

ВВЕДЕНИЕ

Никакая деятельность невозможна без использования энергии. Производительность — и, в конечном счете, прибыль — в значительной степени зависит от стабильности подачи энергии. Наличие энергии — одно из необходимых условий для решения практически любой задачи.

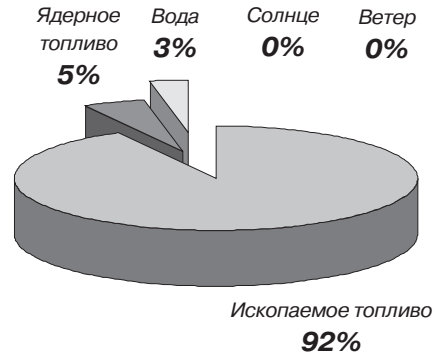
Получением, а правильное сказать, преобразованием энергии лучшие умы человечества занимаются не одну сотню лет. Производство энергии предполагает ее получение в виде удобном для использования, а само получение — только преобразование из одного вида в другой.

В предлагаемой книге ставилась цель представить сегодняшнее техническое состояние энергетики как отрасли и ассортимент источников и устройств преобразования электрической энергии, доступных для практического использования, от производителей присутствующих на нашем рынке. В приводимых примерах использован опыт разработок реальных проектов отечественных и зарубежных фирм (см. стр. 106).

Из всех отраслей хозяйственной деятельности человека энергетика оказывает самое большое влияние на нашу жизнь. Просчеты в этой области имеют серьезные последствия. Тепло и свет в домах, транспортные потоки и работа промышленности — все это требует затрат энергии.

Основой энергетики сегодняшнего дня являются топливные запасы угля, нефти и газа, которые удовлетворяют примерно девяносто процентов энергетических потребностей человечества (гл. 1).

Одной из важных проблем в энергетике, кроме получения энергии, является обеспечение возможностей ее хранения и транспортирования. Химические источники тока, известные более 100 лет, позволяют вырабатывать, хранить и преобразовывать энергию. Они являются неизменными спутниками любых автономных источников энергии (гл. 2).



Использование источников энергии

Наиболее универсальная форма энергии — электричество. Оно вырабатывается на электростанциях и распределяется между потребителями посредством электрических сетей коммунальными службами. Прекращение подачи электроэнергии парализует все виды деятельности. Для того чтобы этого не произошло — используются системы бесперебойного электропитания и автономные источники энергии (гл. 3 и 4).

Потребности в энергии продолжают постоянно расти. Наша цивилизация динамична. Любое развитие требует, прежде всего, энергетических затрат и при существующих формах национальных экономик многих государств можно ожидать возникновения серьезных энергетических проблем. Более того, в некоторых странах они уже существуют.

Даже если энергетического кризиса удастся избежать, мир, рано или поздно, неизбежно столкнется с тем, что основные виды традиционного топлива будут исчерпаны. Запасы нефти, газа, угля не бесконечны. Чем больше мы используем эти виды энергетического сырья, тем меньше их остается и тем дороже с каждым днем они нам обходятся.

Несмотря на то, что количество разведанных запасов некоторых энергетических ресурсов, например, нефти, возрастает, перед человечеством уже сегодня встает задача освоения неисчерпаемых источников энергии.

В течение следующего века начнется переход к другим источникам энергии, после чего человечество прочно встанет на путь создания неисчерпаемой системы снабжения энергией.

Поскольку, еще можно выбирать между различными источниками энергии решающее значение для выбора имеет стоимость энергии. В отличие от нефти сегодня в мире не существует каких-то единых цен на уголь. Его стоимость колеблется в зависимости от содержания тех или иных компонентов, возможности использования для определенных целей, условий транспортировки и т.д.

Что касается ядерной энергии, то здесь ситуация парадоксальна. Можно утверждать, что атомная энергетика возникла слишком рано и одновременно слишком поздно.

Если мы говорим «рано», то это означает, что ее использование еще не стало насущно необходимым, так как сегодня и в ближайшие десятилетия еще есть возможность пользоваться нефтью и газом. Во втором случае речь идет о том, что использование возможностей атомной энергетики не внесло существенного вклада в энергетику [1].

До настоящего времени работы по управляемому термоядерному синтезу не вышли из экспериментальной стадии. Поэтому на этот вид безграничных энергетических ресурсов пока рассчитывать не приходится.

Земля каждый день получает от Солнца в тысячу раз больше энергии, чем ее вырабатывается всеми электростанциями мира. Задача здесь состоит в том, чтобы научиться практически использовать хотя бы ее небольшое количество (гл. 4). Нельзя утверждать, что широкомасштабное использование солнечной энергии не будет иметь никаких последствий для окружающей среды, но все же они будут несравненно меньшими, чем в традиционной энергетике.

ЭНЕРГЕТИКА ВЧЕРА И СЕГОДНЯ

На протяжении почти 80 лет электроэнергетика развивалась и функционировала как общенациональная монополия. Каждая республика бывшего Союза являлась интегрированной частью единой энергетической системы (ЕЭС). В 1991 году начался процесс децентрализации и дезинтеграции ЕЭС и электроэнергетики. Начался процесс реформирования отрасли, что привело к снижению качества и росту цен на электроэнергию.

В эпоху угольной и мазутной энергетики необходимо было получать электричество и тепло на крупных станциях, а затем передавать их потребителям находящимся на расстоянии. Такие системы были оправданы — они возникли в те годы, когда основным источником энергии для страны был каменный уголь. Сжигать его трудно — нужна сложная техника для размола. Кроме того, следовало располагать станции подальше от жилья.

Затем появились электростанции и котельные на мазуте. Но мазут — это топливо доступное только для сжигания на крупных установках, причем, с обилием выделяемых токсичных газов в выбросах из дымовых труб.

Атомные электростанции наносят не меньший ущерб. Утилизация отработанного топлива ядерных реакторов и тепла, последствия радиоактивных выбросов и аварий — неполный перечень недостатков «мирного атома».

Зачастую мы не можем в абсолютных единицах выразить ущерб, который всегда наносит любая тепло- или электростанция. Выбор вариантов развития энергетики разумен только в том случае, если сравниваются не только положительные, но и отрицательные факторы.

В кипении политических страстей частный вопрос об энергоснабжении страны отодвинулся на второй план. Многие считают,

что этот вопрос их не касается. Но если представить реакцию населения замерзающего в темных квартирах — энергетика опередит даже продовольственный вопрос.

Лозунг «Долой атомные электростанции» используют деятели всех мастей. «Зеленые» его применяют в прямом смысле. Противостоящие им апологеты* нынешних гигантских электростанций тоже любят этот лозунг, как пример очевидной некомпетентности и недальновидности «зеленых»: «Посидят, дескать, в темноте — запоют иначе» [2].

Главные объекты дискуссий — тепловые, гидравлические и атомные электростанции. Каждая из этих «фабрик электричества» имеет серьезные недостатки из которых на первое место выдвигается наносимый ими экологический ущерб.

Для понимания «что такое хорошо и что такое плохо» в энергетике необходимы критерии учитывающие необходимость продолжения хозяйственной деятельности человека и, наряду с этим, минимизирующие ущерб наносимый окружающей среде.

Основной вклад в загрязнение атмосферы углекислым газом вносят ТЭЦ, ГРЭС и автомобили. Атомные электростанции не выбрасывают углекислый газ, а потому «парниковый эффект» стал главным аргументом сторонников атомной энергетики.

Достаточно большим энергетическим потенциалом обладают разведанные запасы газа. С экологической точки зрения у природного газа два недостатка: выбросы окислов азота и углекислого газа усиливающего парниковый эффект. При умелом сжигании газа, в парогазовых установках, окислов азота образуется немного (см. стр. 9), а выбросы углекислого газа примерно вдвое ниже, чем при использовании угля или нефти.

* Апологет — тот, кто выступает с защитой какой-либо идеи.

До того как мы научимся получать энергию в больших количествах из принципиально новых источников будут использоваться традиционные виды топлива. Поэтому разрабатываются новые месторождения и исследуются процессы, позволяющие эффективнее использовать энергию ископаемого топлива и уменьшить связанное с этим загрязнение окружающей среды.

В этой главе мы хотим показать, что нет оснований слепо верить тем, кто рисует наше будущее в мрачных тонах, кто постоянно твердит, что близится «конец света», что энергетический кризис и загрязнение окружающей среды в течение десятилетий угрожает человечеству.

Парниковый эффект

Опасность парникового эффекта человечество осознало сравнительно недавно [1]. Наряду с термическими процессами, происходящими внутри нашей планеты, большую часть энергии несет излучение солнца.

Температура излучающей поверхности Солнца около 6000°K . Падающая на Землю энергия переносится излучением с длиной волны от 0,2 до 2 мкм (кривая 1 на рис. 1.1). Излучаемая земной поверхностью, со средней температурой в 255°K , энергия распространяется в диапазоне длин волн от 2 до 100 мкм (кривая 2 на рис. 1.1).

Водяной пар атмосферы свободно пропускает прямое солнечное излучение и сравнительно слабо задерживает его отражение. Активное поглощение водой приходится на диапазон 4...7 мкм. На рис. 1.1 этот диапазон занимает узкий участок спектра (участок H_2O кривой 2). Углекислый газ (CO_2) поглощает излучение на частотах 13...19 мкм. Он задерживает отраженное тепло на участке кривой 2.

Таким образом, «углекислотное одеяло» повышает температуру планеты. Рост температуры коррелирует с ростом концентрации углекислого газа в атмосфере.

На рис. 1.2 показано изменение концентрации CO_2 , измеренное на Гавайских островах. Там нет промышленных центров, поэтому можно считать, что регистрировалась «общемировая» картина. Замеры за 25 лет показали, что с 1959 по 1984 год, количество углекислого газа в атмосфере возросло.

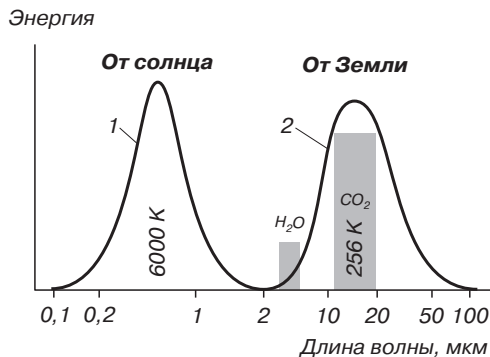


Рис. 1.1. Возникновение парникового эффекта

За десятилетие 1970...80 гг. повышение температуры земной поверхности составило $0,3^{\circ}\text{C}$. В последующие десятилетия прогнозировался рост температуры на несколько градусов. Реальное повышение температуры происходит несколько медленнее. Однако, в будущем потепление может стать причиной глобального экологического бедствия — привести к таянию полярных льдов, повышению уровня и затоплению прибрежных территорий мирового океана. По предварительным оценкам таяние полярных «шапок» Земли приведет к повышению уровня мирового океана на 6 метров.

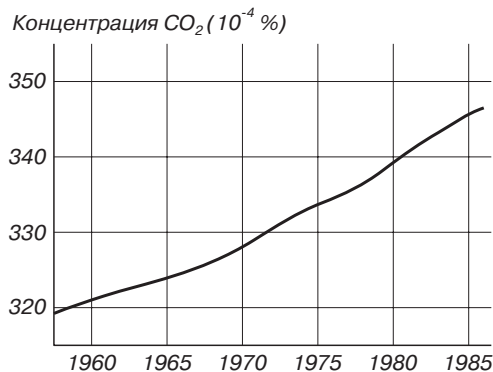


Рис. 1.2. Изменение концентрации углекислого газа в атмосфере Земли

Топливные ресурсы Земли

После нефтяного кризиса 1973...74 годов в развитых странах серьезно задумались об экономии природного топлива. С той поры начался интенсивный поиск энергосберегающих технологий – конструирование экономичных двигателей, электростанций и пр.

В результате потребности в топливе а, соответственно и цены на него, не только стабилизировались, но даже снизились. Изменились, став более оптимистичными, прогнозы относительно природных топливных запасов.

К примеру, прогнозы не учитывают гигантские резервы газовых гидратов*. Но даже если этот сырьевой источник не брать в расчет, то имеющихся ресурсов, при незначительном замещении нефти углем и газом, вполне достаточно, чтобы обеспечить уверенное энергетическое обеспечение человечества до конца следующего столетия. Так что в обозримом будущем природные ресурсы смогут успешно конкурировать как с еще только осваиваемым водородом, так и с синтетическими видами топлива. Цифры, приводимые на рис. 1.3, показывают в каком соотношении используется ископаемое топливо [3].

Имеющиеся в нашем распоряжении источники энергии мы используем в высшей степени нерационально. Человек вынужден неоднократно преобразовывать один вид энергии в другой пока окончательно ее не использует.

Каждое преобразование сопровождается потерями части энергии. На электростанциях из топлива получают тепловую энергию, используемую для производства пара. Пар, в свою очередь, приводит в движение турбины. Теперь уже механическая энергия, которая передается генераторам, преобразуется, в конечном счете, в электроэнергию. При использовании электронагревательных приборов полученная многократными преобразованиями и поэтому дорогая электрическая энергия превращается вновь в тепловую. В результате из всей получаемой энергии мы реально потребляем не более половины, остальная безвозвратно теряется.

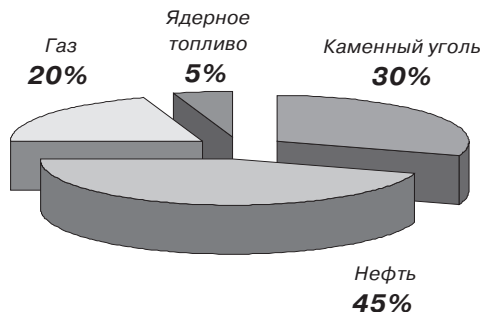


Рис. 1.3. Использование ископаемого топлива

Потери тепловой энергии на первой ступени не позволяют получить КПД выше 40%. Отработанное тепло попадает в водоемы и нарушает в них биологическое равновесие. Тепловые электростанции сжигающие уголь день и ночь выбрасывают в атмосферу тонны соединений углерода** и серы. Последние вступают в химическую реакцию с влагой, содержащейся в воздухе, образуя кислоты разъедающие сталь и мрамор и, что намного хуже, разрушающие наши легкие.

В сравнении с традиционными паротурбинными электростанциями, ТЭЦ и котельными более эффективна газовая микроэнергетика. Малые установки позволяют вырабатывать необходимое количество энергии в соответствии с текущими потребностями в непосредственной близости от потребителя. Они обладают высокой надежностью и малоинерционны. Стоимость оборудования на киловатт мощности вдвое ниже, чем на крупных ТЭЦ.

Важное преимущество газовой микроэнергетики – маневренность. Изменить электрический режим можно за секунды, тепловой режим – за минуты, вместо многих часов изменения режима в обычных тепловых сетях. Практическая нерегулируемость современных тепловых источников с длинными сетями приводит к перерасходу энергии: когда зимой потеплеет и мы открываем окна, выбрасывая избыток тепла на улицу.

Отметим еще одну деталь: за все потери в энергетике, в конечном счете, платит потребитель.

* Газовые гидраты – газы, связанные с водой в зонах вечной мерзлоты и на дне морей.

** Ежегодно в атмосферу выбрасывается около шести миллиардов тонн углерода [3].

Нефть – источник энергии и сырья

Долгое время нефть не находила применения как топливо и сырье. Только в начале XIX века из «земляного масла», как ее тогда называли, стали выделять очищенные продукты. Прежде всего, научились получать керосин и бензин. Керосин нашел применение сразу с появлением керосиновой лампы. Судьба бензина оказалась более сложной. На протяжении почти ста лет эта легковоспламеняющаяся жидкость была одним из опаснейших отходов нефти.

Бензина с каждым годом становилось все больше и от него все труднее было избавляться. К началу XX века вес уничтожаемого бензина исчислялся сотнями тысяч тонн в год. Объявлялись конкурсы – кто найдет лучший способ уничтожения отходов. Только изобретение двигателя внутреннего сгорания открыло реальную область применения бензина [4].

Нефть содержит до 50% мазута, который также не находил применения. В настоящее время из него изготавливают смазки и сжигают в специально разработанных топках котлов.

Месторождения нефти на материках, которые могут быть освоены отработанными методами, давно и хорошо известны. Их эксплуатация идет полным ходом.

На протяжении многих лет специально оборудованные суда, ведущие разведку нефти, тщательно исследуют морское дно. Геологи связывают свои надежды, прежде всего, с шельфом* – дном мелководных морей, омывающих все без исключения части света.

В морях, которые глубоко вдаются в материки, шельфовые зоны сравнительно велики, поскольку вокруг лежит суша. Берега в таких местах, как правило, омываются мелководьем.

Наиболее перспективное шельфовое море – Северное. Сейсмическое зондирование и контрольное бурение показало, что под его дном находятся несколько десятков нефтяных месторождений. Согласно оценкам, суммарные разведанные запасы нефти в Северном море достигают 1,5 млрд. т. Это в

семь раз превышает запасы нефти на Европейском континенте.

Специалисты полагают, что до сих пор разведана около 1/3 нефти. Кроме нефти под дном Северного моря обнаружено около 50 газоносных месторождений.

В связи с этим становится понятной дальновидность построения морских терминалов, например, в Одессе. Нефть нужно переработать. При этом получают не только топливо, но и сырье.

Газификация угля

Кроме непосредственного сжигания уголь может использоваться как сырье для получения синтетического газа. Первые опыты по газификации угля относятся к концу XVIII века. В 1782 году Ф. Фонтана сообщил о наблюдавшейся им реакции образования «горючего газа» при пропускании водяного пара через раскаленный уголь.

Опыты по получению газа для освещения проводились в Англии в начале XIX века. В 1831 г. Дж. Лоу предложил сжигать уголь в атмосфере воздуха, а затем газифицировать пропуская через него водяной пар. В 1840 г. был построен первый газогенератор. В 1854 г. – зарегистрирован первый патент на технологию газификации угля в промышленных масштабах.

Рост доли промышленного использования в энергетике нефти и природного газа сделал процессы газификации угля конкурентоспособными. Энергетические компании снова обратили на него внимание в период энергетического кризиса 1973...74 гг.

Производительные технологии разработаны в начале XX века. Известен метод газификации угольной пыли, предложенный Винклером, в начале 20-х годов. Фирма «Лугри» разработала технологию получения газа, обладающего высокой теплотворной способностью, с использованием кислорода и водяного пара под давлением.

С точки зрения экологии любые виды газификации угля только увеличивают вредные выбросы. При сжигании выбросы окислов серы и азота остаются велики даже при очень дорогостоящих очистных сооруже-

* Шельф [англ. shelf] – подводное продолжение материка, до глубины 200 м.

ях, а выбросы основного продукта сгорания – углекислого газа – неустранимы.

Если теплоэлектростанции наряду с уловителями золы и очисткой сточных вод оборудуются установками для серо- и азотоочистки, то они, безусловно, дорожают. Расчеты показывают, что энергия угольных ТЭЦ обойдется вдвое дороже газовых.

Таким образом, представляется, что для энергоснабжения экономичнее использовать природный газ.

Газовая микроэнергетика

Газ – наиболее эффективный вид топлива. Природный и попутный горючий газ состоит из углеводородов с примесью азота, углекислого газа, сероводорода и в небольших количествах аргона и гелия. В его состав входит 40...80% метана и пропана, 20...60% бутана, пентана и высших углеводородов, а тепловорная способность достигает 4,19 кДж/кг.

Газ как топливо создает единственную экологическую опасность – токсичные окислы азота в продуктах горения. В малых котлах их образуется в пять раз меньше (на единицу вырабатываемой энергии), чем в больших. Кроме того, существуют хорошо проверенные простые методы дальнейшего снижения окислов азота в выбросах путем подмешивания части дымовых газов к входящему воздуху, то есть с рециркуляцией или дожиганием.

Дожигатель монтируется на любую горелку и обеспечивает медленное, с многократной рециркуляцией, вихревое движение горящих газов дающее полное сгорание – без сажи и при минимальных количествах окислов азота. Этот метод используется при сжигании не только природного газа, но и отработанного машинного масла из автомобильных двигателей или резиновых отходов и старых шин.

Малые энергоустановки на базе двигателей внутреннего сгорания на газовом топливе (или газовых турбин), турбогенератора и котла-утилизатора для комбинированной выработки электроэнергии и тепла представляются реальной основой газовой энергетики. В тех случаях, когда необходимо только тепло (отопление, горячая вода), достаточно установить на чердаке здания небольшой полностью автоматизированный водогрейный котел.

Газовые трубы вместо тепломагистралей

Плотность потока энергии в газовой трубе, даже при невысоком давлении, в сто раз выше, чем в трубе с горячей водой. Уложенные до войны газовые трубы служат до сих пор. В то же время тепловые сети с водой, нагретой до 100...180°C, приходится менять каждые пять-десять лет из-за неустранимой коррозии металла в горячей и влажной среде. Поэтому одну и ту же энергию можно передать в газовой трубе десятикратно меньшего диаметра, кроме того, газовые сети многократно долговечнее.

Вместо тепловых магистралей диаметром около метра, которые хорошо знакомы жителям городов, газовая труба диаметром 100 миллиметров может быть проведена всюду практически без «травм» для окружающих сооружений.

Малые современные водогрейные котлы с полной конденсацией дымовых газов имеют КПД не ниже 90%. При нагреве воды для горячего водоснабжения от 10 до 100°C температура уходящих газов составляет всего 20...30°C. Рециркуляцией дымовых газов выбросы окислов азота снижаются до 30 частиц на миллион. Это лучше, чем при любых способах очистки, применяемых на больших электростанциях. Котлы полностью автоматизированы, они не требуют обслуживания кроме периодического осмотра.

На графике рис. 1.4 отражены результаты эксплуатации такого котла тепловой мощностью 300 кВт. Как видно из графиков, даже в

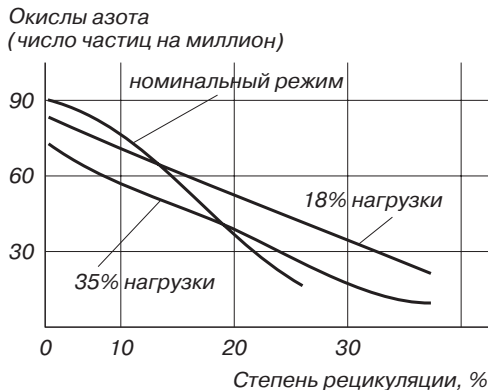


Рис. 1.4. Зависимость концентрации окислов азота от степени рециркуляции

трудном режиме малой нагрузки (20% от номинальной) достаточно рециркулировать 25% газов, чтобы добиться малых выбросов.

При такой же единичной мощности – сотни киловатт можно решать и задачу снабжения электроэнергией. Здесь хорошим примером служат дизель-генераторы, поставляемые фирмой ABZ Aggregate-Bau GmbH (см. гл. 4.1). Дизельный двигатель на природном газе вращает синхронный генератор, дающий электроэнергию. Тепло охлаждения двигателя и выхлопных газов используется для отопления и горячего водоснабжения. Низкий уровень шума и малые выбросы окислов азота и других вредных газов приемлемы даже для условий города с особо высоким уровнем требований.

В жилых домах подобные агрегаты размещаются на верхнем этаже либо в подвале. Их возможный шум или вибрация меньше, чем от лифтовой машины или водяных насосов. Запуск и остановка проводятся автоматикой в соответствии с реальной нагрузкой. Никакой проблемы маневренности не возникает. При неисправности агрегата его не ремонтируют, а заменяют, привозя новый двигатель или генератор.

Эффективность малой энергетики по расходу топлива, несомненно, выше, чем при традиционном централизованном теплоснабжении от паротурбинных ТЭЦ. Дизельные двигатели имеют КПД около 42%, тогда как паротурбинные установки, даже самые совершенные – не выше 39%. К тому же при доставке преобразованной энергии потребителю в тепловых сетях теряется в среднем не менее 10% энергии, тогда как в газовой таких потерь нет совсем.

Газ – соперник бензина

Повсеместный рост количества автомобилей потребовал значительного увеличения объемов производства бензина. В качестве замены жидкого топлива для двигателей внутреннего сгорания широко используется природный газ.

Когда в тридцатые годы прошлого века англичанин Барнетт получил патент на газовый двигатель, а в 1860 году француз Э. Ленуар построил мотор, работающий на смеси воздуха и газа, никого такой выбор горючего не удивил – бензина еще не было.

Впервые бензин в качестве горючего был использован лишь спустя два десятилетия, когда Г. Даймлер создал бензиновый двигатель внутреннего сгорания. Бензиновый мотор заменил лошадь в первых «самодвижущихся колясках» – автомобилях, создателями которых стали Карл Бенц и Готтлиб Даймлер.

О газе как о возможном моторном топливе надолго забыли. Лишь через 100 лет после Барнетта, в конце тридцатых годов нашего столетия, возродилась мысль о его использовании. Тогда появились первые газогенераторные автомобили. Газ вырабатывался в топке, а оттуда подавался в двигатель.

Октановое число 105?

Исследования опровергли устоявшееся мнение, что использование газа вместо бензина – вынужденная мера. Газовое топливо сгорает полнее, поэтому концентрация окиси углерода в выхлопе газового двигателя в несколько раз меньше.

Автомобиль на бензине выбрасывает в атмосферу сернистый газ, который образуется от сгорания сернистых компонентов топлива, и тетраэтилсвинец. В природном газе серы, как правило, нет, а поэтому в выхлопах газового двигателя нет ни сернистого газа, ни соединений свинца.

В отработанных газах бензинового двигателя из-за неполного сгорания топлива содержится и окись углерода (СО) – токсичное для человека вещество.

И газовые, и бензиновые автомобили выбрасывают в атмосферу одинаковое количество углеводородов. Для здоровья человека опасны не сами углеводороды, а продукты их окисления. Двигатель, работающий на бензине, выбрасывает сравнительно легко окисляющиеся вещества – этил и этилен, а газовый двигатель – метан, который из всех предельных углеводородов наиболее устойчив к окислению. Поэтому углеводородный выброс газового автомобиля менее опасен (см. рис. 1.5).

Газ как моторное топливо не только не уступает бензину, но и превосходит его по своим свойствам.

Двигатель внутреннего сгорания автомобиля работает по классическому четырехтактному циклу. Газообразная смесь воздуха и топлива всасывается в цилиндр двигателя, сжима-

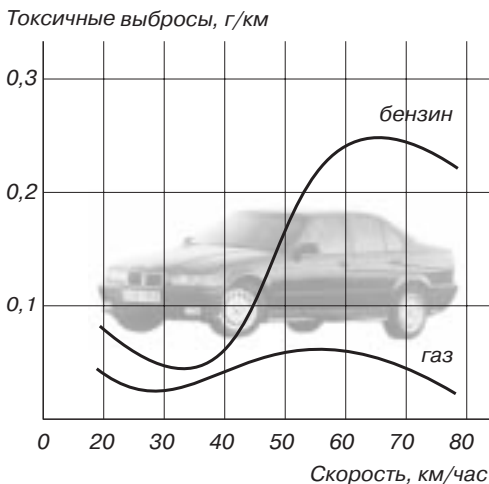


Рис. 1.5. Токсичность выхлопа бензиновых и газовых автомобилей

ется поршнем, воспламеняется искрой, давит на поршень и двигает шатунный механизм, а затем выбрасывается из цилиндра.

Чем сильнее можно сжать топливо без возникновения детонации*, тем больше мощность двигателя. Антидетонационную способность топлива определяют октановым числом. Чем оно выше, тем лучше топливо. Среднее октановое число природного газа — 105 — недостижимо для любых марок бензина.

Двигатель внутреннего сгорания работает на смеси воздуха и распыленного топлива. Для воспламенения смеси нужна определенная концентрация топлива. Газ, в сравнении с бензином, горит при меньших концентрациях, т.е. при более «бедных» смесях. В случае повышения концентрации газа и обогащения смеси можно добиться увеличения мощности двигателя. Обедняя смесь, наоборот, можно понизить мощность. Возникает возможность изменением состава смеси регулировать мощность двигателя: газ как топливо значительно «послушнее» бензина.

Эксплуатация показала, что автомобили на газе более выносливы — в полтора-два раза дольше работают без ремонта. При сгорании газа образуется меньше твердых час-

тиц и золы, вызывающих повышенный износ цилиндров и поршней двигателя. Кроме того, масляная пленка дольше держится на металлических поверхностях — ее не смывает жидкое топливо, и, наконец, газ практически не вызывает коррозию металла,

Несмотря на многочисленные достоинства природного газа, закрывать заправочные станции и выбрасывать бензиновые канистры еще рано.

Метан

В переходе на газовое топливо есть свои сложности. Так, например, плотность природного метана в тысячу раз ниже плотности бензина. Поэтому, если заправлять автомобиль метаном при атмосферном давлении, то для равного с бензином количества топлива понадобится бак в 1000 раз больше. Чтобы не возить огромный прицеп с топливом, необходимо увеличить плотность газа. Это можно достичь сжатием метана до 20...25 МПа** (200...250 атмосфер). Для хранения в таком состоянии используются специальные баллоны.

Пропан-бутан

Пропан-бутан — синтетическое топливо. Его получают из нефти и сконденсированных нефтяных попутных газов. Чтобы эта смесь оставалась жидкой, ее хранят и перевозят под давлением в 1,6 МПа (16 атмосфер). Газобаллонная аппаратура для сжиженного пропан-бутана несколько проще. Процесс заправки машин на газонаполнительных станциях несложен и очень похож на заправку бензином.

По своим свойствам сжиженный пропан-бутан почти не отличается от сжатого природного газа. То же высокое октановое число, те же неплохие экологические и эксплуатационные показатели. Есть у сжиженного пропан-бутана и преимущество перед метаном — 225 литров этого горючего хватает на пробег около 500 километров, а метана, помещающегося в восьми баллонах — на вдвое меньший. Сейчас на сжиженном газе работает вдвое меньше машин, чем на сжатом и вот почему. Пропан-бутана получают в 20...25 раз меньше, чем добывают природного газа.

* Детонация [лат. detonare прогреметь] — распространение пламени в веществе со скоростью, превышающей скорость звука в данном веществе.

** 1 ат = $9,81 \times 10^4$ Па.

Водородная энергетика сегодня

Возможность повсеместного использования водорода как топлива сегодня выглядит менее обнадеживающе, чем, скажем, 30 лет назад. Это направление энергетики предполагает получение водорода в крупных масштабах путем разложения воды, транспортировку «горючего» к пунктам потребления и использование его практически во всех случаях, где сейчас сжигают ископаемое топливо. Находятся горячие головы, которые предлагают уже сегодня полностью отказаться от централизованного энергоснабжения, чтобы производить электроэнергию с помощью водорода в топливных элементах у самих потребителей [5].

О водородной энергетике мечтают давно:

- ✓ удельная теплота сгорания водорода в три раза выше, чем у нефти или бензина;
- ✓ продуктом сгорания водорода является водяной пар;
- ✓ ресурсы сырья для получения водорода безграничны.

Но водород как горючее имеет ряд недостатков:

- он более взрывоопасен, чем метан;
- объемная теплота сгорания водорода в три раза меньше, чем у природного газа.

Путь к безвредной энергетике труден и многоступенчат. Здесь возможны разные решения. Тем не менее, в некоторых случаях применение водорода как топлива не только полезно с экологической точки зрения, но и вполне экономически оправдано.

К примеру, загрязнение атмосферы автомобильными выхлопными газами. Замена всех бензиновых двигателей на водородные нереальна, т.к. она связана с огромными материальными затратами. Однако, почти без всяких изменений в двигателе, можно использовать бензин с 10-процентной водородной добавкой. Даже этот небольшой шаг резко улучшит экологическую обстановку в крупных городах.

Водород – аккумулятор энергии

Очевидным становится и то, что водород может ослабить некоторые напряженные проблемы атомной энергетики. Разрушительные аварии АЭС (Чернобыль, Тримайл-Айленд) показали, что наиболее опасны «маневры» мощностью реактора, то есть измене-

ние интенсивности ядерной реакции [3]. Следовательно, для обеспечения безопасности желательно ограничиваться стационарным режимом работы АЭС.

Эта стабильность ограничивает возможности энергосистем в части выравнивания нагрузок, когда, например, в рабочее время потребление энергии резко возрастает, а по ночам и в выходные дни падает. Пока не существует удовлетворительного способа аккумулировать электроэнергию, но на помощь может прийти водород. Расчеты показывают, что с помощью аккумулирования водорода затраты на производство электроэнергии могут быть снижены примерно на 15% по сравнению с традиционным способом – АЭС плюс пиковая теплоэлектростанция на водороде.

Аккумулировать водород можно не только в сжатом и жидком виде, а и в специально разработанных аккумуляторах водорода. Принцип работы таких аккумуляторов основан на свойстве полиметаллических композиций поглощать водород. Один из видов такого аккумулятора представляет собой емкость из нержавеющей стали, заполненную сплавом титана, ванадия и железа. Сплав обладает свойством выделять чистый водород, даже если он аккумулировался с примесью кислорода и влаги.

На АЭС за счет излишков электроэнергии можно производить водород и для нужд промышленности. Химическая промышленность – самый крупный потребитель водорода. Его используют в качестве сырья, например, для производства аммиака. Такой энерготехнологический комплекс может снизить на 10...17% расходы топлива по сравнению с существующей раздельной системой производства электроэнергии, водорода и аммиака.

Но в целом эффективность таких систем не очень высока из-за сравнительно низкого коэффициента полезного действия АЭС. КПД современных АЭС не превышает 33%, в то время как у теплоэлектростанций – 39%.

Невысокий коэффициент полезного действия АЭС обусловлен сравнительно низкой температурой водяного пара (около 300°C), нагреваемого теплом атомного реактора. Условия безопасности не позволяют увеличить эту температуру, а она определяет КПД паровой турбины и, следовательно, всей АЭС.

Промышленные методы получения водорода

Есть два направления промышленного получения водорода — электролиз и плазмохимия. Электролиз очень прост: в электролит, то есть в токопроводящую среду (классический вариант — вода с небольшим количеством щелочи), помещают два электрода и подводят к ним напряжение. Однако, в установках, работающих по этому принципу, для получения одного кубометра водорода требуется 4...5 киловатт-часов электроэнергии, что довольно дорого — производство эквивалентного по теплотворной способности количества бензина обходится втрое дешевле.

При электролизе большая часть электроэнергии теряется в виде тепла при протекании тока через электролит. Кроме того, удельная производительность современных установок — не более 0,5 литра водорода в час с одного см². Это количество определяется самим характером электрохимических реакций, протекающих только на поверхности электродов. Если электролиз будет широко использоваться, недостатки этого метода, по-видимому, останутся.

Гораздо производительнее метод плазмохимии, использующий химическую активность ионизованного газа — плазмы. В специальные установки — плазмотроны подводят газы или пары различных веществ. Интенсивным электромагнитным полем в этих газах или парах создают электрические разряды, образуется плазма. Энергия электрического поля передается ее электронам, а от них — нейтральным молекулам. Последние переходят в возбужденное, химически активное состояние.

Перспективны неравновесные плазмохимические системы, где электроны, разогреты электромагнитным полем до температур 10...15 тысяч градусов, избирательно передают энергию молекулам, а последние, распадаясь, образуют нужные химические продукты. При этом газ в целом остается практически холодным (его температура 300...1000°С). Важное преимущество этих систем — объемный характер протекающих в них процессов. Большие скорости химических реакций в газовой фазе позволяют добиваться гигантской удельной производительности плазмотронов.

Прямое плазмохимическое разложение паров воды на кислород и водород в настоящее время малоэффективно. А вот углекислый газ оказался идеальным плазмохимическим объектом. Неравновесное возбуждение его молекулярных колебаний до 4...6 тысяч градусов приводит к тому, что богатые энергией молекулы отбирают ее у более бедных. Это влечет за собой резкое повышение скорости химических реакций и энергетической эффективности процесса. Коэффициент полезного действия при разложении углекислого газа на окись углерода и кислород превышает 80 процентов. Практически всю вкладываемую в разряд энергию удастся направить на осуществление полезной химической реакции.

С учетом этого можно организовать двухстадийный цикл производства водорода:

- на первой стадии осуществить плазмохимическое разложение углекислого газа;
- на второй — выполнить давно освоенную промышленностью реакцию взаимодействия окиси углерода с водяным паром.

В результате образуется водород и исходное вещество — углекислый газ. Таким образом, углекислый газ будет выполнять роль физического катализатора для получения водорода из воды и, не расходуясь, разрешит трудности, возникающие при разложении водяного пара. В итоге формируется плазмохимический цикл, в котором тратится только вода, а углекислый газ постоянно возвращается в процесс.

Производительность такой плазмохимической системы в десятки тысяч раз превзойдет эффективность электролизеров, стоимость же водорода окажется примерно такой же, как и при электролизе. Это, конечно, еще дорого. Сегодня практически весь водород, потребляемый промышленностью, производится за счет переработки природного газа.

В таких установках вместо одного энергоносителя получаем другой и используем его не для нужд энергетики, а для технологии. Такая схема выглядит ущербно. Поэтому исследовали такой обнадёживающий источник водорода, как сероводород, сопутствующий, в частности, обычным, прежде всего, глубинным месторождениям природного газа.

Многие беды в районах газоносных месторождений связаны с выбросами сероводорода или продуктов его переработки в атмосферу. Сейчас в промышленности в лучшем случае сероводород окисляют кислородом воздуха по методу Клаусса, разработанному еще в прошлом веке, и получают при этом серу, а водород связывается с кислородом. Недостаток этого, кстати, весьма дорогостоящего процесса очевиден: из сероводорода извлекают только серу, а водород переходит в воду.

Поэтому проводились эксперименты по диссоциации сероводорода в плазме, чтобы на одной стадии получать два продукта: водород и конденсированную серу.

Для этого сероводородную плазму заставляют вращаться с околозвуковой скоростью. Образующиеся в плазмотроне части-

цы серы выносятся при этом из объема реакции за время, недостаточное для осуществления обратной реакции. Центробежный эффект позволяет добиться значительного отклонения плазмохимической системы от термодинамического равновесия и снизить энергозатраты на получение кубометра водорода до десятков ватт. Такой водород оказывается дешевле электролизного примерно в 15 раз, и его уже можно широко использовать в энергетике и в промышленности.

Мы давно находимся на переломном рубеже. Всем ясно, что назрели изменения традиционной энергетической структуры в которой главенствовали нефть и уголь. Сегодня наиболее перспективным является природный газ, но его широкое использование связано с проблемами экологии. В обозримом будущем водород может придать энергетике безопасность и экологическую чистоту.