллектором не следует возводить строения, чтобы тепло земли пополнялось за счет солнечной радиации. Температура грунта в этом случае меняется в течение года, существенно зависит от температуры наружного воздуха и глубины промерзания в холодное время. Поэтому необходим тщательный расчет площади теплового поля, чтобы исключить критичное переохлаждение фунта.

Постоянная и относительно высокая температура поверхностных слоев земли позволяет подобрать тепловой насос, который способен обеспечить все энергетические потребности предварительно хорошо изолированного индивидуального дома. Несмотря на относительную дороговизну таких систем, они успешно применяются за рубежом в секторе коттеджей. Они могут использоваться для обогрева больших зданий, например школ, обладающих достаточной свободной площадью земли (например территории стадионов).

Использование тепла водоемов и водотоков

Применение водоемов и водотоков, например рек, позволяет использовать эффект естественного сезонного накопления в них летнего тепла. Как известно, температура верхних слоев воды в озере может часто превышать $+20^{\circ}\text{C}$. В зимний период, после формирования льда, наивысшей температурой обладает вода близ дна. При этом донные отложения также обладают большим количеством низкотемпературного тепла при температурах от 6 до 9°C . Учитывая, что температура воды в указанных водоемах относительно стабильна и медленно понижается к точке замерзания в холодную часть года, можно создать тепловой насос с приемлемыми экономическими показателями для отопления и теплоснабжения дома в течение всего года.

Для сбора тепла речной или озерной воды используют пластиковые трубы диаметром 40 мм, которые спирально укладываются на дно и притапливаются специальными грузами. Обычно используются два типа коллекторов. Тепло может извлекаться с помощью замкнутой трубопроводной системы, размещенной на дне озера либо погруженной в осадочные слои. Тепло дна и воды близ дна поглощается раствором гликоля либо солевым раствором, циркулирующим в трубопроводной системе и отдающим тепло в испарители теплонасосных установок. Коллектор также может быть размещен как открытая система с закачкой озерной воды непосредственно в испаритель насоса. После охлаждения вода сбрасывается в озеро достаточно далеко от места забора теплой воды во избежание рециркуляции.

Ориентировочно можно считать, что для водяных коллекторов в зависимости от типа водоема и скорости течения воды теплосъем с 1 м трубы составляет 35—50 Вт/м. Температура воды при этом не опускается ниже 5°C в холодное время, что позволяет обеспечивать эффективный теплосъем в течение всего года. Согласно расчетам вполне возможно отбирать тепло, например, из озерной воды в количестве около 10—15 кВт ч/м² поверхности водоема в год без риска последствий для гидробионтов. Это значит, что каждый квадратный километр поверхности водоема может обеспечить теплом до 1000 индивидуальных домов среднего размера [31].

В Швеции, наиболее широко применяющей низкотемпери-

альное тепло водоемов, тепловые насосы на озерной воде варьируются по мощности от небольших для индивидуальных домов до групповых отопительных установок мощностью около 7 МВт. В установках этого типа тепловой насос дает 2,1 МВт, а остальная мощность в период пиковых нагрузок обеспечивается бойлерами на жидком топливе. В новых индивидуальных домах тепловой насос может покрывать всю потребность в тепле, включая и пиковые нагрузки; в существующих домах обычно обеспечивается до 75% потребности в тепле, а пиковые нагрузки покрываются уже существующими традиционными отопителями. Для многоквартирных домов потребности в тепле за счет теплового насоса обеспечиваются на 70—80%, тогда как в групповых отопительных установках — лишь на 60% годовой потребности в тепле.

Перспективы использования поверхностных вод в качестве источника тепла ограничены, с технической точки зрения, расстоянием между источником и местом его использования. Как правило, крупная установка с выходной мощностью около 10 МВт может быть размещена на расстоянии до 10 км от озера или другого крупного источника воды, в то время как при мощности до 1 МВт экономически приемлемое расстояние снижается по 1 км. В соответствующих расчетах предусматривалось, что общее количество тепла, имеющегося у этого источника низкопотенциальной энергии, в Швеции, составляет 10 млрд кВт*ч/год.

Использование тепла подземных вод

Известно, что температура подземных вод обычно является постоянной на глубине до 20 м, хотя и существует значительная разница в температурах в северной и южной частях страны. Поэтому, как подтверждает зарубежный опыт, подземные воды могут с большой эффективностью использоваться в качестве источника тепла для индивидуальных домов, многоквартирных зданий и групповых котельных мощностью до 1 МВт (рис. 36).



Рис. 36. Система для индивидуального здания с тепловым насосом, использующим тепло подземных вод: 1 — водонагреватель; 2 — тепловой насос; 3 — колодец; 4 — насос, работающий под водой; 5 — дренаж

Для извлечения тепла из подземных вод используются обычные методы бурения скважин диаметром 10—20 см, глубиной 50—150 м. Как и при использовании озерной воды, применяются два существенно различных принципа сбора тепла. В одном случае замкнутая трубопроводная система опускается в скважину. В таком коллекторе циркулирует теплоноситель, который извлекает тепло из подземной воды и переносит его в испаритель теплового насоса. Охлажденный раствор-теплоноситель затем закачивается обратно через систему скважин. Для небольшого теплового насоса мощностью около 10 кВт, который может использоваться для индивидуальных домов, требуется около 2 м³/ч подземной воды (в зависимости от температуры).

В другом варианте подземная вода закачивается непосредственно в испаритель и после охлаждения сбрасывается в специальную скважину, достаточно отдаленную от места забора, чтобы исключить охлаждение источника подземной воды.

Считается, что тепловые насосы, использующие подземные воды, имеют большие потенциальные возможности по сравнению с системами, функционирующими на тепле поверхностных слоев земли. Это связано с тем, что применение последних ограничено наличием подходящих участков земли с необходимыми характеристиками, тогда как использование подземной воды в качестве источника тепла определяется лишь их наличием с надлежащими параметрами в приемлемой близости от потребителя. Однако при этом следует исключить возможность нарушения экологического

баланса подземной воды, что может быть, если она имеется в недостаточно большом объеме и в то же время используется в целях водоснабжения населения.

Подобные расчеты были произведены в Швеции. В этой стране, как оказалось, количества тепла, которое может быть извлечено из подземных вод без ущерба для водоснабжения, достаточно, чтобы обеспечить годовую потребность в отоплении 184 тыс. индивидуальных домов или около 9% жилого фонда многоквартирных домов.

Следует принимать во внимание и такой экономический ограничитель: возможности использования тепловых насосов на подземных водах ограничены территориями, где температура таких вод на глубине 10 м не ниже +4,5 °С.

Использование тепла сточных вод

Сточные воды при температуре около +20 °С летом и редко менее +8 °С зимой имеются, как правило, во всех городских поселениях.

В очищенном либо необработанном виде они могут быть использованы как источник низкопотенциального тепла. Неочищенные сточные воды обычно имеют большую температуру, и поэтому могут сократить расстояние между тепловым насосом и местом их использования, но их применение часто приводит к засорению трубопроводов и блокированию теплообменных поверхностей.

Тепловые насосы, предназначенные для извлечения тепла, целесообразно размещать вблизи городских очистных сооружений либо в больших зданиях, например, больницах, где имеется большое количество относительно чистых сточных вод. Подобные относительно крупные отопительные системы используются в ряде городов Швеции для систем центрального отопления. В Упсале, например, существует система с тремя тепловыми насосами, каждый установленной мощностью 13 МВт, для обеспечения теплом городской системы теплоснабжения.

Сезонный коэффициент преобразования тепла таких установок весьма высок (2,5—3,5), и соответствующие экономические показатели хорошие. Они могут быть установлены на станциях по обработке сточных вод.

Подсчитано, что в условиях Швеции извлечение тепла из сточных вод дало бы экономию около 700— 800 тыс. м³ нефти в год.

Закрепим изученное!

1. Низкопотенциальная энергия Земли – это тепло грунта, грунтовых вод и поверхностных водоемов, аккумулированная в поверхностных слоях земной коры. Низкопотенциальную энергию используют с помощью тепловой насосной установки (ТНУ).

ТНУ – это собственно «холодильник наоборот», в котором заложена идея использования обратного термодинамического цикла, превращающего работу в теплоту. Затраченная работа позволяет использовать теплоту тела с низкой температурой для нагрева тела с более высокой температурой. Эту идею в 1852 году предложил использовать В. Томсон (лорд Кельвин) для отопления зданий.

Термодинамический цикл ТНУ идентичны циклу холодильной машине. Разница заключается только в том, что цикл ТНУ несколько сдвинут вверх по шкале температур.

Качество обратного цикла оценивается коэффициентом преобразования (коэффициентом теплопроизводительности, коэффициентом отопления, множителем тепла):

$$\varphi = \frac{q_2 + |l_{\text{ц}}|}{|l_{\text{ц}}|} = \frac{|q_1|}{|l_{\text{ц}}|} = \varepsilon + 1.$$

Здесь q_2 – теплота, отнятая от холодного источника; $l_{\text{ц}}$ – работа, затраченная на совершение обратного цикла; q_1 – теплота, переданная горячему источнику; ε – холодильный коэффициент.

Нетрудно заметить, что $\varphi > 1$.

2. В тепловом насосе главным (в отличие от холодильника) становится теплообменник, с которого тепло «снимается» и используется для обогрева помещения, а «морозилка» становится второстепенным агрегатом и размещается для аккумулирования низкопотенциального тепла,

т.е. в грунте, водоеме, иными словами размещается за пределами обогреваемого здания.

На сегодняшний день используются тепловые насосы с разовыми компрессорами, работающими на хладагоне. Для поддержания высокого давления и циркуляции в системе с помощью компрессора, последний подключают к электричеству. При этом на каждый затраченный кВт·ч электроэнергии современный тепловой насос вырабатывает 4–5 кВт·ч тепловой энергии. Следовательно, ТНУ энергетически выгоден, т.к. тепловой энергии получается в 4–5 раз больше, чем затрачиваемой электрической энергии. По этой причине тепловой насос должен широко использоваться.

3. Широкое распространение тепловых насосов в настоящее время в Беларуси не представляется возможным. Во-первых, в городах используется удобное и высокоэкономичное централизованное теплоснабжение. Во-вторых, довольно высоки первоначальные затраты: стоимость ТНУ и монтаж системы. В-третьих, сильно отличаются тарифы на тепловую и электрическую энергию. Получение тепловой энергии всегда было дешевле электричества. В Беларуси на сегодняшний день для населения, пользующегося услугами ЖКХ, тариф 1 кВт·ч тепловой энергии в – раз дешевле тарифа 1 кВт·ч электрической энергии (в схеме ТНУ обязательно есть электродвигатель для работы компрессора).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ИЛИ КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Кто не любит хлопот, должен
научиться просто и убого жить.

Гр. Скворода, украинский философ

1. В общем энергопотреблении на долю традиционного углеводородного топлива (уголь, продукты нефтепереработки, природный газ) приходится в настоящее время около 87%. При этом на долю атомных электростанций приходится 4.8%, гидроэлектростанции вырабатывают 6,5%, доля возобновляемой энергетики (солнце, ветер, биотопливо и т.д.) составляет менее 2%. Это объясняется тем, что горючие ископаемые удобнее и дешевле в использовании.

Однако традиционное ископаемое топливо: уголь, нефть и природный газ – является невозобновляемыми энергоресурсами, поскольку начало их образования было положено десятки миллионов лет тому назад. Кроме того, эти виды топлива несут серьезную угрозу окружающей среде и могут затормозить прогресс («зеленой») энергетики.

2. Не нужно недооценивать живучесть и приспособляемость «старых» энергоресурсов (уголь, нефть, природный газ) и уже существующих первичных тепловых двигателей, в частности тех, которые зарекомендовали себя на протяжении более столетия: паровых и газотурбинных установок и двигателей внутреннего сгорания. Модернизация последних существенно повысило их топливную экономичность и снизило токсичность.

3. Согласно последним оценкам состояния мировых ресурсов нефти в ближайшее время будет добыто из уже известных и разработанных месторождений соответственно 690 млрд баррелей (110 млн м³) и 730 млрд баррелей (116 млн м³) нефти за счет инновационных технологий добычи.

4. В настоящее время (начало XXI века) природные углеводороды (нефть и газ) стали получать из нетрадиционных нефтегазовых ресурсов (битуминозных песков и горючих сланцев). Высказываются прогнозы, что добыча нефти и газа из нетрадиционных источников будет значительной (превысит объемы добычи в Венесуэле и Объединенных Арабских Эмиратах). Однако сложность состоит в том, что известные сейчас технологии требуют больших объемов пресной воды при

добыче нефти из битумных песков, могут нанести серьезный ущерб для окружающей среды при добыче сланцевого газа (запрещена во Франции, Германии, Нидерландов, Болгарии и ряде других штатов США), сопровождаются значительными энергетическими и физическими затратами при добыче.

5. Ядерная энергия значительно используется в мировой энергетике. На АЭС вырабатывается в настоящее время около 5% всей производимой электроэнергии. Подавляющее большинство АЭС имеют реакторы на тепловых нейтронах. Ядерное топливо, которое используется в реакторах, состоит из природного урана-236 со степенью обогащения 2-4% ураном-235 (последний получают из природного урана на специальных обогатительных заводах). В реакторной системе современных АЭС используется всего около 1% потенциальной энергии урана. АЭС в настоящее время имеют меньший КПД, чем тепловые (традиционные) электростанции. Но колоссальное энергосодержание ресурсов урана обуславливает незначительность роли топливных затрат в общей стоимости производства энергии. Электроэнергия, производимая на АЭС, дешевле на 10% электроэнергии, вырабатываемой на тепловых электростанциях. Однако капитальные затраты, необходимые для строительства АЭС, значительно выше затрат на строительство ТЭС на органическом топливе ввиду их большой сложности, а также вследствие большой продолжительности строительства.

После аварии на Чернобыльской АЭС (1986 год) для значительной части человечества стала характерно ядерная фобия, часто превалируя над здравым смыслом. Со временем эта боязнь начала уменьшаться и стали возобладать экономические и даже экологические аспекты производства электроэнергии на АЭС. При работе АЭС нет сгорания углеводородного топлива, следовательно, не потребляется кислород, так нужный для жизни всего живого, не выбрасываются токсичные продукты окисления, в том числе ведущие к потеплению климата (парниковому эффекту).

Однако в результате производства электроэнергии на АЭС ежегодно образуются радиоактивные отходы, которые получаются при реакции деления ядерного топлива. Эти радиоактивные отходы могут захораниваться, а могут

перерабатываться на специальных заводах. Но в последнее время радиоактивные отходы не перерабатывают, чтобы предотвратить попытки хищений террористами полученного на заводе чистого радиоактивного вещества.

6. Биомасса, солнечная энергия, ветер, гидроэнергия – это возобновляемые источники энергии (ВИЭ), и эти ресурсы не требуют какого-то длительного времени для их получения (напомним, что для образования угля, нефти, природного газа требуются десятки миллионов лет). Кроме того, эти ВИЭ (кроме биомассы) для получения полезной энергии не требуют процесса горения. Следовательно, нет продуктов сгорания, которые загрязняют воздух, оказывая отрицательное воздействие на человека и другие живые организмы, а также всевозможные творения природы и человека. Кроме того, нет горения, а значит нет выделения парниковых газов в атмосферу, что приводит к потеплению климата на всей планете. Таким образом, широкое использование ВИЭ может быть для обеспечения энергетической независимости определенной стороны.

Однако применение ВИЭ связано с рядом проблем, затрудняющих их широкое использование.

Во-первых, крайне неравномерное распределение солнечной энергии, ветров и движения ветров (это непосредственно ощущается человеком) на территории нашей планеты. Солнечных дней больше наблюдается в южных широтах и пустынных районах, ветры дуют на морских побережьях и в горной местности, наибольшей гидроэнергией обладают горные и полноводные равнинные реки.

Во-вторых, большая нестабильность ВИЭ. Пасмурная погода снижает мощность падающего солнечного излучения, а ночью вообще нет солнечной энергии. Ветер довольно часто меняет свое направление и скорость. Гидроэнергия тоже зависит от погодных условий.

В-третьих, централизация крупных потоков и использование ВИЭ – плохо совмещаются. Но для современного мира характерно наличие именно больших потребителей энергии: крупные города и мощные производства. Поэтому в масштабах мировой экономики ВИЭ не способны заменить традиционную энергетику, основанную на невозобновляемых энергоресурсах.

В то же время, применение ВИЭ в энергетике уменьшает нагрузку на энергопроизводства. Поэтому, использовать ВИЭ следует как дополнительные к традиционным невозобновляемым энергоресурсам.

7. Нельзя относиться некритически к не доказавшим свою энергоэффективность новым энергетическим технологиям. Принятие желаемого за действительное, чрезмерного энтузиазма и веры в эффективность новых, казалось бы превосходных, решений недостаточно, чтобы изменить фундаментальную природу процесса перехода от одной энергетической модели к другой. Введение инновацией почти всегда связано с развитием соответствующей инфраструктуры, что требует больших капиталовложений, кроме того, она неизбежно сталкивается с экологическими, правовыми и организационными трудностями, а также иррациональным восприятием возможных рисков.

Переход от одной энергетической модели развития к другой – очень продолжительный процесс, который длится десятилетия. Все что мы можем сделать, - это усердно работать, что всегда требует осуществления многочисленных поправок и корректировок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Более чем достаточно? Оптимистический взгляд на будущее энергетики мира / Под ред. Р. Кларка: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 216 с.
- 2 Смиль В. Энергетика: мифы и реальность. Научный подход к анализу мировой энергетической политики. – М.: АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2012. – 272 с.
- 3 Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики: учебник / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: КНОРУС, 2013. – 352 с.
- 4 Энергосбережение на железнодорожном транспорте: учебник для вузов / В.А. Гапанович, В.Д. Авилов, Б.А. Жанников [и др.]; под ред. В.А. Гапановича. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 620 с.
- 5 Теплотехника: учеб.-метод. Пособие для студентов-заочников направления «Тепловозы» специальности «Тяговый состав железнодорожного транспорта» / В.М. Овчинников, В.В. Скрежендевский, Ю.Г. Самодум; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2010. – 125 с.
- 6 Циклы теплосиловых установок и энергоэффективность: учеб.-метод. пособие для студентов-заочников технических специальностей / В.М. Овчинников, М.И. Пастухов, В.В. Скрежендевский; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2013. – 116 с.
- 7 Нефть и газ: технология и продукты переработки / В.Е. Агабеков, В.И. Косяков. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 459 с.
- 8 Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / под ред. В.В. Денисова. – Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 382 с.
- 9 Атомная электростанция: преимущества и перспективы / А.И. Зарецкий. – Минск: Беларусь, 2013. – 119 с.
- 10 Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. – СПб.: Наука и Техника, 2014. – 320 с.
- 11 Вавилов А.В. Топливо из нетрадиционных энергоресурсов / А.В. Вавилов. – Минск: СтройМедиаПроект, 2014. – 88 с.
- 12 Лисиенко В.Г. Совершенствование и повышение эффективности энерготехнологий и производств (интегрированный энерго-экологический анализ: теория и практика): В 2 томах. Том 1. – М.: Теплотехник, 2008. – 688 с.