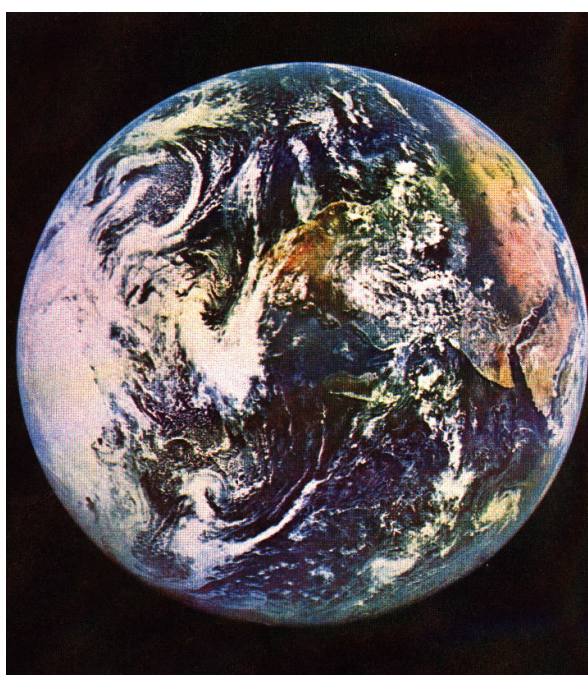


А. А. КОПТЕВ, В. П. ТАРОВ, З. А. МИХАЛЕВА

**ЧЕЛОВЕК И
ОКРУЖАЮЩИЙ МИР**



Издательство ТГТУ

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
.....	
1 ОСНОВЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	5
.....	
КРИЗИСНОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ	9
.....	
ТРИ СТУПЕНИ РАЗВИТИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ	10
ЧЕЛОВЕК – СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ БИОСФЕРЫ ...	11
.....	
2 ВОЗНИКНОВЕНИЕ ХАОСА	12
.....	
ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ	15
.....	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВСЕЛЕННОЙ	19
.....	
ТЕМПЕРАТУРА	21
.....	
ИСЧЕЗНОВЕНИЕ ХАОСА	22
.....	
ДЕМОН БОЛЬЦМАНА	23
.....	
АССИМЕТРИЯ ПРИРОДЫ	29
.....	
3 СОЛНЦЕ И ЧЕЛОВЕЧЕСТВО	56
.....	
СОЛНЦЕ, КАК ЕСТЬ	56
.....	
ОТ СВЕТА – ЖИЗНЬ И ... ЭЛЕКТРИЧЕСТВО	70
.....	
4 АТМОСФЕРА И ЧЕЛОВЕК	75
.....	
АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ	75
.....	
МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА	87
.....	
5 ВОДА – ИСТОЧНИК ЖИЗНИ	92
.....	
ОБЫКНОВЕННАЯ ВОДА	93

.....	
ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД	10
.....	1
6 ЭНЕРГЕТИКА И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА	10
.....	8
ПРИЛОЖЕНИЕ	13
.....	7

Введение

За свою многомиллиардную историю природа Земли неживая и органическая эволюционировала под воздействием космического пространства и, в первую очередь, Солнца. Процессы протекали как в виде катаклизмов, падения крупных метеоритов, извержений вулканов, сильных температурных колебаний, так и в равновесном медленном развитии, что, по мнению многих ученых, в последние миллионы лет превалировало.

С появлением живой материи в кругооборот вовлекаются возникшая вода и атмосфера, минеральные вещества литосферы Земли. Появляется поразительное количество живых организмов, сосуществующих гармонично. Многие из них погибли, на их месте возникали более приспособленные к окружающим климатическим, водным и температурным условиям, включая толщу океанов и морей, сушу, атмосферу.

В связи с этим в одной из глав данного пособия мы обсудили основы термодинамических законов, которым подчиняются все сущее, протекающее во времени.

По мнению большинства, вершиной развития биологической жизни явилось появление разумного существа - человека. В своем развитии человек познавал и инстинктивно и разумно взаимосвязи в природе и пытался приспособить их в своих эгоистических целях. Все бесконечно большое число взаимосвязей познавать приходится долго. Вырывая отдельные законы из "контекста" мироздания, человек неравновесно сдвигает гармонию природы, "неразумно" нарушает эволюционный процесс. Антропогенное воздействие человека на земной мир становится соразмерным с естественными процессами. Ноосферой назвал В. И. Вернадский содружество биосферы, человека и окружающей среды.

В первой и последующих главах пособия даны отдельные штрихи взаимосвязи и роли Солнца, Воздуха, Воды и хозяйственной деятельности людей.

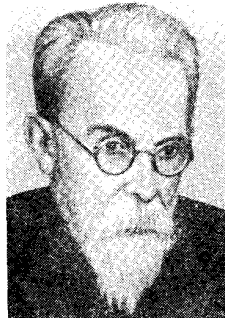
В последней главе на примере важнейшей энергетической отрасли народного хозяйства представлены фрагменты, как урона, так и путей рациональной защиты и оздоровления нашего общего дома - земного мира.

1 ОСНОВЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

БИОСФЕРА

Биосфера (греч. *Bios* - жизнь, *spharìa* - шар) - оболочка Земли, в которой развивается жизнь разнообразных организмов, населяющих поверхность суши, почву, нижние слои атмосферы, гидросферу. В своей основе биосфера представляет собой результат взаимодействия живой и неживой материи.

Академик **Вернадский Владимир Иванович** (1863 - 1945) - создатель современного учения о биосфере. На основании исследований, он пришел к выводу об исключительно важной роли живых организмов в геохимических процессах на земной поверхности и в формировании лика Земли.



Биосфера - сложная по составу, строению и организованности оболочка. Она включает все живые организмы, *биогенные* (уголь, нефть, известняк и др.), *косное* (в его образовании живое не участвует) и *биокосное* (создается с помощью живых организмов) вещества, а также вещество космического происхождения.

Термин "биосфера" для обозначения области земной поверхности, населенной жизнью впервые введен австрийским геологом Э. Зюссом в 1875 г. В узкое понятие "биосфера", введенное Э. Зюссом, В. И. Вернадский вложил новое содержание. Биосферу он рассматривал как качественно своеобразную оболочку Земли, развитие которой в значительной мере определяется деятельностью живых организмов. Сущность его учения заключается в том, что высшая фаза развития материи на Земле - жизнь опосредует другие планетарные процессы. "Можно без преувеличения утверждать, пишет ученый, что химическое состояние наружной коры нашей планеты, биосферы, всецело находится под влиянием жизни, определяется живыми организмами. Несомненно, что энергия, придающая биосфере обычный облик, имеет космическое происхождение. Она исходит из Солнца в форме лучистой энергии. Но именно живые организмы, совокупность жизни, превращают эту космическую лучистую энергию в земную, химическую и создают бесконечное разнообразие нашего мира".

Эти живые организмы, которые своим дыханием, питанием, смертью и размножением, постоянным использованием своего вещества, а главное - длящейся сотни миллионов лет непрерывной сменой поколений, своим рождением и размножением порождают одно из грандиознейших планетарных явлений, не существующих нигде, кроме биосферы. Таким образом, В. И. Вернадский рассматривает биосферу не как простую совокупность живых организмов, а как единую термодинамическую оболочку (пространство), в которой сосредоточена жизнь и осуществляется постоянное взаимодействие всего живого с неорганическими условиями среды.

Живое вещество. В. И. Вернадский ввел в науку понятие "живое вещество". Под живым веществом понимается совокупность тел всех живых организмов, населяющих нашу планету. Живое вещество представлено *биомассой растений* (включая наземную и подземную части), *биомассой животных* (включая насекомых) и *биомассой бактерий*.

Количество биомассы связано с *биологической продуктивностью* - количеством органического вещества, производимого организмами. Биомасса выражается единицами массы, отнесенной к единице площади ($г/м^2$) или объема ($г/м^3$). Биологическая продуктивность измеряется в единицах массы, времени и площади [$кг/(га·г)$] или объема.

Общая масса живого вещества Земли, по расчетам В. И. Вернадского, исчисляется сотнями миллиардов тонн и включает 500 тыс. видов растений и около 2 млн. видов животных.

Согласно подсчетам, биомасса суши составляет $6,5 \cdot 10^{12}$ т, биомасса океана - $29,9 \cdot 10^9$ т, т.е. в 200 раз меньше биомассы суши. В океане масса животных больше (в 30 раз), чем масса растений, на суше масса растений составляет 98 - 99 %, зоомасса - 1 - 2 % всей биомассы; 95 - 99,5 % биомассы суши приходится на беспозвоночных и растения. Сегодня нет данных о массе микроорганизмов на Земле, но для суши она достигает многих миллионов тонн. Несмотря на то, что биомасса океана меньше биомассы суши, биологическая продуктивность суши и океана равны. Объясняется это тем, что слой жизни океана состоит в основном из одноклеточных водорослей, которые обновляются ежедневно. Обновление биомассы суши происходит примерно за 15 лет. Причем травянистая растительность обновляется намного быстрее, чем древесная.

Основой динамического равновесия и устойчивости биосферы является *круговорот вещества и превращение энергии*. Он складывается из многих процессов превращения и перемещения веществ. Нам широко известны: энергетический круговорот, водный круговорот, газовый круговорот.

Живое вещество находится в *состоянии постоянного обмена веществом и энергией с геохимической средой*. Оно ежегодно поглощает и ассимилирует огромное количество химических элементов и выделяет в окружающую среду новые, образующиеся в организмах соединения. В результате почти каждый химический элемент в той или иной форме проходит биологический цикл превращений.

Особенно велика роль микроорганизмов, до конца разрушающих органические остатки и превращающие их в конечные продукты разрушения (минеральные соли, диоксид углерода, простейшие органические вещества и т.д.), используемые в дальнейшем для фотосинтеза новых органических веществ.

Средний элементарный состав живого вещества отличается высоким содержанием углерода (18 %). По содержанию других элементов организмы также не повторяют состав среды, а избирательно поглощают из нее химические элементы, которые соответствуют эволюционно сложившемуся обмену веществ в той или иной группе организмов.

Установлен средний химический состав живого вещества. В организмах преобладают легкие химические элементы: H, Cl, N, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca. Из тяжелых элементов встречается Fe. Перечисленные химические элементы в живых организмах образуют соединения, которые, как правило, не встречаются вне живого вещества. Особая роль принадлежит радиоактивным веществам.

Современная биосфера - результат длительной эволюции всего органического мира и неживой природы. В ее эволюции принимает участие и человек. Если в начальный период своего развития воздействие человека на природу было незначительным, то по мере развития производительных сил общества оно все более возрастало, и в настоящее время это воздействие по масштабам приближается к действию геологических процессов. Биосфера Земли по определению В. И. Вернадского, становится *ноосферой - сферой разума*. Под понятием "ноосфера" он подразумевал материальную оболочку Земли, измененную в результате воздействия человека на природу. Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. Человек, - подчеркивает В. И. Вернадский, - выступает в роли главной движущей силы природного процесса - "великой геологической, быть может космической силы". Таким образом, *биосфера* - это огромная и чрезвычайно сложная экосистема.

Понятие о биогеоценозе. Элементарной, первичной структурной единицей биосферы является *биогеоценоз*. Под этим понимают участки биосферы, однородные по топографическим, микроклиматическим, гидрологическим и биотическим условиям.

В процессе совместного существования живых компонентов биогеоценоза образуются биологические единства - *биоценозы*. Биоценоз - совокупность популяций всех видов живых организмов, населяющих определенную географическую территорию, отличающихся от соседних территорий по химическому составу почв, вод, а также по ряду физических

показателей (высота над уровнем моря, величина солнечного облучения и др.)

В состав биогеоценоза входят следующие компоненты:

- растительный компонент - *фитоценоз*;
- животный компонент - *зооценоз*;
- микроорганизмы (в почве, в воде, в воздухе, в биомассе) - *микробиоценозы*;
- почва и почвенно-грунтовые воды - *эдафотоп*;
- атмосфера - *климатоп*;
- компоненты биогеоценоза относящиеся к неживой природе - *экотоп*.

Все перечисленные компоненты на данной территории тесно связаны друг с другом.

Общие понятия об экологии. Наука, изучающая условия существования живых организмов, их взаимосвязь между собой и средой, в которой они обитают, называется *экологией*. Слово "экология" происходит от греческих слов *oikos* - дом и *logos* - наука.

Научной основой экологии стало учение Ч. Дарвина о борьбе организмов за существование. В это понятие он включил не только конкуренцию организмов за жизненные ресурсы, но и их реакции на различные факторы окружающей среды.

Современную экологию принято разграничивать на три крупных раздела:

- факторальную экологию;
- популяционную экологию;
- биогеоценологию.

Экологическими факторами называют элементы среды, оказывающие существенное влияние на живой организм. Эти факторы делятся на три группы:

- *абиотические* - факторы неживой природы;
- *биотические* - связанные с влиянием живых существ;
- *антропогенные* - связанные с деятельностью человека.

Популяционная экология изучает условия формирования и динамики естественных группировок особей одного вида - *популяций*. Популяционная экология рассматривает отдельные особи не изолированно, а в составе популяции таких же особей, относящихся к одному виду. Для вида характерны общность происхождения, сходство облика, единство экологических реакций на внешние воздействия.

Наряду с изучением экологии животных, растений, микроорганизмов все больше и больше внимание ученых привлекает *экология человека*. В современных условиях исключительно важную роль среди экологических факторов играет деятельность людей, т.е. антропогенные факторы, которые все заметнее приводят к изменению природы как среды обитания других видов или непосредственно сказывающихся на их существовании.

КРИЗИСНОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

В 1866 г. Эрнст Геккель ввел четкий научный термин "*экология*". Так была названа им наука об образе жизни животных и их многосторонних и сложных связях с органической и неорганической природной средой, включая их поведение и распространение. Тогда Геккель и предположить не мог, что 100 лет спустя это понятие претерпит значительные изменения и приобретет даже некую социально-политическую окраску. За это время, особенно за последние 70 лет, экология превратилась в фундаментальный раздел знаний, ориентированный на изучение естественных взаимосвязей между живым организмом и окружающей средой. В наши дни в связи с многосторонними воздействиями человека на природные системы планеты область экологии неожиданно расширилась.

Проявляя преступную беспечность, человек, воздействуя на природу, быстро изменяет естественную среду обитания. На месте оставшейся относительно нетронутой природной среды возникают культурные ландшафты и городские агломерации. Озера, реки, эти

поистине кровеносные сосуды суши, превращаются в стоки нечистот и промышленных отходов. При сжигании топлива и мусора атмосфера все больше и больше загрязняется, скудеет животный мир, беднеют растительные сообщества. Человек - это наиболее одаренный и могущественный представитель всего живого на Земле - приступил к широкому преобразованию естественного облика нашей планеты, и прежде всего ее растительного и животного царства.

Исчезновение многих крупных млекопитающих в результате деятельности человека ледникового периода

Беспечное отношение человека к природе сложилось отнюдь не в наше время. Оно возникло с его появления на свет. Он находил всевозможные пути и средства, как выйти победителем над некогда неодолимой природой. Первые глубокие и непоправимые раны он нанес природе намного раньше, чем мы привыкли обычно считать.

Ученые полагают, что значительное число млекопитающих ледникового и межледникового периодов Северной Америки и Евразии, таких как мостодонт и мамонт, многие виды верблюдов и лошадей, гигантские олени и бобры, волосатые носороги и другие виды исчезли не в результате воздействия неблагоприятных климатических условий и изменений в растительном покрове, как еще иногда считают, а были просто истреблены ордами бродячих охотников ледникового периода, уже применявших метательное оружие. Этому способствовало также выжигание растительного покрова. Подтверждением служат остатки костей вокруг костров у входов в пещеры, и то обстоятельство, что прежде всего исчезли степные обитатели, а крупные лесные животные остались, сохранились. По мнению антропологов, именно в ледниковый период человек приобрел те интеллектуальные качества, которые окончательно возвысили его до *Homo sapiens* - мыслящего существа. Только в Северной Америке за 1000-летие, последовавшее за последним ледниковым периодом, исчезло около сотни видов крупных млекопитающих. Все народы на земле исторически связаны между собой. Существует гипотеза, что 10 - 12 тыс. лет назад из Восточной и Северной Азии прибыли через Беренгов пролив предки американских индейцев.

Всеми признано, что в районе Средиземноморья природная среда уже давно подвергалась изменению в результате деятельности человека. В конце последнего ледникового периода, после того как ледник отступил, в районе Средиземноморья простиралась огромная зона лиственных лесов. Она тянулась от западноафриканского побережья до Ближнего Востока. Именно в этом районе возникли страны с высокоразвитой культурой. Однако это сопровождалось беспощадной вырубкой лесов и образованием степей, эрозированных земель и пустынь. Домашние животные также внесли вклад в уничтожение растительного покрова. Четыре тысячи лет назад пустыни Сахары, какова она сейчас не существовало, а нынешняя Ливийская пустыня менее 2 тыс. лет назад была житницей Рима.

ТРИ СТУПЕНИ РАЗВИТИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ

1 ОХОТА

Накануне неолита человек добывал себе пищу охотой и собирательством. Люди охотились в тундре и тайге, прилегающих к ледяному щиту, бродячими группами, главным образом, на крупных млекопитающих. Причем они использовали не только тяжелые предметы и метательное оружие для нанесения удара, но и пускали также палы по высохшей траве. Однако в то время *природный ландшафт* еще не претерпел глубоких изменений от действия человека.

2 Земледельческая культура

Примерно 5 тыс. лет назад возникла земледельческая культура неолита, произошла так называемая революция неолита. Расширение площади возделываемых земель, рубка деревьев для хозяйственных целей вели к замене естественного ландшафта культурным. Причина его коренилась в быстром росте населения.

3 Промышленная революция

Последняя культурно-историческая ступень человеческого развития, известная под названием "промышленная революция", возникла примерно 150 лет назад. Применение техники с использованием законов природы и появление индустриального общества способствовали уничтожению не только природного ландшафта, но и ранее сформировавшегося антропогенного ландшафта на обширных территориях планеты. "Человек разучился правильно обходиться с живой природой. Для него теперь проще в своей трудовой деятельности иметь дело с технологическими процессами и техникой. С этой меркой он подходит к живой природе и тем самым причиняет ей непоправимое зло" (Конрад Лоренц). Нынешнее поколение людей, вооруженное современной техникой, в погоне за прибылью нещадно эксплуатирует дары природы. Человек в корне меняет окружающую природу, истощает водные источники, вырубает леса, хищнически использует ископаемые богатства, способствуя образованию искусственного ландшафта. Результатом является повсеместное загрязнение и отравление окружающей среды.

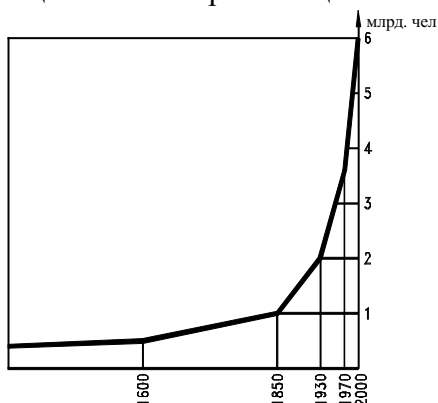
ЧЕЛОВЕК - СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ БИОСФЕРЫ

Применяя все более новую технику и технологию, люди стремятся создать среду обитания, по возможности не зависимую от "капризных" законов природы. Им представляется, что они действительно становятся властителями природы. Это противоречие объясняется очень просто. Человек, будучи творческим существом, сам является творением природы и остается неотделимой частью природного сообщества. Он же выпадает из общего экологического круговорота биосферы нашей планеты, не может полностью уйти в созданный им технический мир. В результате человек сам подвергается реальной опасности загрязнения окружающей среды.

Рост населения

В каменном веке люди не доживали до зрелого возраста. Смертность была высока из-за суровых климатических условий, нехватки пищи, болезней и эпидемий. По оценкам ученых неандерталец жил 30 лет, а Homo sapiens позднего ледникового периода ненамного больше.

Плотность населения повсюду была очень низкой. Примерно около 1 млн. лет назад человек обитал только на африканском континенте, общей численностью всего лишь 125 тыс. чел. С наступлением мезолита, около 300 тыс. лет назад, численность людей достигла примерно 1 млн. чел., они жили уже и в Евразии. В период позднего палеолита, около 25 тыс. лет назад численность превысила 3 млн., что было обусловлено изменением их общественной организации.



хотник переходит на оседлый образ жизни, строит дома, диких животных, начинает культивировать растения.лучшие. Результат: за немногие тысячелетия население коло 8 тыс. лет до н.э.) почти до исления. По другим подсчетам, оно увеличилось до 250 50 раз.

жно проследить по диаграмме (рис. 1). ардный человек. нашей планеты достигнет 13 млрд. чел.

Рис. 1 Рост народонаселения Земли

Другие исследователи считают, что темп роста замедлится, так что к 2050 г. оно может составить всего 5 млрд. чел. Это результат сокращения продолжительности жизни в промышленных странах вследствие загрязнения природной и антропогенной среды (болезни) при дальнейшем росте производства. Очевидно истина лежит где-то в середине - 9 млрд. человек.

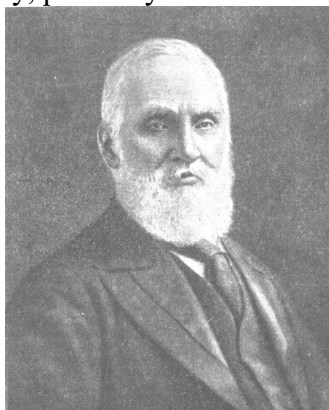
Половина человечества недоедает. В мире ежегодно умирают от голода 10 - 30 млн. человек.

2 ВОЗНИКНОВЕНИЕ ХАОСА

Хбос и Хаус - в древнегреческой мифологии и философии беспредельное пространство, представляющее собой беспорядочную смесь материальных элементов мира, из которого произошло все существующее. Chaos (греч.) - беспорядок, неразбериха.

Вещество состоит из атомов. Признание этого факта ознаменовало первый шаг на пути отхода от представлений, диктуемых повседневым опытом. Кельвин был прав, когда предполагал, что самая фундаментальная характеристика Вселенной - это вечно существующая и сохраняющаяся, но легко переходящая из одной формы в другую энергия, полная величина которой, по-видимому, равна нулю.

Кельвин, Томсон Уильям (с 1892 г. за научные заслуги получил титул лорда Кельвина), (Kelvin) (1824 - 1907) - английский физик, основатель научной школы, член (1851) и преподаватель (1890 - 1995) Лондонского королевского общества, иностранный член-корреспондент (1877) и иностранный почетный член (1896) Петербургской Академии наук. В десять лет поступил в университет в Глазго, обнаружив незаурядные способности, ярко проявившиеся во всей его дальнейшей деятельности. Труды по многим разделам физики (термодинамика, теория электрических и магнитных явлений и др.) Дал одну из формулировок второго начала термодинамики, предложил абсолютную шкалу температур (шкала Кельвина). Эксперимен-



тально открыл ряд эффектов. Активный участник осуществления телеграфной связи по трансатлантическому кабелю, установил зависимость периода колебаний контура от его емкости и индуктивности. Изобрел ряд измерительных приборов.

Но хотя вещество по своей структуре сходно с "Матрешкой" (луковицей) мы остановимся на первом - атомном - уровне. Это связано с тем, что в термодинамике мы имеем дело с такими изменениями состояния, которые вызываются очень "мягкими" тепловыми воздействиями. Как правило, в условиях, с которыми мы встречаемся в термодинамике, энергия, сообщаемая системе при нагревании, недостаточна для расщепления атома. Именно по этой причине термодинамика стала одной из первых областей научного исследования. Лишь после развития все более высокоэнергетических методов изучения структуры вещества стали открываться и более глубокие уровни его строения. Таким путем в науку вошли представления о внутренней структуре атома, о ядрах, а затем и о нуклонах. Теплота, хотя она обжигает и вызывает горение, - это все же достаточно "мягкий" способ воздействия на атом.

☛ Термодинамика (термо...+ динамика) - раздел физики, в котором изучаются наиболее общие свойства систем, находящихся в состоянии теплового равновесия, и процессы перехода между этими состояниями, сопровождаемые превращением теплоты в другие виды энергии. Термо... (греч. Thermos - теплый, termē - жар, тепло) динамика - (греч. Dynamics - относящийся к силе, сильный). Выводы на основе законов термодинамики используют в химической, металлургической, топливной и других отраслях промышленности.

Понятие об атоме возникло еще в Древней Греции, однако, убедительные подтверждения оно получило лишь в начале XIX в., а окончательно восторжествовало лишь в начале 20-х гг. XX в. По мере становления представлений об атомах стало крепнуть убеждение о том, что, несмотря на свою элегантность и внутреннюю согласованность, термодинамика остается неполной до тех пор, пока не будет установлена ее связь с атомной моделью вещества. Не все ученые разделяли эту точку зрения, однако ее поддержал, наряду с другими, Клаузиус: он и зажег тот огонь, которым вскоре Больцман осветил мир.



Рудольф Готтлиб (Rudolf Gottlieb) - взял латинское имя Клаузиус.

Клаузиус (Clausius) Рудольф Юлиус Эммануэль (1822 - 1888), немецкий физик, один из основателей термодинамики и молекулярно-кинетической теории теплоты, иностранный член Петербургской Академии наук (1878). Дал одновременно с У. Томсоном (Кельвиным) первую формулировку второго начала термодинамики, ввел понятие энтропии (1865) идеального газа, длины свободного пробега молекул. Обосновал (1850), так называемое, уравнение Клапейрона-Клаузиуса ($PV = MRT$), разработал теорию поляризации диэлектриков, сформулировал гипотезу "тепловой смерти Вселенной".



Больцман (*Boltzmann*) Людвиг (1844 - 1906) австрийский физик, один из основателей статистической физики и физической кинетики, иностранный член-корреспондент Петербургской Академии Наук (1899). Вывел функцию распределения, названную его именем и основное кинетическое уравнение газов. Дал (1872) статистическое обоснование второго начала термодинамики. Вывел один из законов теплового излучения (закон Стефана-Больцмана).

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

В качестве первого шага на пути познания структуры вещества уточним наше понимание энергии. В связи с этим напомним некоторые факты из элементарной физики, а именно, что любая частица может обладать энергией, обусловленной как ее движением, так и положением в пространстве. Соответственно мы говорим о *кинетической* и *потенциальной* энергиях. Хотя мы ранее говорили об *атомах*, во многих приложениях термодинамики важную роль играют также *молекулы*, *ионы*. В дальнейшем будем рассматривать атомы, молекулы, ионы единообразно, называя их частицами.

Частица, находящаяся в гравитационном поле земли, обладает потенциальной энергией, зависящей от ее высоты. Аналогично, деформированная пружина обладает потенциальной энергией, связанной со степенью ее растяжения или сжатия. Расположенные рядом друг с другом заряженные частицы обладают потенциальной энергией вследствие электростатического взаимодействия, то же относится и к нейтральным атомам - в этом случае имеет место электростатическое взаимодействие между ядрами и электронами атомов.

Движущаяся частица обладает кинетической энергией, чем быстрее она движется, тем больше энергия

$$K = \frac{mv^2}{2},$$

где K - кинетическая энергия; v - скорость движения частицы; m - масса частицы.

Наиболее важное свойство *полной энергии* частицы (сумма ее потенциальной и кинетической энергии) - ее сохраняемость и неизменность в отсутствие действия внешних сил. В этом сущность *закона сохранения энергии*, ставшего одним из основных в физике после того, как в течение XIX в. выяснилась универсальность понятия энергии.

"Я утверждаю, что сила есть нечто духовное, незримое, - духовное потому в ней жизнь бестелесная; незримое потому, что тело, в котором рождается сила, не меняет ни веса, ни вида".



Леонардо да Винчи (1452 - 1519) - итальянский живописец, скульптор, ученый, инженер ("Тайная вечеря", "Джоконда", многочисленные открытия, проекты, эксперименты, исследования в области математики, естественных наук, механики), создал образ человека, отвечающий гуманистическим идеалам Высокого Возрождения.

Примером перехода потенциальной энергии в кинетическую является маятник. Потенциальная и кинетическая энергии эквивалентны и их сумма для *изолированного* объекта остается всегда неизменной.

Характерная и изначально присущая термодинамике особенность состоит в том, что эта наука имеет дело с очень большими совокупностями частиц. Оценить число частиц в них можно с помощью числа *Авогадро*, равного $6 \cdot 10^{23}$ - именно такое количество атомов содержится в 12 г углерода. По случайному совпадению это число мало отличается от числа звезд в любой Галактике в видимой части Вселенной.



Авогадро (Avogadro) Амедео (1776 - 1836), итальянский физик и химик. В 1811 г. выдвинул молекулярную гипотезу строения вещества, установил один из газовых законов, названных его именем. В равных объемах идеальных газов при одинаковых давлении и температуре содержится одинаковое число молекул или атомов в 1 моль вещества $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Для наших рассуждений важно не точное число N_A , а то, что в обычно встречающихся объектах содержится поистине *гигантское* число атомов. Наука обрела способность описывать свойства столь огромных систем частиц, прежде, чем смогла объяснить свойства отдельных атомов. Причиной тому является, что термодинамические свойства системы - это средние значения, соответствующие очень большим совокупностям частиц.

В человеческом обществе проще описывать черты группы потребителей или производителей какого-либо изделия, нежели отдельного человека. Любые индивидуальные особенности при этом сглаживаются и становятся несущественными. Следует отметить, что число частиц в любом обычном объекте значительно превосходит число людей в любой стране, да и на всем земном шаре.

Энергия термодинамической системы, (например, состоящей из молекул воды в обычном

стакане, число которых в несколько раз превышает число Авогадро), равна сумме кинетических и потенциальных энергий всех частиц. Отсюда ясно, что эта полная энергия сохраняется. Однако в термодинамической системе, состоящей из большого числа частиц возникает новый вид движения, отсутствующий у отдельной частицы.

Кинетическая энергия совокупности частиц может трактоваться, выразаться двумя видами. Если вдруг окажется, что все частицы движутся в одном направлении с одинаковыми скоростями, то вся система, подобно теннисному мячу, будет находиться в состоянии полета. Система ведет себя в этом случае аналогично одной крупной частице и к ней применимы обычные законы динамики (а не термодинамики) (рис. 2).

Существует, однако, и другой вид движения. Можно представить себе, что частицы системы движутся не упорядоченно, а хаотично. **Рис. 2** Схема упорядоченного движения. **1** - полная энергия системы может быть той же самой, что и в первом случае, но теперь отсутствует результирующее движение, поскольку направления и скорости движения атомов беспорядочны. Если бы мы могли проследить за какой-либо отдельной частицей, то увидели бы, что она проходит небольшое расстояние вправо, затем, соударяясь с соседней частицей, смещается немного влево, снова соударяется и т.д. Основная черта этого вида движения состоит в отсутствии корреляции (взаимозависимости) между движениями различных частиц; иными словами их движения некогерентны (неупорядочены).

Описанное случайное, хаотическое, некоррелированное, некогерентное, неупорядоченное движение называется *тепловым движением* (рис. 3). Понятие теплового движения неприемлемо к отдельной частице, поскольку бессмысленно говорить о некоррелированном движении одной частицы. Когда мы переходим от рассмотрения движения отдельной частицы к системам многих частиц, и при этом возникает вопрос о наличии корреляции в их движениях, мы переходим от области классической динамики в новую область физики, которая называется *термодинамикой*.

Итак, мы установили, что существуют два вида движения частиц в сложных системах: движение может быть когерентным (упорядоченным), когда все частицы движутся согласованно ("в ногу"), или неупорядоченным, когда все частицы движутся хаотически.

Познакомившись с *первым началом термодинамики* (сумма потенциальной и кинетической энергии сохраняется - закон сохранения энергии), мы убедились в том, что существует также два способа передачи энергии в системе: посредством ее нагревания и посредством совершения над ней работы. Оба эти факта можно объединить в следующие формулировки.

Совершая над системой *работу*, мы вынуждаем частицы двигаться *упорядоченно*, если система совершает работу над окружающей средой, она вызывает в ней упорядоченное движение. При нагревании системы мы всегда вынуждаем ее частицы двигаться *неупорядоченно*; и наоборот, когда теплота переходит от системы к окружающей среде, в ней возникает неупорядоченное движение.

Поясним это на примерах. Пусть мы хотим изменить энергию куска железа массой 1 кг (он представляет собой кубик с размером ребра около 5 см). Одна из возможностей заключается в том, чтобы поднять его; при высоте подъема 1 м прирост *потенциальной энергии* образца составит около 10 Дж. В результате подъема мы переместим все атомы образца *упорядоченно* на расстояние 1 м. При этом энергия передается образцу посредством совершения работы, она запасена в виде гравитационной *потенциальной энергии* всех атомов образца.

Пусть образец брошен в горизонтальной плоскости в каком-либо направлении. В этом случае возрастает кинетическая энергия всех его атомов, которые совершают также *упорядоченное* движение. Если они движутся с одинаковой скоростью, равной $\approx 4,5$ м/с, то

образец приобретет энергию 10 Дж. Энергия вновь была передана образцу посредством совершения *работы*, но теперь она запасена в виде *кинетической* энергии всех его атомов.

Допустим, помещаем образец в пламя и нагреваем. Тем самым мы увеличиваем энергию образца, который, однако, остается в первоначальном положении и не двигается. Тем не менее, если температура образца поднимается всего лишь на 0,03 °С, то сообщенная ему энергия достигает 10 Дж. Теперь энергия запасена в форме энергии *теплового движения* атомов. По существу она вновь, как и ранее, запасена в виде кинетической и потенциальной энергии частиц, и только эта форма *хранения* энергии нас вообще должна интересовать. Но в данном случае положения и скорости атомов не коррелируются друг с другом и результирующее перемещение образца отсутствует. Энергия, передана образцу через *нагревание* и это вызвало в образце *неупорядоченное* движение.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Вселенная в целом - объект достаточно сложный, однако в ней происходит много простых явлений. Целесообразно сосредоточить внимание на существенных чертах процессов, не отвлекаясь на многочисленные нюансы, которыми столь богата реальность. Надо убедиться, что упрощение существенно не искажает исследуемые процессы.

Обозначим две модели Вселенной: Мир I (или II) и Мир III. Для модели Мир I изберем состоящим из 1600 атомов (это для расчета на ЭВМ), рис. 4. Каждый атом может находиться в энергетически возбужденном состоянии. Возбужденные отметим черным цветом (рис. 5). Если в возбужденном состоянии находятся несколько атомов, будем считать их состояния некоррелированными. Значит, наличие нескольких затухеванных прямоугольников в какой-либо области вселенной, моделирующей реальную систему, означает, что энергия системы запасена в форме теплового движения составляющих ее атомов. Если мы хотим указать, что движения группы атомов упорядочены, то изобразим эти атомы в виде стрелок, вытянутых в направлении движения (рис. 6).

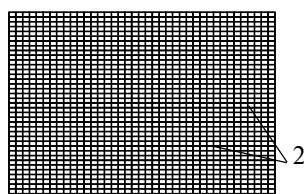


Рис. 4 Модель вселенной Мир I

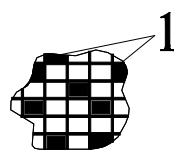


Рис. 5 Фрагмент модели вселенной Мир I с атомами некоррелированными возбужденными:
1 - возбужденные атомы;
2 - невозбужденные атомы

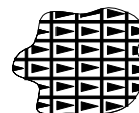


Рис. 6 Фрагмент модели вселенной Мир I упорядоченного движения атомов

Еще одно упрощающее предположение в модели Мир I состоит в том, что в ней каждый атом в возбужденном состоянии может обладать лишь единственным значением энергии, причем оно одинаково для всех атомов.

Вселенная Мир II по своим свойствам совпадает со вселенной Мир I, за одним лишь исключением: число атомов в ней бесконечно велико. Мы по-прежнему можем изображать атомы с помощью 1600 квадратиков, однако, теперь это лишь крохотная часть всей Вселенной (рис. 7).

Вселенная Мир III содержит более сложные элементы, например, атомы с различными значениями энергий возбуждения, различные виды

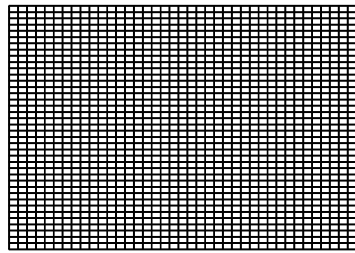


Рис. 7 Модель вселенной Мир II

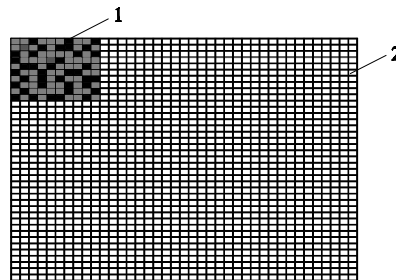


Рис. 8 Начальное состояние вселенной Мир I:

1 – система 1; 2 – система 2

самих атомов, цепочки или другие объединения атомов и т.п. В этой вселенной могут даже встречаться *люди* (см. прил. рис. 1П).

Займемся Вселенной Мир I, посмотрим какие в ней могут происходить изменения. Наложим одно ограничение, это сохранение энергии во вселенной в целом, так что число возбужденных атомов остается неизменным. Предположим также, что каждый атом может передавать возбуждение своему соседу и соответственно получать от него энергию. Каждый атом может быть возбужден или нет. Состояние частично и сверх возбуждения отсутствует.

Рассмотрим модель реального процесса, происходящего во вселенной. Будем считать, что закрашенная область (рис. 8) в верхнем левом углу изображает один кусок металла, а остальная часть другой. Тогда возбужденное состояние (черные квадраты) соответствует атому, который колеблется относительно среднего положения, а невозбужденное - атому, находящемуся в покое. Процесс возбуждения состоит в том, что колеблющийся атом, сталкиваясь с покоящимся сообщает ему энергию, за счет которой покоящийся атом начинает колебаться. Подобная передача состояния является случайной, и поэтому возбужденное состояние случайным образом "кочует" по решетке, переходя от одного атома к другому.

Наиболее интересная черта в описании поведения модельной вселенной (при соответствующем обобщении и для реальной Вселенной - Мир III) состоит в том, что ее *свойства определяются минимальным числом законов*. Единственное принятое нами ограничение - сохраняемость состояния возбуждения. Допускается подвижность атомов в любом направлении.

Предположим, что во вселенной создалось такое расположение возбужденных атомов, какое изображено на рис. 8. В системе 1 большое количество энергии в форме теплового движения, тогда как в системе 2 запаса энергии вообще нет.

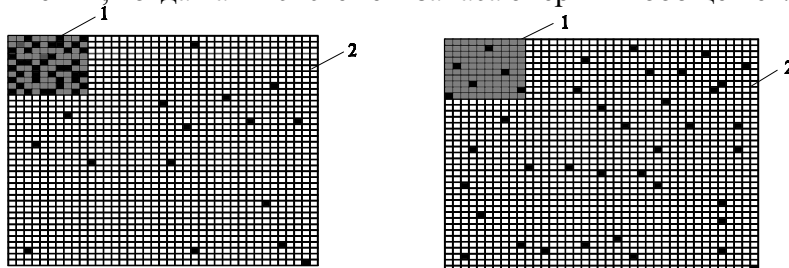


Рис. 9 Промежуточное во времени состояние вселенной Мир I:
1 – система 1; 2 – система 2

Рис. 10 Равновесное тепловое состояние системы 1 и системы 2 вселенной Мир I:
1 – система 1; 2 – система 2

При колебаниях системы 1 атомы соударяются друг с другом, так что любой из них может передать свою энергию любому из своих соседей. Если это произойдет, то один из атомов перейдет в невозбужденное состояние, а другой соответственно - в возбужденное. Вновь возбужденный атом сам совершает теперь колебания, соударяясь с соседями и таким образом, обмениваясь с ними энергией. На рис. 9 показано некоторое промежуточное состояние вселенной Мир I. Процесс повторяется многократно вплоть до выравнивания во всей вселенной (система 1 и система 2). "Блуждание" возбужденных атомов протекает бесконечное время. Такое состояние среды называется динамическим равновесием. Это называют *нулевым* началом термодинамики (рис. 10).

ТЕМПЕРАТУРА

Мы видели (рис. 8), что естественным следствием рассеяния энергии является нагревание системы 2 системой 1; при этом результирующий перенос энергии продолжается до тех пор, пока в среднем энергия не распределится равномерно по всем доступным атомам.

Когда состояние возбуждения равномерно распределено по всем атомам, система 2 обладает большей *энергией*, чем система 1, так как в системе 2 больше атомов, а следовательно, при равномерном распределении состояний возбуждения больше и возбужденных атомов. Однако отношение числа возбужденных атомов к числу невозбужденных одинаково в обеих системах.

Понятия холодного и горячего нужно рассматривать как отношение числа возбужденных атомов к числу невозбужденных, а это и есть показатель *температуры*. Нам известно, что энергия в форме теплоты переходит из области с более высокой к области с более низкой температурой, мы видели, что система 1 нагревает систему 2. (Это фактически - второе начало термодинамики). Состояние же, при котором отсутствует результирующий поток энергии между двумя системами, соответствует одинаковым *температурам*, а не одинаковым полным энергиям. Температура есть мера только *неупорядоченного* движения частиц, являясь, таким образом, именно термодинамическим свойством системы многих частиц. Нелепо интересоваться температурой одной частицы.

Температура проявляется в отношении числа возбужденных атомов к числу невозбужденных, и чем выше это отношение, тем выше температура. Это относится и к реальной Вселенной, где высокие температуры соответствуют системам, большая доля частиц которых находится в возбужденном состоянии. Резко отличаются понятия температуры и энергии. Система может иметь большую энергию и низкую температуру. Например, очень большая система может содержать малую долю возбужденных атомов и быть холодной. Однако общее число атомов системы может быть сколь угодно велико, сумма их энергий окажется большой, и система будет обладать значительной энергией. Так океаны на Земле, несмотря на низкую температуру воды в них, являются хранилищами практически неограниченного количества энергии. **Энергия системы зависит от размеров системы, а температура - нет.**

Итак, можно записать

$$\text{Температура} = \frac{A}{\ln\left(\frac{\text{Число невозбужденных атомов}}{\text{Число возбужденных атомов}}\right)},$$

где A - некоторая постоянная, зависящая от энергии возбуждения атома.

Исчисление хаоса

На одном из надгробий центрального кладбища Вены, которое находится на могиле Больцмана, выгравирована формула. Это не только одна из наиболее замечательных формул функции, но и своеобразный "мост", позволяющий перейти от качественного анализа рассеяния энергии к количественному

$$S = K \log W,$$

где S - энтропия системы; K - фундаментальная мировая постоянная, ныне называется постоянная Больцмана; W - мера упорядоченности системы.

В этой эпитафии заключена квинтэссенция работы Больцмана.

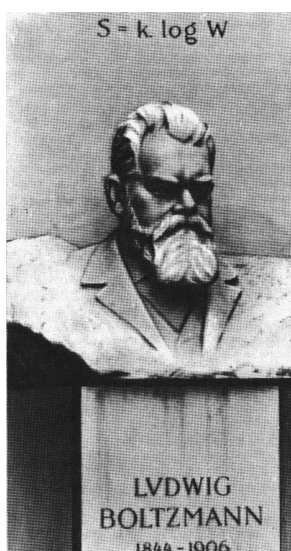
Здесь мы встречаемся с формулой, которая значит для современного мира не меньше, чем формула Эйнштейна

$$E = mc^2.$$

В левой части равенства Больцмана стоит энтропия - функция, введенная в термодинамику вторым началом и характеризующая любые самопроизвольные изменения. В правой части равенства стоит величина, служащая мерой рассеяния энергии во Вселенной. Понятие рассеяния или деградации энергии составляет основу механизма изменений на микроскопическом уровне. Функция S неизбежно принадлежит классической термодинамике - этому обобщению гигантского опыта человечества, а величина W непосредственно относится к миру атомов - миру, определяющему "скрытый" механизм происходящих изменений. Формула, выбитая на надгробии Больцмана, - это мост, соединяющий мир доступных нашему восприятию событий и скрытый за их "кулисами" основополагающий мир атомов.

Естественные самопроизвольно происходящие процессы - это переход от порядка к хаосу; в строго количественном смысле подобные явления вызываются стремлением системы к хаосу и разложению.

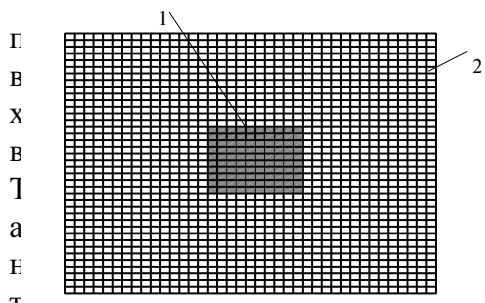
Людвиг Больцман (*Boltzman*) (1844 - 1906) - австрийский физик. Его вклад в развитие термодинамики состоял в установлении связи между свойствами вещества как целого, изученными с помощью методов термодинамики Кельвина и Клаузиуса, и поведением отдельных частиц (атомов), составляющих вещество. Будучи близоруким, Больцман тем не менее видел в этом вопросе дальше, чем большинство его современников, именно он начал вскрывать глубинные механизмы любых изменений. Следует отметить, что сделал это он еще до того, как существование атомов стало общепризнанным. Больцман, очень страдавший от насмешек



своих противников, совершенно потерял душевный покой, впал в бедность и в конце концов покончил с собой.

ДЕМОН БОЛЬЦМАНА

Каким образом можно количественно описать хаос, т.е. степень неупорядоченности? В чем смысл величины W ? На оба этих вопроса можно ответить, рассматрив некое особое начальное состояние вселенной Мир I (рис. 11) и ее последующую эволюцию. В системе 1 все атомы возбуждены, а в системе 2 нет ни одного возбужденного атома.



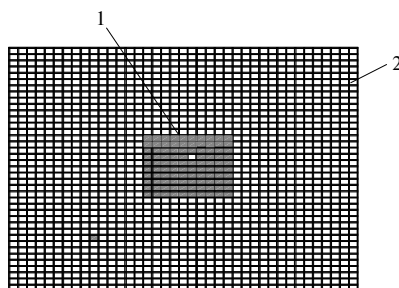
следящий за поведением каждого атома,

и вопрос: сколькими способами можно произвести тобы внешний наблюдатель не заметил ее? Ответ на этот В формулировке вопроса учтено то существенное, что омов к макроскопической системе, а именно, "слепота" ию к "индивидуальностям" атомов, образующих систему. о с усредненным поведением огромных совокупностей го отдельного атома не играет роли. Если внешний амику не заметил, что в системе произошло изменение, изменным. Лишь "педантичный" наблюдатель, тщательно

Теперь вообразим некоего "демона" - крохотное, бестелесное, озорное и вечно занятое существо, которое мы назовем демоном Больцмана. Этот демон занят непрерывной переделкой. В нашей модельной вселенной он беспрестанно переносит возбуждение с одного атома на другой; он символ "беззакония", царящего во вселенной. Демон - существо дезорганизованное, и вся его деятельность сводится к абсолютно случайному перераспределению свойства возбуждения между атомами системы, т.е. к непрекращающемуся, но бесцельному переносу этого свойства.

Внешний наблюдатель не может разглядеть демона, несмотря на его неутомимую деятельность, так как полное число возбужденных атомов не меняется (демон только переносит, но не создает - это свойство). Поэтому мы извне не только не в состоянии увидеть следы его активности, но и даже не подозреваем о его присутствии в системе. По Больцману, величина W и есть не что иное, как число различных распределений возбужденных атомов, которое может осуществить его демон; при этом мы не в состоянии уловить, что изменение вообще произошло. Однако, если демону удастся привести в возбужденное состояние один атом в системе 2 за счет переноса этого возбуждения с одного из атомов в системе 1, то мы об этом узнаем, поскольку температура системы 1 упадет, а системы 2 повысится.

Значит, в том особом нач из проделок демона не укро состоянии и, следовательно, Поскольку существует только системы 1 возбуждены, то м согласно формуле Больцм локализованный "сгусток" эн



зрое мы рассматриваем ни одна ы 1 находятся в возбужденном оситься внутри этой системы. атомов, при котором все атомы ку логарифм 1 равен нулю, то равна нулю. Значит такой ей, т.е. идеальным качеством. реносе свойства возбуждения с

Считаем, наступит моме

о одного какого-либо атома системы 2. Это - только начало работы демона (рис. 12). Далее он может "разместить" возбуждение по атомам системы 1 многими различными способами. Внешний наблюдатель ничего этого не заметит. Подсчитаем новое значение W : оно равняется числу различных способов выбора одного невозбужденного атома в системе 1. Положим, что в системе 1 сто (100) атомов, а во

вселенной Мир I 1600 атомов. Теперь в системе 1 находятся 99 возбужденных атомов из 100, однако какие именно - произвольно решает демон, который может беспрестанно менять свои решения. Ясно, что положение единственного невозбужденного атома в системе 1 может быть выбрано ровно 100 способами. Тогда $W = 100$, т.е. такое состояние системы 1 может быть осуществлено 100 способами. Поскольку натуральный логарифм $\ln 100 = 4,61$ из формулы Больцмана (учитывая $k = 1$) получим, что энтропия этого состояния равна 4,61. Энтропия системы 1 возросла; система стала более хаотической, потому что мы не знаем, где именно находится единственный невозбужденный атом.

Когда-нибудь демону удастся перевести состояние возбуждения еще с одного атома системы 1 на какой-либо атом системы 2 (рис. 13).

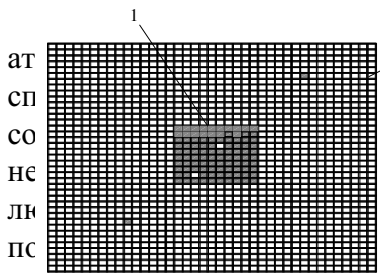


Рис. 13. Система 1, имеющая 100 атомов, в которой один атом находится в невозбужденном состоянии. Система 2, имеющая 1500 атомов, в которой один атом находится в возбужденном состоянии.

Система 1, имеющая уже два "пустых места", т.е. невозбужденных атомов, имеет больше возможностей для своих тайных проделок. Число способов разместить состояние возбуждения по 98 атомам в системе 1, а также размещение двух имеющихся теперь в системе 1 атомов из невозбужденных атомов может, как мы видели, занимать столько же, сколько и один атом, т.е. 100. Таким образом, полное число размещений, которое может устроить демон, равно $100 \times 99 = 9900$.

Необходимо отметить, что некоторые размещения тождественны друг другу. Например, демон может сначала сделать невозбужденным атом № 32, а затем - атом № 23, но демону не составляет труда проделать это и в обратном порядке. Конечный результат в обоих случаях один и тот же: оба атома - № 32 и № 23 - будут невозбужденными. Следовательно, полученное ранее значение числа способов следует разделить пополам, так как лишь половина из 9900 размещений отличаются друг от друга. Это означает, что $W = 4950$, и у демона существует 4950 возможностей различными способами перестроить систему 1 без нашего ведома. Используя формулу Больцмана, найдем, что энтропия системы 1 возросла до величины $\ln(4950) = 8,51$.

Энтропия системы 2 тоже возрастает. Первоначально она была равна нулю, так как в системе 2 не было возбужденных атомов, и существовало их единственное расположение в системе 1. Затем демону удалось перевести одно возбужденное состояние из системы 1 в систему 2, и один атом в системе 2 стал возбужденным. При этом в системе 2 существует 1500 возможностей выбора положения возбужденного атома, так что число неразличимых (и потому ненаблюдаемых) способов достижения этого термодинамического состояния системы 2 равно 1500, следовательно, ее энтропия равна $\ln(1500) = 7,31$. Если же в системе 2 необходимо разместить два состояния возбуждения, то одно из них может принадлежать любому из 1500 атомов. И вновь нужно исключить дважды учтенные одинаковые расположения, так что в итоге полное число различных расположений равно половине от произведения 1500×1499 , т.е. равно 1 124 250. Это и есть число различных способов достижения указанного термодинамического состояния системы 2. Энтропия этого состояния равна логарифму от этого числа $\ln 1\ 124\ 250 = 13,93$. Заметим, что энтропия системы 2 возрастает гораздо быстрее, чем энтропия системы 1. Это связано с тем, что система 2 больше системы 1, и одно возбужденное состояние может быть распределено по большему числу положений, чем в системе 1.

Расчет числа возможных расположений атома, которые способен осуществить демон, можно было бы продолжить, определяя соответствующие значения энтропии. Число размещений получается очень большим, но особенность логарифмов состоит в том, что большие числа превращаются в малые: логарифм очень медленная функция. (Например, натуральный логарифм от числа Авогадро превышает 10^{23}). Таким образом, хотя число размещений может достигать астрономических значений, соответствующие величины энтропии остаются вполне "земными".

Дальнейшее изменение начального состояния можно рассчитать с помощью программ на

ЭВМ, так как они становятся очень громоздкими.

Изменение энтропии каждой из систем 1 и 2 и всей вселенной (т.е. их сумма) показаны на графиках (рис. 14). Энтропия "пустых мест" демон получает, так как по мере появления возбуждения по атомам. Но энтропия начнет падать, так как в возбужденных атомах. После того, как все атомы системы 1 лишатся возможности дальнейшей деятельности, это означает, что энтропия системы 1 становится равной нулю. Энтропия системы 2 уменьшается, чтобы привести в возбужденное состояние половину атомов системы (максимальное число возбужденных в системе 2 составляет в рассматриваемом случае всего 2100, так же, как и число атомов в этой системе равно 1500). Поэтому энтропия системы 2 только повышается, а энтропия вселенной, как целого, проходит через максимум.

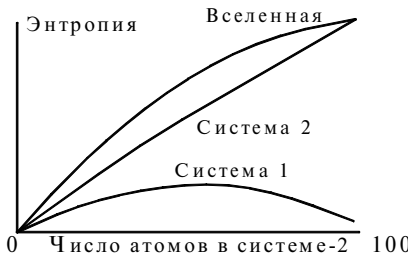


Рис. 14. Зависимость энтропии систем 1 и 2 от числа возбужденных состояний

Из приведенных графиков видно, что энтропия системы 1 достигает максимума, когда отношение числа возбужденных атомов к числу невозбужденных в системе 1 равно аналогичному отношению в системе 2. В рассмотренном случае температуры обеих систем равны. Когда температуры будут отличаться, энтропия вселенной достигнет максимума, когда температуры обеих систем будут равны, а энтропия системы 1 будет равна энтропии системы 2. Мы убедились, что формула, описывающая энтропию системы, является эквивалентно утверждению, что энергия системы стремится увеличивать энтропию вселенной.

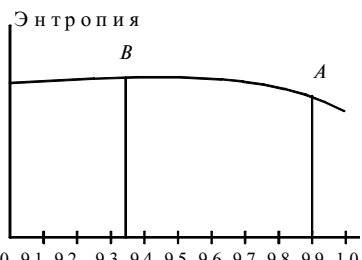


Рис. 15. График достижения максимальной энтропии вселенной

Приведенный рис. 15 позволяет определить направление потока энергии, совпадающее с направлением градиента температур. Предположим, что начальное состояние вселенной таково, что в системе 1 имеется лишь один возбужденный атом, тогда как 99 возбужденных атомов находятся в системе 2. Температура в системе 1 ниже температуры системы 2 (по ранее приведенной формуле соответственно, температуры 0,22 и 0,38). Энтропия вселенной при этом соответствует точке А на графике. Нетрудно понять, что произойдет дальше: энергия системы 2 начнет переходить в систему 1 до тех пор пока не будет достигнуто однородное распределение энергии всей доступной вселенной. Это состояние соответствует тому, что из 1600 атомов вселенной может с равной вероятностью находиться в возбужденном состоянии. Поскольку общее число возбужденных атомов равно 100, можно предсказать, что в равновесном состоянии вероятность нахождения любого из атомов в возбужденном состоянии равна $100/1600 = 0,0625$, независимо от того, принадлежит атом системе 1 или системе 2. Поскольку в системе 1 содержится 100 атомов, то в равновесном состоянии в ней должны находиться $100 \times 0,0625 = 6,25$ возбужденных атомов. Число атомов должно быть целым, так как атом может быть либо возбужденным, либо невозбужденным; поэтому число возбужденных атомов в системе 1 может колебаться около значений 6 и 7. Будем полагать его равным 6 (иногда 7). Остальные 94 (или 93) возбужденных атома находятся в системе 2.

В случае когда 6 (или 7) возбужденных атомов принадлежат системе 1, ее температура (в безразмерном виде) равна 0,36 (или 0,39). Когда 94 возбужденных атома находятся в системе 2, ее температура составит 0,37. Температуры не только совпадают, но и соответствуют максимуму энтропии вселенной, которая достигается в точке В на кривой, описывающей энтропию вселенной. Вывод из всего рассмотренного: охлаждение системы до теплового равновесия соответствует возрастанию энтропии до максимального значения.

Асимметрия природы

В конце XVIII в. Уаттом был изобретен паровой двигатель.

Уатт (Watt) Джеймс (1736 - 1819) английский изобретатель теплового двигателя. Изобрел (1774 - 1784) паровую машину с цилиндром двойного действия, в которой применил центробежный регулятор. Машина Уатта сыграла большую роль в переходе к машинному производству.



Сади Карно, сын военного министра при Наполеоне и дядя будущего президента Французской республики, сражался в предместьях Парижа. Он пришел к выводу, что одной из причин поражения явилось ее отставание в промышленном отношении, в частности Англия заметно опередила Францию в использовании энергии пара.

Карно (Carnot) Никола Леонар Сади (1796 - 1832) - французский физик и инженер один из основателей термодинамики. Рассмотрел идеальный термодинамический цикл и доказал теорему, носящую его имя. Умер от холеры.



Карно осознавал, что овладеть энергией пара важно не только потому, что это обеспечивает промышленное и военное производство. Он полагал, что страна, сумевшая более эффективно использовать энергию пара, способна стать лидером социальных и политических преобразований, значительно более глубоких, чем те, что недавно пережила Франция. Карно видел в паровой машине тот уникальный двигатель, которому ввиду его высокой экономичности предстоит замена животных как тягловой силы, и благодаря большой надежности и контролируемости превзойти такие традиционные источники механической энергии, как ветер и вода. Карно не сомневался, что универсальный двигатель сможет значительно расширить социальные и экономические возможности человечества, открыть перед ним путь к новым достижениям.

Карно тщательно проанализировал условия совершенствования паровых машин, однако был весьма далек от практического воплощения своих выводов. Он не мог предвидеть того переворота в *мышлении*, которому суждено было произвести его чисто техническими изысканиями. Карно установил, что процессу преобразования теплоты в работу присуща некая "внутренняя неэффективность"; при этом он использовал метод рассуждений, который получил распространение лишь полтора столетия спустя. Определив пределы возможностей паровой машины (максимальный КПД) Карно неожиданно выработал совершенно новое отношение ко всем изменениям вообще, в частности к преобразованию запасенной в угле энергии в механическую энергию. По существу Карно заложил основы новой науки, выходящей за рамки абстрактной физики Ньютона, которая позволяла оперировать как

отвлеченным понятием изолированной частицы, так и реальными тепловыми машинами.

Карно придерживался общепринятой в то время теории, согласно которой теплота представляет собой некую не имеющую массы жидкость - *теплород*. Он считал, что действие паровой машины аналогично действию водяной мельницы: теплород как бы перетекает от котла к конденсатору, тем самым приводя в движение соединенные с машиной механические устройства - подобно тому, как поток воды приводит в движение мельничные жернова. Карно полагал, что в соответствии с этой аналогией количество теплорода остается неизменным в процессе совершения работы. Иными словами, анализ Карно был основан на предположении о сохранении количества теплоты в процессе действия машины, сама же работа, по его мнению, создавалась двигателем потому, что теплород перетекал от горячего ("высокого" в тепловом смысле) источника к холодному ("низкого" в тепловом смысле) стоку*.

Чтобы отделить истину в рассуждениях Карно от ложных концепций, потребовались исследования, которые были по силам ученым лишь следующего поколения, родившимся в 20-х гг. XIX в. Из них можно выделить трех ученых: Джоуля, Кельвина и Клаузиуса.

Джоуль (Joule) Джеймс Скот (1818 - 1889) - родился в семье пивовара из Манчестера (Англия). Достаток семьи, владевшей пивоваренным производством позволил Джоулю беспрепятственно развивать свои научные интересы. Он стремился выявить общую основу всех явлений, представлявших в то время научный интерес, дав им единое объяснение. К ним относились явления из области электричества, электрохимии, а также тепловые и механические процессы.



Тщательные опыты, проведенные Джоулем в 40-х гг. XIX в., подтвердили, что теплота в этих процессах не сохраняется. Путем все более точных измерений Джоуль *количественно* показал, каким образом работа переходит в теплоту. Так родилось понятие о *механическом эквиваленте теплоты* и укрепилось представление о взаимопревращаемости теплоты и работы; стало также совершенно очевидным, что теплота - отнюдь не вещество, подобное воде.

Именно результаты этих экспериментов лишили смысла ту основу, на которой Карно строил свои выводы, однако, сами выводы остались в силе.

О вкладе Кельвина и Клаузиуса в развитие термодинамики мы упоминали ранее.

На основе их исследований возникла новая наука, названная термодинамикой, которая

* Цикл реальных паровых двигателей и двигателей внутреннего сгорания по сравнению с циклом Карно имеют худшие характеристики по преобразованию теплоты в механическую энергию, ввиду того, что невозможно точно провести процессы изотермические ($T_1 = \text{const}$, $F_2 = \text{const}$) и адиабатические, требующие идеальной изоляции цилиндров ($Q = 0$), всегда будут потери тепла ($Q \neq 0$). Поэтому КПД реального двигателя всегда меньше КПД идеального двигателя Карно:

$$\frac{\eta}{\eta_K} \leq 1,$$

где η - КПД реального двигателя.

описывала, в частности механическое действие теплоты; одновременно начало складываться понимание того, что в природе существует два независимых фундаментальных вида движения: в макром мире - физика Ньютона и в микромире - теплота.

Область применения термодинамики охватывает весь диапазон человеческой деятельности, в том числе организацию и использование не только материальных ресурсов, но и различных идей, особенно касающихся природы любых изменений в окружающем нас мире. В истории науки найдется немного достижений по богатству своих идей и приложений сравнимых с термодинамикой - "детисцем" паровой машины и атома.

ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Само название термодинамика указывает на происхождение этой науки, занимавшейся первоначально изучением теплоты; в дальнейшем, однако, она включила в себя изучение превращений энергии во всех ее формах. Термодинамика основана на небольшом числе утверждений, которые, в сжатой форме обобщают огромный опыт человечества по изучению свойств энергии в процессах ее превращений. Эти утверждения носят название *законов* (или *начал*) *термодинамики*.

Всего насчитывается *четыре* закона или начала (иногда к числу законов термодинамики относят еще один (*пятый*), называемый общим началом, в котором постулируется существование состояния равновесия)*.

Первым во времени было установлено *второе начало*, последним - *нулевое начало*; в промежутке между ними были установлены *первое и третье начала* термодинамики. Содержание этих законов проще, чем их хронология, отражающая трудности установления свойств столь эфемерного объекта, каковым является энергия.

Нулевое начало термодинамики сформулированное всего около 60 лет назад, по существу представляет собой полученное "задним числом" логическое оправдание для введения понятия температуры физических тел. Температура - одно из самых глубоких понятий термодинамики. Температура играет столь же важную роль в термодинамике, как, например, время в разделе физики, называемом просто динамикой. Интересно отметить, что между этими величинами действительно есть аналогии, причем несколько более глубокие, чем просто совпадение обозначений с помощью одной и той же буквы *t*. Можно, не вдаваясь в глубину вопроса, считать, что температура - это просто уточнение и количественное выражение повседневного понятия "степени нагретости".

Первое начало обычно коротко формулируется так: "Энергия сохраняется". Тот факт, что сохраняется именно *энергия*, а не теплота, стал основополагающим открытием 50-х гг. прошлого столетия, которым мы обязаны Кельвину и Клаузиусу. Основным достижением науки XIX в. явилось признание энергии, как наиболее общего понятия, позволяющего рассматривать с единой точки зрения все явления и процессы. Впервые центральное место в физике заняло совершенно абстрактное понятие; оно пришло на смену введенному еще во времена Ньютона (XVII в.) понятию "силы" - на первый взгляд более конкретному и "осязаемому" и к тому же успешно математизированному Ньютоном.

Сегодня понятие энергии настолько прочно вошло в нашу жизнь, что очень трудно представить себе истинный масштаб интеллектуального достижения, которое заключалось в формулировке этого понятия. Не менее трудно и дать ему точное определение. Не вдаваясь в детали, будем считать, что понятие энергии интуитивно ясно и адекватно отражается в своем определении: энергия - это способность совершать работу. Когда понятие энергии выдвинулось на центральное место в физике, можно установить достаточно точно. Еще в 1846

* Весьма интересно, например, сравнительно недавнее оригинальное использование идей и методов термодинамики для анализа свойств необычных астрофизических объектов, называемых "черными дырами". Аналогия черных дыр с тепловыми машинами оказалась чрезвычайно плодотворной.

г. Кельвин утверждал, что физика основана на понятии силы; однако после встречи и беседы с Джоулем в 1847 г. он (к 1851 г.) в конце концов принял новую точку зрения. Энергия предстала отныне как фундаментальная величина, которая всегда присутствует во всех явлениях, тогда как силы могут появляться и исчезать. Понятие энергии отвечало и религиозным воззрениям Кельвина: он считал, что творец в момент создания мира наделил его запасом энергии, и этот божественный дар будет существовать вечно, тогда как эфемерные силы подвержены многим превращениям, и с их помощью в мире ткется ткань преходящих явлений*.

Кельвин надеялся, что ему удастся поднять авторитет понятия "Энергия", которое в руках большинства физиков середины XIX в. было бы не более удобным формальным инструментом при анализе возможных изменений в системе частиц, лишенных притока энергии извне. Он также надеялся создать новую физику, целиком основанную на понятии энергии и свободную от ограничений, присущих тем или иным моделям. Кельвин считал, что все явления можно объяснить с помощью представлений о преобразовании энергии, а сами атомы - и другие объекты следует рассматривать исключительно как проявление наличия энергии.

Современная физика до некоторой степени подтверждает взгляды Кельвина, однако она при этом не отрицает существования самих атомов как носителей энергии.

Второе начало термодинамики устанавливает наличие в природе фундаментальной асимметрии, т.е. однонаправленности всех происходящих в ней самопроизвольных процессов. Достаточно заметить, что об этой асимметрии свидетельствует все окружающее нас: горячие тела со временем охлаждаются, однако, холодные сами по себе отнюдь не становятся горячими; прыгающий мяч со временем останавливается, тогда как покоящийся мяч самопроизвольно не начинает прыгать. Здесь проявляется свойство природы, которое Кельвин и Клаузиус смогли отделить от свойства сохранения энергии. Это свойство состоит в том, что хотя полное количество энергии должно сохраняться в любом процессе (так эти ученые модифицировали первоначальную формулировку Карно о сохранении теплорода), *распределение* имеющейся энергии изменяется необратимым образом. Второе начало термодинамики указывает естественное направление, в котором происходит изменение распределения энергии, причем это направление совершенно не зависит от ее общего количества. О втором начале термодинамики речь шла ранее и будет продолжена позже.

Третье начало термодинамики касается свойств частиц при очень низких температурах. Оно утверждает о невозможности охлаждения веществ до температуры абсолютного нуля посредством конечного числа шагов. Третье начало вполне можно считать одним из "настоящих" законов термодинамики, поскольку оно очевидным образом предполагает атомное строение вещества, тогда как другие законы представляют собой лишь обобщение накопленного опыта и не зависят ни от каких предположений подобного рода. Между третьим началом термодинамики и остальными ее законами обнаруживается существенное различие, причем даже логическое обоснование третьего начала выглядит не столь надежным, как остальные законы.

* Современный скептически настроенный космолог мог бы посмеяться над этим утверждением Кельвина. Согласно одной из версий теории Большого взрыва, называемой теорией расширяющейся Вселенной, полная энергия Вселенной действительно постоянна, но равна при этом нулю! Положительная часть энергии Вселенной, представленная в основном энергией, эквивалентной массе существующих во Вселенной частиц, может быть в точности скомпенсирована отрицательной частью энергии, обусловленной гравитационным потенциалом поля притяжения. Таким образом, суммарная энергия может быть равна нулю.

ПРОЯВЛЕНИЕ АСИММЕТРИИ

Внутренняя асимметрия (т.е. однонаправленность процессов), присущая природе, находит свое отражение в истории технического развития человеческой цивилизации. На протяжении тысячелетий превращение запасенной энергии или работы в теплоту было самым обычным делом. Однако широкое овладение обратным процессом - управляемым преобразованием теплоты или запасенной энергии в работу - по-настоящему началось лишь с наступлением промышленной революции. Мы говорим здесь "по-настоящему", поскольку работу люди, безусловно, научились получать много веков назад. Одним из примеров может служить преобразование энергии ветра (по существу одного из видов запасенной солнечной энергии) в движение жерновов мельниц и кораблей. Другой, более косвенный пример, хотя с тем же конечным результатом, - использование работы, совершаемой животными. Но лишь с началом промышленной революции неожиданное открытие способов использования и преобразования теплоты в работу стало активно воплощаться в жизнь. Отныне при совершении работы человек обрел независимость от животных и избавился от "диктата" природы с ее односторонне направленными процессами.

Первобытные люди научились добывать теплоту по мере необходимости и с избытком путем сжигания различных видов топлива. Если не учитывать таких естественных источников энергии, как ветер и домашний скот, то человечеству понадобились тысячелетия, чтобы открыть значительно более сложные способы, посредством которых запасенную в топливе энергию можно превращать в работу.

Разумеется первобытные люди не ведали, что в зажженных ими кострах высвобождается энергия, ранее отобранная у Солнца. (Заметим, что многие древние народы поклонялись Солнцу, хотя это чисто случайное совпадение). На первых порах запросы человеческой цивилизации были скромны, так что их можно было удовлетворить за счет энергии солнечного излучения, запасенного деревьями в процессе их роста. Однако с развитием цивилизации потребности в энергии росли, "законсервированная" солнечная энергия использовалась все более интенсивно, и в качестве основного вида топлива на смену дерева пришел уголь. Но это не была еще техническая революция, поскольку происходящие изменения носили не качественный, а количественный характер: люди вынуждены были углубляться все дальше в прошлое, используя солнечную энергию, накопленную в более отдаленные времена.

Это углубление в прошлое по существу продолжается в наше время: мы стремимся "пожать" посеянный тогда урожай. Мы широко используем, например, огромные запасы нефти - эти частично распавшиеся останки былой подводной жизни (которая, кстати, также существовала за счет Солнца). Однако наши потребности неуклонно растут, и мы углубляемся еще дальше в прошлое, пытаясь собрать "дань" не только с Солнца, но и с других звезд. Так атомы урана, которые мы сжигаем в современных "очагах" - ядерных реакторах, это не более чем "пепел" давно сгоревших звезд. Эти атомы образовались в период агонии ранних поколений звезд, когда легкие атомы, энергично соударяясь друг с другом, сливались во все более тяжелые. Старые звезды взрывались, высвобождая атомы, которые распространялись затем по всему космическому пространству, попадали в очередное "пекло", вновь участвовали во взрывах и рассеивались, пока наконец не собрались в недрах горы, из которой мы решили их добыть.

Однако в поисках энергии, завещанной нам прошлым, мы заходим все дальше. Мы пытаемся "копаться" сейчас в эпохах, предшествующих не только рождению Земли, но и даже смерти первых поколений звезд, - мы роемся в пепле ранней Вселенной.

В первые мгновения рождения Вселенной Большой взрыв потряс до основания пространство-время, и в расширяющемся космосе царил невообразимый беспорядок и хаос; однако в этом величайшем катаклизме возникли лишь простейшие из атомов. Образуно

говоря, космическая "гора" родила космическую "мышь": когда хаос миновал, налицо оказался один водород, лишь чуточку "приправленный" гелием. Эти элементы (и по сию пору имеющиеся в избытке по сравнению с другими элементами) и есть "пепел" и "зола" Большого взрыва. Наши попытки получить управляемую термоядерную реакцию (синтез атомов водорода в атомы гелия) направлены по существу на то, чтобы овладеть энергией, которой обладают эти атомы. Водород - старейшее из ископаемых видов горючего, и когда мы овладеем реакцией термоядерного синтеза, это будет означать, что мы докопались до самого "начала времени".

Возникновение и развитие цивилизации характеризуется тем, что мы разрабатываем удобные и компактные источники энергии, сформировавшиеся во все более далеком прошлом. Однако при этом мы фактически реализуем всего-навсего одно примитивное открытие, а именно, возможность высвобождения запасенной энергии в форме теплоты. Поэтому сколь бы ни были сложными новые "очаги", сгорание топлива любого происхождения - органического, звездного или даже рожденного в Большом взрыве - это не более чем поэтапное совершенствование древнего открытия. Подобные совершенствования сами по себе не являются революциями, - это лишь качественно более эффективное использование старых, как мир, процессов.

Истинная революция в технике свершилась тогда, когда человек сумел освоить другой аспект асимметрии природы: преобразование теплоты в работу. Не случись этого, мы, возможно, были бы всегда согреты, но не стали бы мудрее. Этот аспект асимметрии природных процессов позволяет не просто овладеть энергией, но и извлечь из нее *движущую* силу, которая, в свою очередь, помогает нам воздвигать искусственные сооружения, создавать транспортные средства и даже поддерживать связь на расстоянии. Почему же понадобилось столько времени, чтобы не только обнаружить, но и использовать эту асимметрию?

Перед человечеством стояла задача выделить упорядоченное движение из неупорядоченного, поскольку именно в характере движения состоит отличие работы от теплоты. Нам предстоит глубже проникнуть в природу асимметрии, для чего нужно перейти из эпохи, предшествующей деятельности Карно, в эпоху, когда благодаря усилиям Клаузиуса и Кельвина возникло новое современное понимание данной проблемы.

СУЩНОСТЬ АСИММЕТРИИ

Чтобы установить истинную сущность асимметрии природных явлений, воспользуемся паровой машиной - фактически именно это делал Карно. Затем мы, образно говоря, проникнем внутрь этой машины и выясним - уже на уровне атомов, - в чем состоит основа асимметрии физических явлений. Такой подход был предложен в свое время Клаузиусом, а затем развит Больцманом.

Паровая машина или вообще тепловой двигатель - это устройство, преобразующее теплоту в работу. Работа - это процесс, подобный подъему груза.

Двигатель должен осуществлять преобразование теплоты в работу неопределенно долгое время, скажем, пока работает фабрика, или движется корабль. В разовых, однократных процессах преобразования - например, при выбрасывании пушечного ядра за счет сгорания пороха - также производится работа, однако устройства, в которых происходит такое преобразование, не являются двигателями в прямом смысле. Мы называем двигателем устройство, которое работает циклически, и потому периодически (например, за один или несколько оборотов коленчатого вала) возвращается в начальное положение. Такое

устройство может работать сколь угодно долго, потребляя энергию, поставляемую нагревателем, который, в свою очередь, питается энергией за счет сгорания топлива.

Как сами двигатели, так и осуществляемые ими рабочие циклы могут быть достаточно сложными - это определяется здесь последовательность этапов идеализированный и очень прост воспроизвести рабочие процессы, турбинах и реактивных двигателях. Простейший двигатель снабженного поршнем. Цилиндр горячим паром от котла) и с холодной водой); он может также оставаться полностью изолированным.

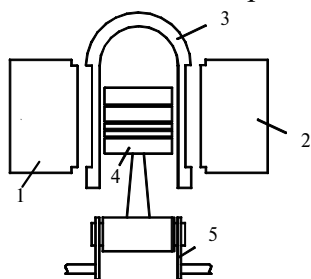
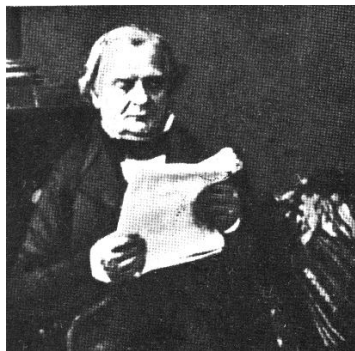


Рис. 16 Схема двигателя

обной отправной точкой служит циклом Карно. Это абстрактно - усовершенствовать так, чтобы в машинах, например, газовых иметь особенности, присущие всем цилиндра, заполненного газом и такт с нагревателем (например, с холодной водой); он может также

Понять действие двигателя в процессе рабочего цикла можно, проследив за изменением давления внутри цилиндра. Диаграмма графически изображающая зависимость давления от объема на каждой стадии цикла, называется *индикаторной диаграммой*. Подобные диаграммы впервые были введены Джеймсом Уаттом, однако хранились им как "секрет фирмы", и лишь французский ученый Эмиль Клапейрон стал использовать их для анализа цикла Карно.



Клапейрон (Clapeyron) Бенуа Поль Эмиль (1799 - 1864) - французский физик и инженер. В 1820 - 1830 гг. работал в России в Петербургской академии наук. Ввел в термодинамику индикаторные диаграммы, вывел так называемые уравнения Клапейрона и Клаузиуса.

Карно многим обязан Клапейрону, так как последний не только уточнил детали цикла Карно, но и дал его полное математическое описание с помощью индикаторных диаграмм.

Чтобы проследить за всеми этапами рабочего цикла двигателя, необходимо познакомиться с некоторыми элементарными свойствами газов. По мере уменьшения объема данного количества газа (что достигается вдвиганием поршня в цилиндр) его давление возрастает. Величина прироста давления зависит от усилий сжатия. Если при сжатии газ все время находится в контакте с каким-то тепловым резервуаром или *термостатом* (например, с водяной баней или большим куском железа), то температура его остается постоянной, а сжатие называется *изотермическим*. При этих условиях рост давления описывается изотермой, одной из кривых, изображенных на рис. 17 - это гиперболы. Возможна и другая ситуация, т.е. когда газ термически изолирован (например, цилиндр обернут в прокладку из термоизолирующего материала) - соответствующий процесс сжатия называется *адиабатическим*. Экспериментально и математически доказано, что температура при этом растет. Рост температуры газа, в свою очередь, увеличивает давление при данном объеме. В итоге давление газа при адиабатическом сжатии растет быстрее, чем при изотермическом.

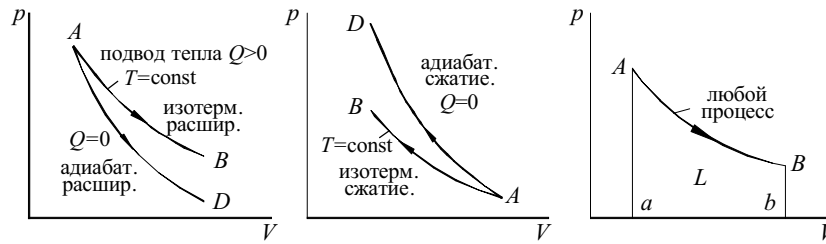


Рис. 17 Процессы изотермического и адиабатического расширения и сжатия газов

При расширении рассматриваемые изменения давления происходят в обратном направлении. На рис. 18 изображены четыре стадии цикла Карно.

Первый такт цикла - изотермическое расширение газа. При этом поглощается тепло Q_2 и поддерживается постоянная температура T_2 , т.е. это изотермическое расширение. Этап AB - рабочий ход поршня.

Второй этап цикла BC - адиабатическое расширение. Тепловой контакт с нагревателем разомкнут, падают и давление и температура. Это тоже рабочий такт (этап), однако теперь используется энергия, запасенная в самом газе, поскольку он уже не может пополнять ее за счет нагревателя.

Теперь надо начинать возврат поршня (газа) в начальное положение. Такт CD - изотермическое сжатие. Чтобы процесс протекал изотермически необходимо отводить тепло Q_1 при T_1 , возникающее в результате сжатия газа. Причем $Q_1 < Q_2$, $T_1 < T_2$. Тепло Q_1 отводится холодильником. Чтобы возвратиться в точку A , процесс DA , требуется опять адиабатическое сжатие (газ изолирован, $Q = 0$).

Просто доказывается, что некоторый процесс AB в PV координатах, производит работу L , равную площади фигуры $ABbaA$ - в случае расширения газа (рис. 17).

Если процесс протекает в обратном направлении BA , то для перевода газа из состояния B в состояние A требуется затратить работу, энергию - газ мы сжимаем, равную той же площади фигуры $BAabB$. Логично себе представить, что проведение полного цикла Карно, полезная работа двигателя будет равна площади фигуры $ABCD$. Заметим, что подвели мы количество тепла Q_2 (топливо, нагреватель), а отвели в холодильник из отведенного тепла количество тепла Q_1 , т.е. все тепло Q_2 мы в работу не превратили, обязательно вынуждены часть его отвести в холодильник.

Обобщим полученные результаты. Цикл Карно - это лишь один из возможных способов получения работы с помощью теплоты. Как и в любом цикле Карно, в каждом двигателе должен быть свой холодильник, причем на определенной стадии цикла этому холодильнику необходимо отдавать часть энергии. В этом по существу и состоит второе начало термодинамики. Все что утверждает этот закон, сводится к невозможности полного преобразования теплоты в работу в циклически действующем двигателе, часть теплоты неизбежно придется отдать холодильнику.

Снова мы вводим второе начало в наши рассуждения, и делаем это для того, чтобы подчеркнуть своеобразный характер термодинамики как науки. Все, что на первый взгляд утверждает этот закон, сводится к невозможности полного преобразования теплоты в работу в циклически действующем двигателе: часть теплоты неизбежно придется отдать холодильнику. По-видимому существует своего рода фундаментальный "налог": природа признает эквивалентность теплоты и работы, но требует с нас "контрибуцию" всякий раз, когда теплота преобразуется в работу.

Подчеркнем существующую асимметрию: природа не облагает "налогом" преобразование работы в теплоту: например, за счет трения мы можем полностью разбазарить с таким трудом полученную работу (в буквальном смысле слова "протереть" ее). Однако с теплотой так поступать мы уже не сможем: в отличие от работы она облагается "налогом".

Область применения *второго начала* термодинамики выходит теперь далеко за пределы паровой машины. Этот закон теперь во всеуслышание заявляет о себе. Его действие распространяется даже на явления жизни.

ПРИРОДА ТЕПЛОТЫ И РАБОТЫ

Наиболее важный итог развития термодинамики в XIX в. состоит в том, что мы смогли понять лучше природу теплоты и работы, а именно: было открыто, что эти наименования относятся не к *предметам*, а к *средствам* или *способам*. Первоначально в XIX столетии теплота рассматривалась как некий предмет, невесомый флюид, называемый теплородом. Ныне точно известно, что никакого материального объекта, называемого теплотой, не существует. Мы не можем заключить теплоту в сосуд или "перелить" ее из одного куска металла в другой. То же справедливо и в отношении работы: она тоже не является предметом, ее нельзя запасти или перелить.

Оба термина - *теплота* и *работа* - характеризуют способы передачи энергии. Сообщить какому-то телу количество теплоты, т.е. *нагреть* его, означает передать ему энергию строго определенным образом (используя разность температур между более и менее нагретыми телами). *Охладить* объект - это значит произвести действие, обратное нагреванию, т.е. отвести от него энергию, используя разность температур между охлажденным и более холодным телами. Особо важно отметить и запомнить, что *теплота* - это отнюдь не одна из форм энергии, а название одного из способов передачи энергии^{*1}.

Подобное относится и к работе. Работа - это то, что мы совершаем, когда нам необходимо тем или иным способом изменить энергию объекта, не используя при этом разность температур. Так, при подъеме груза с пола или при въезде грузовика на вершину холма совершается работа: подобно теплоте, работа не является формой энергии - это лишь название другого способа передачи энергии^{*2}.

ЗАРОЖДЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ

Уточним формулировку второго начала термодинамики. Пока он проник в наши рассуждения лишь как малосущественный комментарий к одному не слишком интересному опыту с тепловыми машинами. Как мы видели, чтобы преобразовать теплоту в работу, необходимо наличие холодильника. Если изложить этот опытный факт более строго, то мы придем ко второму началу термодинамики в *формулировке Кельвина*.

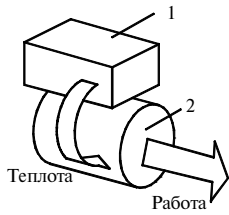
☛ Невозможен процесс, единственный результат которого состоял бы в поглощении теплоты от нагревателя и полного преобразования этой теплоты в работу (рис. 19).

^{*1} Энергия, связанная с *внутренним* движением частиц, составляющих термодинамическую систему (иногда ошибочно называется тепловой энергией или теплотой), носит название *внутренней энергии*, она зависит от внешних параметров и температуры системы.

^{*2} Следует подчеркнуть, что *других* способов передачи энергии при взаимодействии термодинамической системы с *окружающей средой*, кроме работы и теплоты, вообще не существует. При этом в первом случае внешние параметры системы (объем, напряженности полей) изменяются, а во втором - нет. Теплообмен может происходить или в форме теплопроводности или конвекции при непосредственном контакте, так и в наиболее универсальной форме теплового излучения.

Второе начало термодинамики в формулировке Кельвина ограничивает возможность полного преобразования данного количества теплоты в работу без каких-либо других изменений в окружающей среде.

В формулировке Клаузиуса отрицает возможность самопроизвольного течения теплоты от менее нагретого (холодного) тела к более нагретому (горячему) телу.



Второе начало термодинамики утверждает, что невозможно полностью преобразовать теплоту в работу, однако ничего не говорится о полном преобразовании работы в теплоту. Нам известно, никаких ограничений на обратный процесс не существует: работу можно полностью преобразовать в теплоту без каких-либо иных наблюдаемых изменений. Например, при торможении автомобиля за счет трения может "рассеяться" вся работа, совершаемая двигателем. Здесь мы встречаемся с фундаментальной асимметрией природы: работа и теплота, будучи эквивалентными в качестве возможных способов передачи энергии, все же не вполне эквивалентны с точки зрения их взаимных переходов друг в друга.

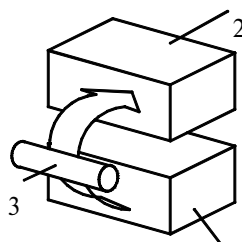
Формулировку Кельвина не стоит трактовать слишком широко. В ней отрицается лишь возможность процессов, так что при этом не происходит никаких других изменений во Вселенной. Однако формулировка Кельвина не отрицает возможности полного перехода теплоты в работу, если при этом допустимы и другие изменения. Например, пушки могут стрелять ядрами благодаря тому, что теплота, создаваемая при сгорании заряда, полностью преобразуется в работу по выбрасыванию ядра. Однако процесс выстрела из пушки является в полном смысле слова *разовым*, и состояния всей системы до и после выстрела, т.е. в результате перехода теплоты в работу, совершенно различны. Объем газа, выталкивающего ядро из пушки, остается большим - газ не испытывает сжатия в исходное состояние; процесс пушечного выстрела *не является циклическим*.

Одно из замечательных свойств термодинамики состоит в том, что в ней высказывания, на первый взгляд совершенно не связанные между собой, оказываются иногда эквивалентными.

В качестве примера, который в конце концов позволяет оторвать второе начало термодинамики от "породившей" его паровой машины, приведем альтернативную формулировку этого закона, данную Клаузиусом.

Невозможен процесс, единственным результатом которого состоял бы в переходе энергии от более холодного тела к более горячему (рис. 20).

Утверждение Клаузиуса является частью практической деятельности человека: насколько известно, что естественным образом (без каких-либо воздействий извне) не происходит спонтанный (т.е. без внешнего воздействия) переход энергии от более холодного тела к более горячему. Законы термодинамики игнорируют появление всякого рода миражей. Проверенная временем способность этих законов служить дополнительным доказательством действительности процесса охлаждения воздуха необходима для осуществления процесса охлаждения.



Это служит ярким подтверждением справедливости второго начала термодинамики в формулировке Клаузиуса: несмотря на то, что теплота самопроизвольно не переходит к более горячему телу, можно намеренно вызвать этот переход в определенном направлении, если допустить возможность тех или иных изменений где-либо во Вселенной. Так, холодильник работает за счет того, что где-то сгорает уголь, падает поток воды или происходит деление ядра. Второе начало термодинамики как раз и определяет, что следует считать *противоестественным* процессом, однако не запрещает нам осуществлять его посредством проведения где-либо в

другом месте вполне естественного процесса.

Формулировка Клаузиуса, подобно формулировке Кельвина, также устанавливает фундаментальную асимметрию природы, однако асимметрию совершенно иного типа. В формулировке Кельвина говорится об асимметрии между работой и теплотой, тогда как в формулировке Клаузиуса вообще нет явного упоминания о работе. Асимметрия, которую устанавливает второе начало термодинамики в формулировке Клаузиуса, - это асимметрия между возможными направлениями естественных процессов при наличии перепада температур энергия может самопроизвольно переходить лишь "сверху вниз", т.е. от тела с более высокой температурой к телу с более низкой, но не наоборот. Эти асимметрии-близнецы помогают нам описывать происходящие в природе естественные процессы.

Очевидно, что не может существовать *двух* вторых начал термодинамики; поэтому, если обе эти асимметрии-близнецы правомерны, они должны быть выражением *единого* закона, или более общей формулировки, чем каждая из формулировок Кельвина или Клаузиуса по отдельности. Несмотря на внешнее различие, обе эти формулировки логически эквивалентны: существует лишь одно второе начало термодинамики, и оно может быть выражено любой из двух формулировок*.

Со временем из двух близнецов-асимметрий уцелеет лишь один - он-то и станет основой для термодинамики.

Логическими рассуждениями (от противного) можно доказать эквивалентность формулировок второго начала термодинамики в формулировке Кельвина и в формулировке Клаузиуса. Оставим, однако, это за рамками наших рассуждений.

ДВИЖЕНИЕ К ХАОСУ

Развитие любой науки характеризуется тем, что она все более переходит от качественного описания к количественному. Понятия, которыми оперирует любая наука или теория, всегда открыты для дальнейшего уточнения; в результате непрерывно совершенствуется структура теории. Если понятия и основанные на них законы формулируются, то следствия из них можно извлечь вполне определенным путем. Мы уже встречались с такими понятиями, как температура, и придадим количественный смысл такому понятию, как температура.

Вопросом, касающимся понятия *теплового равновесия* между двумя телами, является то, в каком случае существует тепловое равновесие. Тепловое равновесие существует в том случае, если система *A* находится в тепловом равновесии с системой *B*, однако результирующие потоки энергии отсутствуют.

Для того чтобы выразить это условие количественно, необходимо ввести понятие *температуры* системы таким образом: если оказывается, что системы *A* и *B* имеют одинаковую температуру, то отсюда с неизбежностью следует, что эти системы находятся в тепловом равновесии друг с другом. Таким образом, нулевое начало убеждает нас в целесообразности введения "нового" свойства системы, которое позволило бы без труда определить, находится ли данная система в тепловом равновесии с любой другой системой.

Изолированная система может в принципе перейти из данного состояния в любые другие состояния с той же энергией (*A, B, C, D*). Однако переходы системы в состояния, отличающиеся по энергии от исходного (*E, F*) противоречат первому началу термодинамики.

Первое начало термодинамики аналогичным образом утверждает целесообразность введения еще одного понятия, называемого *энергией*. Нас интересует, в какие состояния может перейти система, если сообщить ей теплоту или совершить над ней работу. Определим, возможно ли достижение системой того или иного состояния при заданном

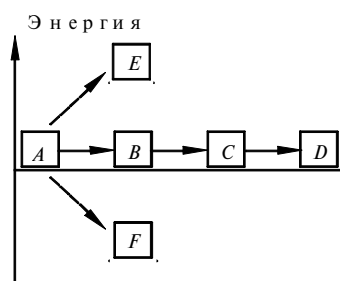


Рис. 21 Энергетическая модель

представление *температуры* системы таким образом: если оказывается, что системы *A* и *B* имеют одинаковую температуру, то отсюда с неизбежностью следует, что эти системы находятся в тепловом равновесии друг с другом.

Таким образом, нулевое начало убеждает нас в целесообразности введения "нового" свойства системы, которое позволило бы без труда определить, находится ли данная система в тепловом равновесии с любой другой системой.

Изолированная система может в принципе перейти из данного состояния в любые другие состояния с той же энергией (*A, B, C, D*). Однако переходы системы в состояния, отличающиеся по энергии от исходного (*E, F*) противоречат первому началу термодинамики.

Первое начало термодинамики аналогичным образом утверждает целесообразность введения еще одного понятия, называемого *энергией*. Нас интересует, в какие состояния может перейти система, если сообщить ей теплоту или совершить над ней работу. Определим, возможно ли достижение системой того или иного состояния при заданном

* Фактически число известных формулировок второго начала больше двух, (например, имеется формулировка о невозможности так называемого вечного двигателя второго рода), однако все они вполне эквивалентны.

начальном состоянии, удастся посредством введения понятия энергии. Пусть новое состояние отличается по энергии от начального на величину, не совпадающую с количеством сообщенной системе теплоты или величиной произведенной над ней работы. Тогда, согласно первому началу термодинамики, можно сразу утверждать, что такое состояние исключено. Чтобы энергия приняла требуемое значение, характеризующее новое состояние, необходимо совершить большую или меньшую работу или сообщить системе большее или меньшее количество теплоты. Таким образом, *энергия системы - это свойство*, позволяющее решить вопрос, может ли система достигнуть того или иного состояния.

Исходя из этого, можно предположить, что системы могут обладать еще одним свойством, позволяющим количественно описать ограничения, налагаемые вторым началом термодинамики. Такое свойство должно было бы показать уже не просто возможность достижения системой нового состояния из заданного начального (это с помощью первого начала позволяет сделать энергия). Новое свойство призвано сразу указывать на возможность спонтанного достижения системой того или иного конечного состояния. Это свойство должно служить своего рода "меткой" естественного спонтанного изменения, которое может происходить в самой системе, не требуя внешнего вмешательства.

И такое свойство действительно существует. Это *энтропия* системы - по-видимому самое знаменитое и внушающее благоговейный трепет термодинамическое свойство.

ЭНТРОПИЯ

Дадим рабочее определение энтропии, используя уже знакомые нам представления. Первое начало термодинамики говорит нам об энергии системы, свободной от внешних воздействий. Здесь речь идет о постоянстве или сохранении энергии *изолированной системы*, на которую невозможно повлиять извне ни посредством теплоты, ни посредством работы. Такую систему мы будем называть *вселенной*. Аналогично и понятие энтропии будет также относиться к изолированной системе - вселенной.

В термодинамике основным объектом изучения служит некая область вселенной, называемая *системой*, которая со всех сторон охвачена окружающей средой. Система вместе с окружающей средой образует *вселенную* (рис. 22). Эта вселенная составляет лишь крошечную часть *Вселенной* (например, это может быть внутренняя область замкнутого сосуда с газом или резервуар с водой, поддерживаемый постоянной температурой).

Система имеет два состояния: например, в одном из них она содержит горячий кусок металла, а в другом - холодного. Тогда согласно первому началу термодинамики состояние может быть получено из первого только в том случае, если работа, совершенная над системой, одинакова в обоих состояниях.

Второе начало термодинамики (вселенная), содержащая горячий кусок металла, находится в состоянии *A*, а вселенная, содержащая такой же кусок холодного металла, если даже полная энергия обеих систем одинаковы. Должно существовать свойство, отличное от полной энергии, которое определило бы направление самопроизвольного изменения состояния.

Используя второе начало мы исследуем другой признак системы - энтропию (а не энергию). Определим энтропию так: если она выше в состоянии *B*, чем в состоянии *A*, то *B* может возникнуть *самопроизвольно* из состояния *A*. С другой стороны, если даже система в состояниях *A* и *B* одинакова, но при этом энтропия в состоянии *B* меньше энтропии в состоянии *A*, то состояние *B* не может возникнуть самопроизвольно. Чтобы в этом случае произошел переход из состояния *A* в состояние *B*, нам придется нарушить изоляцию вселенной с помощью какого-нибудь технического устройства (например холодильника) и принудить ее перейти из состояния *A* в состояние *B*; ценой такого перехода будет изменение состояния нашей большой Вселенной.

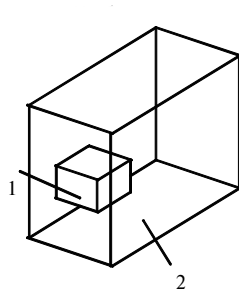
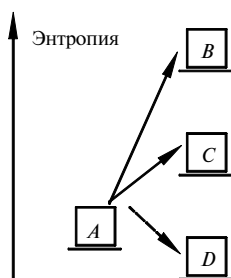


Рис. 22. Модель вселенной

Состояния A, B, C, D , изображенные на рис. 23 обладают одинаковыми энергиями, но различными значениями энтропии. Переходы из состояния A в состояния B и C могут происходить самопроизвольно, поскольку каждый из них сопряжен с увеличением энтропии. Переход из состояния A в состояние D не происходит сам по себе, поскольку для этого понадобилось бы понизить значение энтропии вселенной. Вселенная всегда "поднимается" *вверх* по оси энтропии.

Определение энтропии след естественных изменениях энтропи Кроме того, ее нужно определить 1 термодинамики в обеих его форму можно одновременно отразить в *сопровождается возрастанием эн*



обы в любой вселенной при гивоестественных" - понижалась. эволюило выразить второе начало Кельвина. Обе эти формулировки дении: *Естественные процессы*

Формулировку Кельвина для пользуясь понятием энтропии, если определить энтропию системы так, что она должна возрастать при нагревании системы. Мы, но оставаться неизменной при совершении над системой работы. При этом подразумевается, что при охлаждении системы ее энтропия убывает.

Рис. 23. Энтропийная модель изолированной системы: возможные состояния, D – невозможное состояние

динамики можно воспроизвести, динамики можно воспроизвести, динамики можно воспроизвести,

Определение энтропии должно зависеть от температуры. Этого можно достичь, если предположить (для удовлетворения формулировки Клаузиуса), что чем *выше* температура, тем *меньше* результирующее изменение энтропии. Поскольку температура холодильника ниже температуры нагревателя, уменьшение энтропии нагревателя меньше по величине возрастания энтропии холодильника.

Мы видели, что энтропия возрастает при нагревании системы и убедились, что это возрастание тем выше, чем ниже температура системы. Тогда простейшее выражение изменения энтропии будет выглядеть так:

$$\text{Изменение энтропии} = \frac{\text{Сообщенная теплота}}{\text{Температура}}$$

Постараемся убедиться, что это определение охватывает все знакомые нам представления и понятия. Если энергия сообщается системе посредством нагревания, то *сообщенная теплота* положительна и изменение энтропии положительно, т.е. энтропия возрастает. Если из системы происходит утечка энергии в окружающую среду посредством теплообмена, величина *сообщенной теплоты* отрицательна, в итоге энтропия убывает. Если энергия сообщается системе путем совершения работы (а не теплообмена), то *сообщенная теплота* равна нулю, и энтропия остается без изменения. Если нагревание происходит при высокой температуре, то знаменатель первой части равенства велик, вследствие чего при заданном значении количества теплоты в процессе нагревания изменение энтропии мало. Если нагревание происходит при низкой температуре, тогда значение *температуры* мало, и при том же количестве теплоты изменение энтропии велико.

Следует отметить, что в течение всего процесса передачи энергии посредством теплообмена температура системы должна оставаться постоянной, иначе равенство, выражающее изменение энтропии теряет смысл. Как правило, в процессе нагревания система становится горячее, т.е. температура ее растет. Если же система чрезвычайно велика, например, она связана со всей остальной частью Вселенной, - то сколько бы теплоты ни сообщалось такой системе, ее температура не изменится. Подобная часть Вселенной называется *термостатом* (характеризуется в пределе бесконечным числом степеней свободы и бесконечной теплоемкостью). Значит сформулированное ранее определение изменения энтропии можно с полной надежностью использовать только для термостата. В этом состоит *первое ограничение*.

Второе дополнительное условие касается способа передачи энергии. Пусть, например,

некая машина произвела работу над окружающей средой. Если не соблюдать при этом исключительную аккуратность, то результат этой работы, в чем бы он не заключался (подъем груза, поворот кривошипа и т.д.) приведет к возникновению *турбулентного* движения, вибраций и т.д., которые поглотят часть энергии за счет эффектов трения и в конечном счете приведут к нагреванию окружающей среды. В описанной ситуации следовало бы ожидать, что передача энергии посредством совершения работы также вносит вклад в изменение энтропии. Чтобы исключить подобные ситуации из определения, следует точно указать, каким образом должна происходить передача энергии, а именно: энергия должна передаваться без возникновения турбулентностей, а также больших и малых завихрений, т.е. процесс передачи энергии должен совершаться "сверхтщательно": например, поршень должен иметь возможность двигаться бесконечно медленно, и столь же медленно должно происходить выравнивание температур. Такие процессы называются *квазистатическими* - это предельный случай реальных процессов, проводимых со все возрастающей тщательностью.

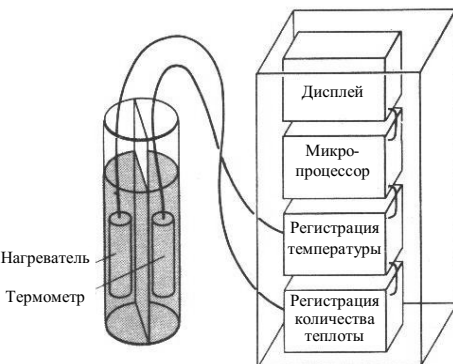
ИЗМЕРЕНИЕ ЭНТРОПИИ

Понятие энтропии как отношение количества теплоты к температуре представляется нам чем-то весьма далеким от повседневного опыта.

Однако, *действительно ли* понятие температуры столь близко нам, а энтропия столь чужда? Сравнивая мысленно мир холодной и горячей воды, мы считаем, что они обладают различными температурами. В действительности они обладают и различными энтропиями: у более горячей воды выше как температура, так и энтропия, чем у холодной. Тот факт, что при добавлении горячей воды к холодной мы получаем теплую воду, прямо следует из факта изменения энтропии. Следует ли в таком случае считать свойство тел, "быть горячим" проявлением его высокой температуры или высокой энтропии? Какое же из этих понятий нам действительно знакомо?

Температура казалась бы более знакома, потому что мы умеем ее измерять, точнее мы привыкли читать показания стрелки прибора и часто путаем их с самими понятиями, а это отнюдь не одно и то же. Возьмем, например, время: кажется нет ничего проще, чем посмотреть на положения стрелок часов, однако *сущность* понятия времени значительно глубже и сложнее. Так же обстоит дело и с температурой, хотя мы считаем ее хорошо известной, истинная природа этого понятия гораздо сложнее и тоньше. Трудность восприятия нового понятия заключается в том, что мы не знаем приборов, измеряющих ее величину, стрелок. Однако сущность не труднее (даже проще), нами и энтропией необходимо ознакомиться, преодолевая барьер между

Измеритель (счетчик) индикатора, на шкале которого значения температуры регистрируются)



Микропроцессор производит измерения температуры образца при переходе из состояния с начальной температурой в состояние с конечной температурой.

Предположим мы собираемся измерить изменение энтропии при нагревании куска железа. Все, что следует при этом сделать, - это подключить прибор к куску железа, начать нагревание, в ходе которого микропроцессор будет следить за температурой, измеряемой термометром, и пересчитывать ее непосредственно в измерение энтропии. Процесс нужно проводить очень медленно, так, чтобы не создавались "горячие точки" и вызванные ими искажения показаний, т.е. процесс нагревания должен быть квазистатическим.

Микропроцессор программируется следующим образом. Прежде всего он должен быть в

состоянии повышения температуры, вызванного нагревателем. Определять количество энергии, переданное нагреваемому куску железа от нагревателя. Это простое вычисление, если нам известна (удельная) теплоемкость образца. Прирост температуры прямо пропорционален количеству сообщенной теплоты:

Прирост температуры = Коэффициент пропорциональности ×
× Сообщенная теплота,

причем коэффициент пропорциональности связан с теплоемкостью. Нагреватель сообщает энергию образцу малыми порциями ("тонкой струйкой"), что позволяет микропроцессору вычислять величину отношения сообщенной теплоты к температуре и запомнить результат. Если к образцу подводится небольшое количество энергии, то температура его увеличивается очень незначительно, так что формула для энтропии остается точной. Поскольку наш образец не бесконечный термостат, температура все же слегка возрастает, и передача следующей порции энергии будет происходить при чуть более высокой температуре. Тогда микропроцессор произведет следующее вычисление указанного отношения, уже при новой температуре (бесконечно мало выше предыдущей). Далее процедура продолжается до тех пор, (рис. 25) пока температура не достигнет своего конечного значения. Тогда вся накопленная сумма малых значений отношения сообщаемой теплоты к температуре может быть выведена на дисплей; это и есть изменение энтропии куска железа. Мы показали факт измеряемости изменения величины энтропии подобно температуре; более того, оказывается, что энтропию тоже можно измерять термометром.

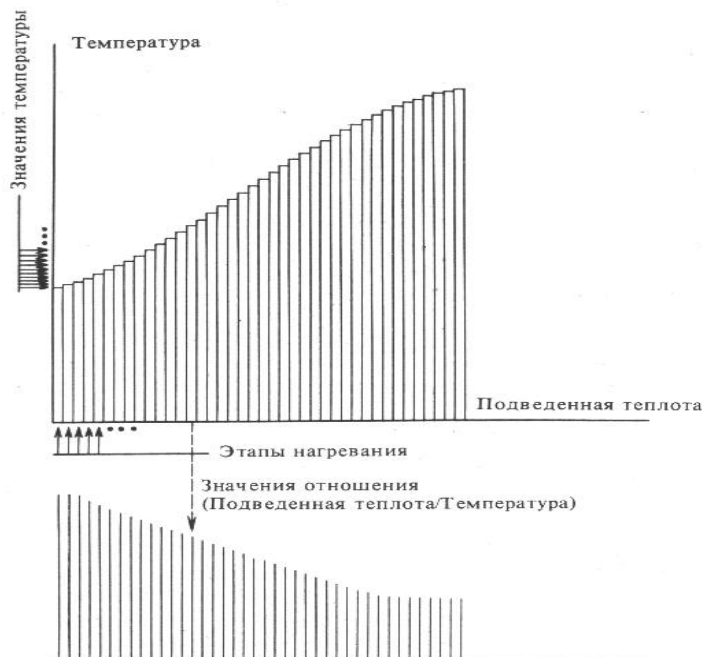


Рис. 25 Иллюстрация вычислений микропроцессора изменения энтропии (численное интегрирование)

ПОТЕРЯ КАЧЕСТВА

Посмотрим, каким образом введение энтропии приводит к исключительно важной интерпретации роли энергии в предстоящих событиях.

Пусть имеется определенное количество энергии, полученное от нагревателя, и тепловая машина для преобразования этой теплоты в работу. Согласно второму началу

термодинамики, при этом необходимо также наличие холодильника, - тогда машина будет работать обычным образом. Мы можем получить с ее помощью определенную величину работы, заплатить за это природе "налог" в виде теплоты, сообщенной холодильнику. Энергия, бесполезно ушедшая в холодильник уже не пригодна для совершения работы - если только не воспользоваться еще более "холодным" холодильником. Следовательно, энергия, запасенная при более высокой температуре, обладает в определенном смысле более высоким "качеством": она пригодна для совершения работы, тогда как "качество" энергии, полученное в процессе рассеяния, значительно ниже.

По иному можно поставить вопрос о качестве энергии, если подойти к нему с позиций энтропии. Допустим мы отбираем энергию в форме теплоты от нагревателя и позволяем ей перейти непосредственно к холодильнику. Энтропия вселенной убывает при этом на величину, равную отношению

$$\frac{\text{Отобранная теплота}}{\text{Температура нагревателя}}$$

и одновременно возрастает на величину, равную отношению

$$\frac{\text{Сообщенная теплота}}{\text{Температура холодильника}}.$$

Сумма обоих вкладов в результирующее изменение энтропии, очевидно, величина положительная, поскольку температура нагревателя выше температуры холодильника. В итоге энергия вселенной становится менее пригодной для совершения работы, поскольку для преобразования в работу энергии, запасенной при более низкой температуре, необходимы еще более "холодные" холодильники. С нашей точки зрения, подобная энергия обладает более низким качеством, причем связанная с ней энтропия возрастает. Значит, энтропия характеризует условия, при которых запасается энергия: если энергия запасается при высокой температуре, ее энтропия относительно низка, а качество, напротив, высоко. С другой стороны, если то же количество энергии запасается при низкой температуре, то энтропия, связанная с этой энергией велика, а ее качество - низко.

Чтобы скомпенсировать уменьшение энтропии, происходящее в нагревателе,

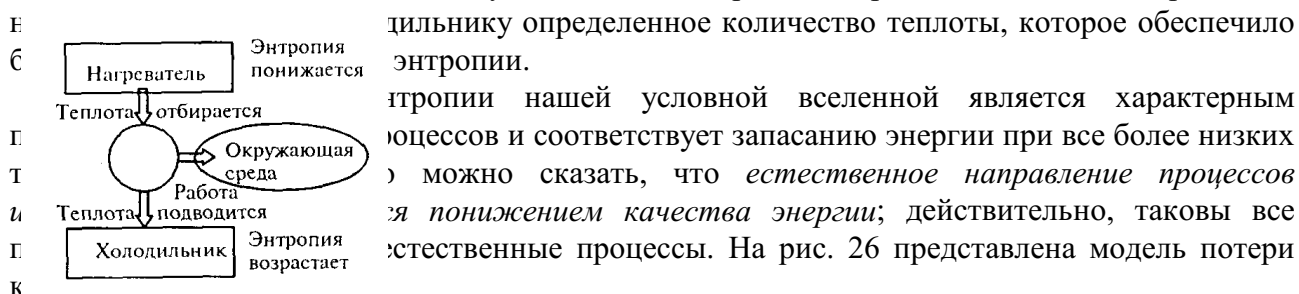


Рис. 26. Модель потерь качества энергии. Чтобы скомпенсировать уменьшение энтропии, происходящее в нагревателе, холодильнику определенное количество теплоты, которое обеспечило энтропии нашей условной вселенной является характерным процессов и соответствует запасанию энергии при все более низких температурах. Можно сказать, что *естественное направление процессов является понижением качества энергии*; действительно, таковы все естественные процессы. На рис. 26 представлена модель потери качества энергии.

Поскольку в промышленно развитом обществе процесс использования ресурсов стремительно ускоряется, энтропия Вселенной неуклонно возрастает и соответственно характеризующее его качество энергии падает. Мы находимся скорее не на стадии энергетического кризиса, или дефицита энергии, а на пороге энтропийного "кризиса перепроизводства". Современная цивилизация "протамывает" запасы энергии, накопившиеся во Вселенной в результате рассеяния. Следует стремиться не к сохранению энергии, ибо

природа делает это автоматически; наша задача - научиться экономно распоряжаться качеством энергии. Иными словами, необходимо направить развитие нашей цивилизации по пути снижения уровня производства энтропии. Существо проблемы как раз и состоит в сохранении качества энергии - это наш долг перед будущим.

ОГРАНИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Заметим, что при прохождении машиной Карно своего цикла, изменение энтропии связанного с машиной "малого мира" не может быть отрицательным, ибо это тождественно несамопроизвольному процессу, а тепловые машины, совершающие полезную работу, должны действовать без вмешательства извне. Мы знаем, как вычислить изменение энтропии, используя отношение (количество теплоты / температура).

При таких вычислениях следует предполагать, что машина работает идеально, т.е. отсутствуют потери любого вида.

Совершив цикл, машина возвращается точно в исходное состояние, поэтому в конце цикла она имеет ту же энтропию, что и в начале. Работа, которую машина совершает над окружающей средой, не увеличивает суммарной энтропии, поскольку все процессы происходят в квазистатическом режиме, аккуратно и медленно. Меняется энтропия только нагревателя: она убывает на величину

Теплота, отобранная у нагревателя/Температура нагрева.

У холодильника энтропия тоже меняется: она возрастает на величину

Теплота, отданная холодильнику/Температура холодильника.

Результатирующее изменение энтропии не должно быть отрицательным. Поэтому *минимальное значение количества теплоты, отданной холодильнику, должно быть достаточно велико, с тем чтобы сопровождающий процесс возрастания энтропии смогло компенсировать ее понижение у нагревателя.* Простой алгебраический расчет показывает, что искомый минимум отдаваемой энергии равен величине

Минимум энергии, отдаваемой холодильнику = Теплота, отобранная у нагревателя × (Температура нагрева / Температура холодильника).

Теперь мы знаем, как минимизировать количество теплоты, бесполезно отдаваемое холодильнику: надо поддерживать холодильник на минимально возможной температуре, а нагреватель - при максимально возможной. По этой причине на современных теплостанциях используется перегретый пар; наиболее экономичная процедура состоит в использовании по возможности более горячего нагревателя, поскольку технически сложно осуществить понижение температуры холодильника. Разработчик должен предусматривать использование энергии наивысшего качества. Отсюда приходим к выводу: работа, совершаемая двигателем Карно в ходе цикла, должна быть равна разности между полученным и отданным количеством теплоты - это следствие первого начала термодинамики.

(Работа = Теплота, отобранная у нагревателя -
- Теплота, отданная холодильнику).

Эффективность тепловой машины характеризуется коэффициентом полезного действия (КПД), равным отношению совершаемой ею полезной работы к количеству поглощенной ею теплоты, тогда

$$\text{КПД} = 1 - (\text{Температура холодильника} / \text{Температура нагревателя}).$$

Это означает, что КПД зависит только от температур и не зависит от используемого машиной рабочего тела (воздух, ртуть, пар или что либо другое). Самые совершенные тепловые электростанции применяют пар при температуре 800 К и холодильники при температуре около 373 К. При этом "потолок" их КПД составляет примерно 54 % (однако

другие потери понижают это значение примерно до 40 %). Повышение температуры нагревателя могло бы привести к увеличению КПД, но это влечет за собой другие проблемы, так как материалы могут не выдержать слишком высоких температур. Ядерные реакторы (по соображениям безопасности) работают при более низких температурах - около 620 К, что ограничивает их теоретически возможный КПД примерно 40 %; потери понижают это значение до 32 %. Автомобильный двигатель может работать при наивысшей входной температуре (поддерживаемой очень короткое время) около 3300 К и наинизшей выходной - около 1400 К, что позволяет достичь верхнего предела КПД - около 56 %. Однако на практике автомобильные двигатели проектируют таким образом, чтобы они были достаточно легкими, приемистыми и транспортабельными, в результате их КПД не превышает примерно 25 %.

Фундаментальное значение изложенного результата состоит в том, что он устанавливает верхний предел КПД тепловых двигателей. Какие бы хитроумные механизмы ни изобретал инженер, пока он "связан" фиксированными значениями температур нагревателя и холодильника, КПД созданного им двигателя не может превысить значения, установленного в цикле Карно. Холодильник должен быть холодным, чтобы даже небольшое отданное ему количество энергии приводило к значительному приросту энтропии.

Низкая температура холодильника усиливает влияние сброса теплоты: чем ниже его температура, тем больше прирост энтропии. Поэтому, чем ниже температура холодильника, тем меньше теплоты необходимо отдать ему, чтобы в результате изменение энергии вселенной на протяжении цикла было положительным. Измеряемый КПД процесса превращения теплоты в работу возрастает по мере понижения температуры холодильника.

Существует предел возможного понижения температуры. КПД не может превысить единицы, это противоречило бы первому началу термодинамики. Отсюда следует, что температура холодильника не может стать *отрицательной*, так что *естественный предел понижения температуры холодильника равен нулю*. Этот предел называется также *абсолютным нулем температуры*, так что стать холоднее никакой объект уже не может. В такой "ледяной пустыне" КПД любой машины был бы равен единице, так как сколь угодно малая порция теплоты, отданная холодильнику, привела бы к огромному приросту энтропии. Это связано с тем, что в формуле, описывающей изменение энтропии, температура стоит в знаменателе.

При осуществлении цикла Карно при температурах, приближающихся к абсолютному нулю, ход поршня быстро возрастает (в пределе до бесконечности). Отсюда ясно, что абсолютный нуль температур недостижим. Это утверждение обобщается *третьим началом термодинамики*.

Абсолютный нуль температур не может быть достигнут за конечное число процессов.

Выводы Прежде всего мы свели воедино весь разнородный практический опыт, который в формулировках второго начала термодинамики, принадлежащих Кельвину и Клаузиусу. Мы установили их эквивалентность, а также то, что они отражают два аспекта асимметрии природы. Мы убедились в том, что обе формулировки можно объединить, введя новое свойство системы - энтропию. Однако мы показали, что энтропию можно не только измерять, но и получать с помощью этого понятия далеко идущие выводы о природе изменений. Наконец, мы увидели, что во Вселенной энтропия всегда стремится к повышению, при этом "качество" энергии ухудшается.

3 Солнце и человечество

Обычная, желтая, сравнительно холодная звезда.

Мы знаем, что вещество представляет собой огромные запасы энергии и что энергия представляет собой вещество.

А. Эйнштейн

Вероятно, сначала было облако межзвездного газа и пыли. Частицы притягивались друг к другу и скоро образовали плотный непрозрачный газовый шар. Силы тяготения все больше сжимали шар, давление и температура внутри него повышались, шар начал светиться. И продолжал сжиматься, пока не началась термоядерная реакция - превращение ядер водорода в ядра гелия с выделением энергии в виде излучения и тепла. Давление внутри шара уравнило силы тяготения, он перестал изменяться в размерах. Газовый шар стал звездой под названием Солнце.

Почти 5 млрд. лет в недрах Солнца происходят термоядерные реакции, приводящие к высвобождению огромного количества энергии. Температура поверхности Солнца около 6 тыс. градусов Цельсия, а в его глубине она достигает 15 - 20 млн. град. Ежесекундно 600 млн. т водорода в глубине Солнца превращается в гелий, однако масса Солнца столь велика, что за миллиарды лет Солнце "похудело" лишь на доли процента. Масса Солнца составляет $2 \cdot 10^{27}$ т, что более чем в 330 тыс. раз больше массы Земли.

Солнце, как есть

Солнце - это газообразное раскаленное небесное тело шаровой формы, ближайшая к Земле звезда: центральное тело солнечной системы. В Солнце сосредоточено 99,866 % массы солнечной системы. Линейный диаметр Солнца составляет 1 391 000 км, т.е. в 109 раз больше экваториального диаметра Земли, объем Солнца в 1301 тыс. раз больше, чем объем Земли. Масса Солнца равна $1,985 \cdot 10^{23}$, т.е. в 332 400 раз больше массы Земли. Средняя плотность Солнца равна $1,41 \text{ г/см}^3$, т.е. 0,256 средней плотности Земли. Вследствие эллиптического обращения Земли расстояние от Земли до Солнца в течение года изменяется в пределах 147 - 152 млн. км.

Ускорение силы тяжести на поверхности Солнца равно 274 м/с^2 , т.е. в 28 раз больше, чем на поверхности Земли.

Общая лучистая энергия, излучаемая Солнцем в пространство, составляет $4 \cdot 10^{23}$ эрг/с. Из этого количества энергии только одна двухмиллиардная часть ее попадает на Землю. Солнечное излучение по энергии распределяется по спектру длин волн. Максимум энергии в спектре Солнца соответствует длине волны 4400 А. Температура солнечной поверхности, определенная из значения солнечной постоянной равна 5700° .

В инфракрасной области излучение Солнца измерялось до длин волн 30 мк; здесь оно сильно ослаблено поглощениями в земной атмосфере (водяные пары, молекулы CO_2 , NO_2 и др.), в ультрафиолетовой области (для длин волн короче 2900 А) солнечная радиация поглощается слоем **озона** земной атмосферы. На больших высотах зарегистрированы так же излучения Солнца с длиной волны меньше 1000 А и рентгеновское излучение с длиной волны около 100 А (см. прил. 2П, 3П.).

Внутреннее строение Солнца, как и у всякой другой звезды, зависит главным образом от источников энергии, поддерживающих его излучение, и от химического состава солнечного вещества. Среднее количество энергии, вырабатываемой внутри Солнца в секунду, составляет 1,88 эрг/ г. По современным представлениям, эта энергия вырабатывается за счет ядерных реакций.

Принимая химический состав внутренних слоев Солнца таким же, как и для солнечной атмосферы, можно определить температуру и плотность центральных слоев Солнца. Это приводит к значениям плотности около 100 г/см^3 и температур около 20 млн. градусов.

Химический состав атмосферы Солнца. В спектре Солнца имеется свыше 20 тыс. линий поглощения, из которых более 60 % отождествлено со спектральными линиями известных химических элементов. Наиболее изобильным в атмосфере Солнца является водород, который по числу атомов в 4-5 раз преобладает над гелием и не менее, чем в 1000 раз преобладает над всеми остальными химическими элементами, взятыми вместе; затем следуют кислород, углерод, азот. Из остальных химических элементов преобладающими являются магний, кремний, железо, натрий, калий, кальций, алюминий; обнаружены торий и золото. На Солнце имеются также химические соединения CN, CH, OH, NH и др.

Вращение Солнца определяется из наблюдений за движением различных образований на поверхности Солнца (пятен, факелов, протуберанцев), и измерений смещения спектральных линий на краях диска Солнца, возникающего при вращении Солнца в силу эффекта Доплера. Вращение Солнца происходит в том же направлении, что и Земли. Угловая скорость вращения Солнца различна в разных географических широтах (газ, а Земля твердое тело), экваториальные области вращаются быстрее полярных, причем период обращения равномерно возрастает с широтой. Линейная скорость точек экватора Солнца около 2 км/с. Угловая скорость вращения увеличивается также с возрастанием высоты солнечной атмосферы.

Фотосфера. Фотосферой называется нижний слой солнечной атмосферы, из которого исходит почти все видимое излучение Солнца, дающее непрерывный спектр. Ее толщина приблизительно 100 - 300 км. Слой фотосферы находится в состоянии лучистого равновесия: каждый элемент объема этого слоя поглощает столько же лучистой энергии, сколько излучает. На основе представлений о лучистом и гидростатическом равновесии можно теоретически рассчитать распределение энергии в непрерывном спектре Солнца, распределение яркости на диске Солнца и ход температуры и давления с глубиной в фотосфере. На внешней границе фотосферы давление оказывается около нескольких миллиметров ртутного столба, плотность около $2 \cdot 10^{-9}$ г/см³, а температура около 5700 К. Поверхность фотосферы представляется состоящей из большого числа отдельных светлых зерен, разделенных темными промежутками. Эта зернистая структура фотосферы называется грануляцией, а отдельные ее зерна носят название гранул. В поперечнике гранулы не превышают 200 км. Расположение гранул непрерывно меняется. Они совершают нерегулярные движения со скоростью 4 км/с. Радиальные движения их имеют скорость около 2 км/с. Продолжительность жизни отдельной гранулы около нескольких минут. Возможно причиной этого является конвекция.

Солнечные пятна. Временами в отдельных местах фотосферы наблюдаются пятна, достигающие размеров до 200 тыс. км и более. Солнечные пятна состоят из двух основных частей: центральной темной части - ядра, и окружающей его более светлой каймы, называемой полутемной. Солнечные пятна часто образуют группы, включающие до нескольких десятков пятен различных размеров. Вблизи края солнечного диска, особенно вблизи групп солнечных пятен, наблюдаются светлые образования волокнистой структуры, называемые факелами. Они также являются временными образованиями на солнечной поверхности и изменяются как в размере, так и в яркости. Среднегодовое число наблюдаемых пятен и факелов, так же как и средняя площадь, занимаемая ими, изменяется с периодом около 11 лет. Однако этот период солнечной активности сильно колеблется от 7,5 лет до 16 лет; амплитуда колеблется более чем в два раза.

Чаще всего наблюдаются так называемые биполярные группы пятен, включающие два наиболее крупных главных пятна, расположенных по краям группы. Пятно, перемещающееся впереди, нередко имеет большие размеры и существует более длительное время, чем следующие позади. Продолжительность существования пятен весьма различна: от нескольких часов до нескольких месяцев. Их размеры разнообразны: от 1000 до 200

000 км. Большие пятна имеют обычно сложную структуру, содержат много ядер, окруженных полутенью. Пятна кажутся темными только вследствие контраста: яркость ядер составляет от 0,2 до 0,5 яркости фотосферы.

ПРОТУБЕРАНЦЫ. ПРОТУБЕРАНЦЫ НАБЛЮДАЮТСЯ НА КРАЮ ДИСКА СОЛНЦА И ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ ОБРАЗОВАНИЯ ИЗ СВЕТЯЩИХСЯ ГАЗОВ САМОЙ РАЗНООБРАЗНОЙ ФОРМЫ: В ВИДЕ СТРУЙ, ФОНТАНОВ, ОБЛАКОВ, АРОК, ДЕРЕВЬЕВ. СРЕДНЯЯ ВЫСОТА ПРОТУБЕРАНЦЕВ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ СОЛНЦА СОСТАВЛЯЕТ ОТ 30 ДО 50 ТЫС. КМ. СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ В ПРОТУБЕРАНЦАХ ОТ НЕСКОЛЬКИХ ДЕСЯТКОВ ДО 200 - 300 КМ/С. ТЕОРИИ, УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО ОБЪЯСНЯЮЩЕЙ ДВИЖЕНИЕ ВЕЩЕСТВА В ПРОТУБЕРАНЦАХ, ПОКА НЕ СУЩЕСТВУЕТ (СМ. ПРИЛ. РИС. 4П).

СОЛНЕЧНАЯ КОРОНА. САМЫЕ ВНЕШНИЕ СЛОИ АТМОСФЕРЫ, ПРОСТИРАЮЩИЕСЯ НА ВЫСОТУ НЕСКОЛЬКИХ РАДИУСОВ СОЛНЦА НАЗЫВАЮТСЯ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНОЙ.

РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА. ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА В ОБЛАСТИ РАДИОЧАСТОТ НАБЛЮДАЕТСЯ В ДИАПАЗОНЕ ОТ 1 СМ ДО 12 М. НАБЛЮДАЮТСЯ ДВЕ КОМПОНЕНТЫ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА МЕТРОВЫМ ДИАПАЗОНЕ. ПЕРВАЯ КОМПОНЕНТА, ТАК НАЗЫВАЕМОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ СПОКОЙНОГО СОЛНЦА МАЛО МЕНЯЕТСЯ ВО ВРЕМЕНИ; ВТОРАЯ - РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ВОЗБУЖДЕННОГО СОЛНЦА ИЛИ СПОРАДИЧЕСКОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ - ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ БЫСТРЫМИ И НЕПРАВИЛЬНЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ ИНТЕНСИВНОСТИ, СВЯЗАННЫМИ С ИЗМЕНЕНИЯМИ АКТИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА СОЛНЦЕ: ПЯТЕН, ПРОТУБЕРАНЦЕВ, И В ОСОБЕННОСТИ С ПОЯВЛЕНИЕМ ЯРКИХ ВСПЫШЕК. ЧАСТО ВСПЛЕСК СИЛЬНОГО СПОРАДИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОПРОВОЖДАЕТСЯ ЗАТУХАНИЕМ РАДИОСВЯЗИ НА ЗЕМЛЕ, МАГНИТНЫМИ БУРЯМИ, ПОЛЯРНЫМИ СИЯНИЯМИ, ВОЗМУЩЕНИЯМИ ИОНОСФЕРЫ (СМ. ПРИЛ. РИС. 5П).

Будущее Солнца

Сияние Солнца кажется нам ослепительным потому, что оно расположено по отношению к Земле значительно ближе всех других звезд. От Земли до Солнца 149,6 млн. км, в то время как до ближайшей звезды – альфа Центавра в 30 тыс. раз дальше. Свет проходит от Солнца до Земли за 8 мин, а от альфы Центавра - за 4,3 г. Расстояния между звездами нашей Вселенной так велики, что за одну из единиц измерения длины астрономы выбрали световой год - путь, который луч света проходит за год непрерывного "бега" - по безмолвным просторам космоса.

Сравнивать звезды между собой сравнительно легче, если мысленно расположить их на одинаковом расстоянии от Земли, например на расстоянии от Земли в 32,6 световых года. Солнце будет на таком расстоянии казаться нам слабо светящейся желтоватой звездой. Даже в нашей Галактике найдется множество звезд, которые на таком же расстоянии будут сиять ярким белым светом. Они излучают в сто, тысячу и в некоторых случаях в миллионы раз большую энергию, чем наше Солнце.

Среди других звезд наше Солнце по своему цвету, размерам, температуре и массе занимает скромное среднее место. Есть много горячих белых звезд с температурой поверхности 15 - 20 тыс. град. Много во Вселенной и красных "холодных" звезд с температурой поверхности всего 3-4 тыс. градусов. Во Вселенной есть звезды-гиганты, занимающие такое пространство, какое заключено, например, внутри орбиты Земли или Марса. Одна из таких звезд-гигантов - альфа Скорпиона (Антарес). Для астрономов

Солнце - сравнительно холодная, желтая звезда, средняя по размерам и массе, типичная для нашей Галактики. Звезда, примечательная лишь тем, что мы обязаны ей жизнью.

Многовековые наблюдения за Солнцем и открытие ученых XX в. позволили ученым предсказать возможное будущее Солнца. Еще примерно 6 млрд. лет Солнце будет спокойно посылать нам свою энергию. В центре солнца постепенно уменьшится содержание водорода и гелия, термоядерная реакция начнет затухать. Равновесие между силами тяготения, сжимающими звезду, и внутренним давлением, рождаемым термоядерными силами, нарушится. Ядро звезды начнет сжиматься, сравнительно холодные верхние слои будут удаляться от ядра. Размеры Солнца возрастут, и температура его внешних слоев уменьшится. Примерно через 8 млрд. лет наше Солнце превратится в красный гигант. Затем внешние слои начнут удаляться от звезды и, возможно превратятся в планетарную туманность, в центре которой будет сиять очень небольшая, но горячая плотная звезда. Звезда на такой заключительной стадии развития получила у астрономов название "белого карлика". "Белый карлик" постепенно будет остывать, превращаясь в холодный "красный карлик". Когда солнце станет красным гигантом его размеры будут захватывать все околосолнечное пространство, включая орбиту Меркурия, а возможно и Земли.

Просвещенное человечество к тому времени, вероятно, успеет перебраться на другие планеты, под ласковые лучи новой звезды.

ОТ ПОКЛОНЕНИЯ К ИССЛЕДОВАНИЮ

Наша Земля - большой космический корабль, летящий в черных, бесконечных просторах космоса. Земля давно бы стала такой же холодной и безжизненной, как окружающее ее пространство, если бы верный благодетель - Солнце не посылало нам тепло своих лучей.

Известный английский ученый Джон Тиндаль, ученик Фарадея, еще в XIX в. остроумными опытами доказал, что Земле помогает согреваться воздушная атмосфера. Она, как теплое одеяло укутывает Землю, не выпуская наружу ее тепловое излучение. Но атмосфера сама по себе не смогла бы спасти Землю, если бы не Солнце. Ежесекундно Солнце посылает к границам Земной атмосферы такой могучий поток энергии, который не позволяет Земле остыть вопреки всем потерям тепла в окружающее пространство. Этот поток исчисляется цифрой $4 \cdot 10^{16}$ кал/с, что во много раз превышает количество тепла, которое человечество могло бы получить от всех разведанных на сегодня запасов топлива. Но следует учесть, что Земле достается лишь одна двухмиллиардная часть энергии, излучаемой Солнцем во все стороны. И даже при этом на каждый квадратный метр атмосферы Земли на границе с космосом попадает 1360 Вт солнечной энергии. Атмосфера задерживает часть солнечной энергии, но тем не менее в странах, расположенных у экватора, лучи, освещающие квадратный метр поверхности, несут с собой в летний день более тысячи Ватт энергии.

От пустынь Африки, от вечного лета стран, находящихся близко к экватору Земли, резко отличаются районы Южного и Северного полюсов, всегда покрытых льдами и снегом. Холодные полярные "шапки" освещаются солнечными лучами под большим углом к их поверхности. Солнце здесь никогда не стоит прямо над головой. Всего в два, а то и в три раза меньше солнечного тепла получают полярные районы Земли по сравнению с другими, но этого оказывается достаточно, чтобы там вечно лежали снега. Не только своим теплом обязана Земля Солнцу. Создание атмосферы, возникновение жизни не могло бы произойти

без Солнца.

Первопричина жизни

На одной из древнейших каменных плит изображено Солнце, окруженное лучами. На конце каждого из лучей - человеческие ладони, обращенные к людям.

*Прекрасно светишь ты на небосводе,
Ты Атон живой и живший изначально.
Лучи твои обнимают Землю
И все, что ты создал для них, -*

написано в древнеегипетском гимне, созданном в период расцвета религиозного поклонения Солнцу. Родоначальником новой религии, возникшей к началу XIV в. до н.э., был фараон Аменхотеп IV. Фараон даже изменил свое имя на Эхнатон - угодный Атону, солнечному диску.

"Солнечная" религия просуществовала сравнительно недолго. После смерти Эхнатона жрецы вернули народу его прежних богов. Но отношение к Солнцу определялось не одной лишь религией. В сохранившихся памятниках культуры древних египтян отчетливо проступает понимание Солнца в материальной жизни человечества.

*Восходишь - все оживает,
Заходишь - и все умирает.
Ты жизни мерило и первопричина ее. -*

читаем мы в одном из гимнов Солнцу, написанном в Древнем Египте. Первопричина жизни... Трудно подыскать более современное и точное определение. Солнце было в древности не просто предметом поклонения. Люди внимательно изучали поведение Солнца в разные времена года и ясно понимали, что смена времени года и урожаи на полях зависят от Солнца.

В том же гимне Солнцу есть такие строки:

*Лучами твоими любое взлелеяно поле,
Восходишь - и всходят побеги во славу тебе.*

Одновременно с внимательным, хотя, конечно, чисто умозрительным изучением Солнца люди древнего мира пробовали применять солнечные лучи для получения тепловой энергии. И это им часто удавалось. Без опыта и практических знаний, накопленных талантливыми и зачастую неизвестными нам изобретателями Древнего Египта, Греции, Рима, не могла быть в наши дни создана наука о полезном использовании и преобразовании солнечного излучения в другие формы энергии.

Поющая статуя

Существуют предания о том, что в Древнем Египте в XV в. до н.э. существовала статуя Аменхотепа III, издающая при восходе Солнца "звуки, подобные цитре" - старинному музыкальному инструменту. Одна из гробниц вызвала не меньшее удивление - на ней сидела каменная птица, которая при освещении солнечными лучами пела "человеческим голосом". Божественное происхождение этих чудес древнего мира не подвергалось сомнению в

течение нескольких тысячелетий. В XVII в н.э. немецкий натуралист А. Кирхер нашел наиболее близкое к истине физическое объяснение "вокальных способностей" каменных скульптур. При нагревании солнечными лучами воздух, находящийся в порах внутри камней, расширялся и с музыкальными звуками выходил через тонкие отверстия в скульптурах.

Вплоть до нашего времени ведутся научные споры вокруг легенды о сожжении в III в. до н.э. римского флота, осаждавшего греческий город Сиракузы, с помощью солнечных лучей. Авторство в изобретении "солнечного оружия" легенда приписывает Архимеду. Один из опытов по проверке легенды был проведен в 1973 г. группой греческих физиков под руководством Ионаса Саккса. С отполированными медными щитами в руках они вышли в ясный день на берег моря и по команде Саккса одновременно направили солнечные зайчики от своих щитов на макет древнеримского корабля. Через несколько мгновений корабль вспыхнул ярким пламенем. Чтобы уничтожить макет римского судна, Сакксу пришлось обратиться к помощи семидесяти сотрудников, у каждого из которых в руках был щит размером $1 \times 1,5$ м.

В средние века исследователи во многих странах мира успешно увеличивали силу солнечных лучей, используя зеркала и стеклянные линзы. В конце XVII в. вызвали сенсацию опыты итальянских ученых Аверани и Тарджиони. Им удалось сжечь алмазы, поместив их в фокусе большой стеклянной линзы. Даже великие мыслители Возрождения Галилео Галилей и Леонардо да Винчи, пропуская солнечные лучи через призму и наблюдая радугу из цветных полос, образуемую призмой, считали, что цветные лучи заключены внутри призмы. Тайну превращения белого цвета Солнца в цветную радугу раскрыл Исаак Ньютон.

Получив после прохождения света через призму семь цветов - фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный Ньютон поставил на пути разноцветной полосы вторую призму. За второй призмой он увидел пучок белого цвета. Затем Ньютон поставил вторую призму на пути каждого из цветов. Отдельные цветные полосы не изменили своей окраски.

Эти опыты позволили Ньютону сделать важные выводы: цвета содержатся в самом солнечном свете, а не в призме; солнечный свет является смесью семи основных цветов.

Однажды Ньютон заметил, что в воздушном пузыре, случайно оставшемся в слое оптического клея, соединявшего две призмы лучи света взаимодействуют между собой. Ньютон правильно объяснил обнаруженное им явление *интерференцией* лучей: толщина воздушного пузыря соизмерима с длиной волны световых лучей - расстоянием между двумя ближайшими всплесками и впадинами световой волны. В некоторых местах лучи гасили друг друга, образуя черные полосы и пятна, а в других взаимно усиливались. По расположению интерференционных полос Ньютон смог рассчитать длину волны всех цветов солнечного спектра, определив основную физическую причину отличия цветов друг от друга.

Измерения Ньютона с большой точностью совпали с современными данными. Фиолетовые лучи, например, имеют длину волны около 0,4 мк (мк - тысячная доля мм), зеленые - 0,55 мк, красные - около 0,75 мк. Швейцарский натуралист Б. Соссюр получил на зачерненной подставке, защищенной от потерь тепла 110°C . И это происходило без концентрации солнечных лучей. Лишь к концу XIX в. удалось разгадать секрет тепловых овощных парников и цветочных оранжерей, в которых благодаря стеклу могло круглый год царить одно время года - лето... Хотя впервые завеса тайны была приоткрыта в 1800 - 1801 гг. английским ученым Вильямом Гершелем, он сообщил об открытии им в спектре Солнца невидимых лучей.

Гершель, используя радугу из семи основных цветов, полученных на столе с помощью призмы хотел несколькими термометрами измерить энергию, которую несут с собой лучи разного цвета. Он поместил термометры так, чтобы они освещались отдельно каждой из цветных полос спектра, и, вероятно для сравнения, поставил один термометр за краем спектра, в темноту. Этот термометр нагрелся сильнее других. Очевидно, в составе

солнечного спектра были невидимые глазом лучи, отклоняемые призмой в пространство, расположенное за красными лучами. Новые лучи получили название сверхкрасных, инфракрасных лучей.

Вскоре были найдены в спектре Солнца еще одни невидимые лучи - ультрафиолетовые, которые отклонялись призмой сильнее, чем фиолетовые лучи. Этим лучам в составе солнечного излучения осталось немного.

СОЛНЦЕ, РАЗЛОЖЕННОЕ ПО КЛЕТОЧКАМ

Прибор, позволяющий получить спектральное распределение энергии излучения по длинам волн, носит название *монохроматора*, или спектрометра. Монохроматоры и чувствительные приемники излучения, устанавливаемые высоко в горах, где чистая, сухая атмосфера, позволили измерить спектральное распределение энергии Солнца, близкое к тому, которое падает на воздушную оболочку Земли. В последние годы монохроматоры устанавливают на высоких шарах-зондах и на спутниках Земли, что дало возможность уточнить результаты высокогорных измерений: 98 % энергии внеатмосферного солнечного излучения лежит в области спектра от 0,2 до 3 мк.

Эта область состоит из трех больших участков:

- ультрафиолетового, 9 % всей энергии, длина волны 0,4 мк и меньше;
- видимого глазом света, 44 % всей энергии, длина волны 0,4 - 0,75 мк;
- инфракрасной части солнечного света, 47 % всей энергии, длина волны больше 0,75 мк.

Проходя через атмосферу, солнечный свет изменяется по спектральному составу и по интенсивности. Озон, пары воды, кислород, углекислый газ, частицы пыли и тумана поглощают проходящее к Земле солнечное излучение. Сравнительно плавное распределение энергии излучения внеатмосферного Солнца в зависимости от длины волны превращается после прохождения атмосферы в неровную, с острыми зубцами и впадинами, кривую. Особенно неравномерной будет эта кривая, если атмосфера во время измерений была влажной и запыленной, а Солнце стояло низко над горизонтом, что заставило солнечные лучи проделать длинный путь в атмосфере.

Хорошо заметны полосы поглощения солнечного излучения (см. прил. рис. 3П), где черным отмечена энергия, поглощенная различными составляющими атмосферы.

Приборы показали, что все тела в окружающем нас мире (в том числе и мы сами) испускают инфракрасные лучи. Источником этого излучения является колебание и вращение молекул нагретого тела - их энергия переходит в излучение. Интенсивность и спектральный состав этого инфракрасного излучения зависит от температуры тела и оптических свойств его поверхности.

Разгоряченный человек излучает в инфракрасной области спектра от 700 до 800 Вт тепловой мощности. Плавное изменение величины этого излучения при колебаниях температуры помогает человеку переносить арктический холод и тропическую жару... При охлаждении - задерживать часть излучения, при нагреве увеличивать излучаемый поток тепла.

Если тело нагрето всего лишь до комнатной температуры, то его инфракрасное излучение лежит в интервале длин волн от 3 до 30 мк, с максимумом при 10 мк. Если тело нагрето сильнее, то спектр излучения им инфракрасных лучей сдвигается в область более коротких длин волн. Если, например, абсолютная температура тела увеличивается в два раза, то количество излучаемой тепловой энергии возрастает в $2^4 = 16$ раз.

Солнечный глаз

Растительный и животный мир нашей планеты возник, развился и приспособился к

существованию в окружающем мире, где одним из основных внешних воздействий является солнечный свет. Глаз человека - один из многих примеров этого процесса отбора и приспособления. Воспринимать солнечные лучи, окраску и форму предметов, цвет неба и облаков, читать книги мы можем благодаря тому, что природа наградила нас счастливой способностью видеть. Механизм человеческого зрения оказалось значительно труднее разгадать, чем состав солнечного света. В последней четверти XX в. ученые все еще не могут до конца разобраться в процессах, происходящих в человеческом глазу, однако понять основные черты явления удалось.

Ученые далеко ушли от представлений древнегреческого ученого Эпикура о зрении, который считал, что каждый предмет испускает во все стороны тонкие слепки, попадающие в наши глаза.



Рис. 27 Глаз человека – "приемная трубка телевизионной камеры"

Если сравнить наш глаз с созданиями современной техники, то больше всего он похож на приемную трубку телевизионной камеры (рис. 27). Через зрачок - отверстие в радужной оболочке глаза - солнечный свет попадает на хрусталик - прозрачную природную линзу. Диаметр зрачка плавно изменяется в зависимости от освещенности. Зрачок играет для глаза такую же роль, как диафрагма в кино-фотоаппаратах. Благодаря вовремя происходящим изменениям зрачка наш глаз без труда воспринимает ярчайший солнечный свет и столь малую освещенность, как мерцание светлячков в ночном саду. Освещенность при этом отличается более чем в миллиард раз. Плавно изменяется и кривизна хрусталика, позволяя получать резкое изображение предметов, находящихся от нас на разных расстояниях. Свет, попавший в человеческий глаз, воспринимают расположенные в его глубине, на сетчатке, микрофотоэлементы, получившие название колбочек и палочек. Электрические сигналы от них идут в мозг. Если бы микрофотоэлементов в нашем глазу было немного, то зрительное впечатление от окружающего мира напоминало бы мозаику. Но природа позаботилась и об этом: палочек, отвечающих за черно-белое и сумеречное зрение, в каждом человеческом глазу около 130 млн; колбочек, благодаря которым мы воспринимаем мир в красках, около 7 млн.

Может возникнуть закономерный вопрос: почему из всего обширного спектра солнечных лучей глаз воспринимает лишь видимые лучи с длиной волны 0,4 - 0,75 мк, причем чувствительнее всего реагирует зрение на зеленые лучи с длиной волны 0,55 - 0,56 мк? Почему глаз человека не видит ультрафиолетовые и инфракрасные лучи?

Видимо это наиболее оправдано с биологической точки зрения. Ультрафиолетовые лучи обладают способностью разрывать связи в химических молекулах, могли бы разрушить вещество глаза. Инфракрасные лучи испускаются не только солнцем, но и всеми немного нагретыми телами, и в наших глазах произошло бы недопустимое смешение двух

изображений: одного, создаваемого отраженными от предметов невидимыми лучами Солнца, и другого, получаемого благодаря инфракрасным лучам, испускаемым самими лучами.

Человеческий глаз лучше всего приспособлен к восприятию отраженных от всего окружающего видимых солнечных лучей.

Незримые нити

В спектре Солнца ученые обнаружили значительно больше невидимых инфракрасных лучей, чем видимых. Вскоре инфракрасная часть излучения Солнца была подробно изучена. Но когда ученые перешли к изучению других невидимых лучей, ультрафиолетовых, внезапно возникло препятствие.

Спектр Солнца, снимаемый приборами на Земле, плавно уменьшается в сторону коротких длин волн (от фиолетовых волн с длиной волны 0,4 мк) и затем около 0,3 мк резко обрывается. Возникло предположение, что атмосфера Земли скрывает от исследователей часть спектра Солнца. Приборы стали устанавливать на ракеты и поднимать их на разную высоту над Землей. До 34 км спектр Солнца был практически таким же, как и на Земле, а выше 34 км в спектре появились долгожданные ультрафиолетовые лучи с длинами волн меньше 0,3 мк.

Этих лучей сравнительно немного в солнечном спектре, но отдельные порции этих лучей - фотоны - несут с собой большую энергию, вполне достаточную, чтобы разрушить молекулы многих природных соединений, составляющих, например, основу земных растений. Цветущая зелень превратилась бы в черную, обугленную. Человеческие глаза не смогли бы увидеть черные растения - они были бы повреждены "внеземным" ультрафиолетом Солнца.

Вскоре удалось найти и защитника Земли от ультрафиолета. Им оказался слой *озона*, содержащийся главным образом на высотах 20 - 30 км. Он образовался благодаря тому, что кислород в верхних слоях атмосферы ионизируется ультрафиолетовыми лучами Солнца. Так солнечные лучи защитили Землю от самих себя.

Еще одно полезное для человечества дело совершают ультрафиолетовые лучи: под их энергичным "натиском" в самых верхних слоях атмосферы происходит ионизация кислорода и азота, расщепление их на электроны и ионы. Свободные электроны и ионы образуют вокруг Земли несколько проводящих слоев. Эти проводящие слои, получившие название ионосферы, обладают способностью отражать короткие радиоволны. Многократно оттакаяваясь от ионосферы и Земли, короткие радиоволны способны путешествовать на очень большие расстояния. Благодаря ионосфере стала возможна радиосвязь между людьми, расположенными в самых удаленных точках земного шара.

Солнечные лучи не всегда бывают так предусмотрительно "вежливы" по отношению к Земле и ее обитателям.

Советский ученый профессор А. Л. Чижевский сумел обнаружить зависимость между активностью Солнца и здоровьем людей.

Чижевский Александр
Николаевич (1897 - 1964) -
советский биофизик, археолог,
основоположник гелиобиологии.
Установил зависимость между
циклами активности Солнца и
многими явлениями в биосфере.
Работы по действию отрицательных
и положительных ионов в воздухе



*(аэронов) на живые организмы, по
практическому применению
аэризации. Исследовал
пространственную организацию
структурных элементов движущейся
крови.*

Количество сердечно-сосудистых заболеваний, гипертонических кризов, нервных расстройств резко возрастает в период бурных явлений на Солнце - вспышек. Распространенность некоторых заболеваний зависит и от числа солнечных пятен, которые подчиняются 11-летнему циклу и кратковременным, месячным колебаниям внутри 11-летнего цикла. С колебаниями солнечной активности оказались связанными и такие важные для медицины свойства человеческого организма, как содержание сахара в крови у людей, количество в ней лейкоцитов, солей калия и кальция, электрический потенциал кожи у людей. Инфекционные заболевания, такие, как холера и чума, активизировались в прошлом веке в годы солнечной активности. Только прививки против этих болезней, начатые во многих странах в XX в., сделали зависимость их распространения от активности Солнца значительно менее заметной.

Многие явления в животном и растительном мире Земли следуют за проявлениями активности Солнца. Даже толщина годовых колец на срезах деревьев, как выяснилось, меняется в соответствии с 11-летней периодичностью.

От Солнца к Земле постоянно летит поток протонов, получивших название "солнечного ветра" (см. прил. рис. 6П). Измерения, произведенные с помощью спутников, позволили обнаружить, что "солнечный ветер" постоянно вносит изменения в распределение ядерных частиц, вращающихся вокруг Земли.

Благодаря "солнечному ветру" радиационная обстановка на дневной, обращенной к Солнцу стороне Земли, резко отличается от ночной, погруженной в тень.

Вспышки на Солнце еще сильнее и неожиданнее влияют на жизнь на Земле. Вспышки сопровождаются потоками радиоволн и рентгеновского излучения, протонов, огромных облаков солнечных газов. Всего через шесть часов после ослепительной вспышки на Солнце 12 ноября 1960 г. гигантское облако солнечного водорода (16 млн. км в диаметре) столкнулось с Землей. Легчайший газ - водород вызвал на Земле множество осложнений: на протяжении многих часов не действовала радиосвязь, пилоты перестали слышать сигналы с аэродромов и не могли передать сообщения о себе, стрелки компасов метались по циферблатам, полярные сияния были видны не только на севере, но и на средних широтах.... Солнце редко так бурно вмешивается в жизнь Земли, но людям все же следует быть начеку. Во многих странах в последние годы были созданы станции наблюдения за поведением Солнца. Заранее предупредить о грозящей беде необходимо не только жителей Земли, но и космонавтов - ведь такие посланцы Солнца, как электроны и протоны с энергией в сотни миллионов ЭВ могут проникнуть через скафандр космонавта, вышедшего в открытый космос.

От света - жизнь и ... электричество

Он малый атом

И стрелы Солнца

ногтем расщепил

взвесил на ладони.

Возникновение жизни на Земле началось с объединением отдельных атомов в молекулы, с перехода от маленьких молекул к большим, состоящих из многих десятков, сотен и тысяч атомов. Среди них - простейшие органические молекулы, содержащие атомы углерода и водорода.

Ученые тщательно исследовали строение и свойства молекул, из которых состоят растительные и живые организмы, и с удивлением установили, что одним из самых "свирепых" врагов органических молекул является кислород. Тот самый кислород, окружающий все живое на Земле, которому мы привыкли радоваться...

Любая органическая молекула при воздействии кислорода разлагается на углекислый газ и воду, при этом выделяется много энергии в виде тепла.

Как же смогли выжить органические вещества в такой для них удушливой атмосфере? Ведь молекулы кислорода всегда готовы разъединиться на два очень активных кислородных атома, которые буквально бомбардируют органические молекулы, быстро вырывая из их рядов отдельные атомы - углерод, водород, азот, фосфор, железо, марганец, и вступает с ними в реакции с образованием простых неорганических соединений. Тепло этих реакций передается атмосфере, атмосфера излучает свое тепло в холодный открытый космос, окружающий Землю. Земля остывает, и жизнь на ней замирает...

СТРЕЛЫ, НЕСУЩИЕ ЖИЗНЬ

Древние египтяне совершенно справедливо называли Солнце "первопричиной жизни", хотя им были неведомы волнения ученых, исследующих химические реакции органических молекул.

Оказалось, что свет, спасительный солнечный свет, позволяет осуществить обратную химическую реакцию - соединить воду и углекислый газ, превратив их в молекулы органических соединений и кислород. Без энергии солнечного света такая реакция не могла бы произойти.

Свет Солнца не только не дает остыть Земле, не только согревает ее. Солнечные лучи-стрелы оживили Землю. Находясь от Земли на огромном расстоянии, Солнце посылает на нашу планету достаточно много энергии, чтобы из неорганических атомов и молекул могли получиться органические молекулы, из простейших молекул образовались сложные молекулы живых организмов, и на Земле постепенно возник растительный и животный мир.

Разнообразные растения, удивительные виды животных обязаны своим появлением на Земле солнечным лучам. Благодаря Солнцу на Земле существуют прихотливые формы жизни. Два противоположных процесса - разложение и создание органических веществ - мирно и полезно для человечества уживаются в природе. С помощью кислорода, поглощаемого при дыхании, органические молекулы, попадающие в организм человека с пищей, расщепляются на простые, хорошо усваиваемые вещества. Одновременно клетки снабжаются всей необходимой для жизни энергией. Точно такой же процесс происходит с органическими веществами и вне человеческого организма. Ученые подсчитали, что на Земле ежедневно около миллиарда тонн различных органических веществ разлагаются, превращаясь на воздухе в углекислый газ и воду. Если бы Солнце не установило на Земле равновесие жизненно важных химических реакций, то через 20 лет все органические вещества исчезли бы с лица Земли... С помощью растений и водорослей Солнце снова превращает углекислый газ и воду в органические вещества и кислород.

Огромны по своим масштабам процессы, происходящие на нашей планете под влиянием солнечного света. От энергии солнечных лучей, попадающих на верхнюю границу атмосферы Земли, остается только 40 % после того, как она преодолет толщу атмосферы. Но и эта энергия не менее чем в десять раз превышает ту, которая содержится во всех разведанных запасах подземного топлива. Под воздействием солнечного света "застрявшего" в атмосфере, происходят те грандиозные природные явления, которые мы наблюдаем на Земле: движение огромных воздушных масс, нагрев и охлаждение гигантских количеств воды в атмосфере.

Падающая на поверхность суши и океанов солнечная энергия вызывает интенсивное испарение влаги, служит причиной образования облаков, периодического изменения погоды и смены времен года. Под влиянием тепла солнечных лучей возникают смерчи и ураганы, льют дожди и происходят медленные, но неумолимые процессы выветривания и разрушения горных пород. Как несоизмеримы эти процессы, и невероятно большая энергия, необходимая для их осуществления, с энергией каждого из обитателей нашей планеты!

Кладовые Солнца

Зеленый покров Земли существует не только для того, чтобы радовать наш глаз. Растения выполняют благородную обязанность создания газа жизни - кислорода и получения органической пищи. "Выдыхают" кислород и водоросли океана. Растениям Земли и океана для жизни и работы нужны не только солнечный свет и углекислый газ. Им необходимы еще минеральные соли, различные питательные вещества, обильное бесперебойное поступление воды.

Сложный и долгий путь проходит свет в растениях, прежде чем в них образуется кислород и органические вещества. Ученые подсчитали, что даже самым буйно растущим тропическим растениям удастся полезно использовать только 1,5 % солнечного света. В среднем же для всей поверхности Земли эта цифра не превышает 0,1 %. И тем не менее общее количество уловленной растениями солнечной энергии в несколько раз превосходит энергетические потребности человечества. При этом не следует забывать, что человечество тратит сейчас на свои нужды тоже солнечную энергию, превратившую растения миллионы лет назад в нефть, уголь и газ. Как говорил К. А. Тимирязев, человечество тратит "консерв солнечных лучей".

Органических веществ, производимых сельскохозяйственными растениями, человечеству было бы вполне достаточно для получения продуктов питания. Для отопления всех домов на Земле в течение многих сотен лет хватило бы топлива в подземных кладовых. Солнце и природа Земли обеспечили человека всем необходимым для жизни. Непредусмотренным оказалось лишь одно - бурное развитие промышленности. Для электростанций, средств транспорта, работы фабрик и заводов "консервированной" энергии Солнца оказалось мало. Промышленные предприятия тратят столько энергии, что через одно-два столетия подземного топлива почти не останется.

Окружающая человека среда начинает получать все больше лишнего "незапланированного" природой тепла. Чем больше добывается и сжигается минерального топлива, тем сильнее нагревается атмосфера Земли, тем быстрее мы приближаемся к тому пределу, когда может наступить необратимое изменение климата, произойдет опасное нарушение равновесия различных процессов в природе, в той природе, к которой так привык и приспособился человек.

При сжигании топлива образуется углекислый газ, поглощающий невидимые инфракрасные лучи, испускаемые Землей. Чем больше углекислого газа в атмосфере Земли, тем труднее Земле "сбросить" лишнее тепло, тем выше становится средняя температура Земли. Ученые, правда, считают, что частицы дыма, которые образуются при сжигании топлива, немного задерживают горячие солнечные лучи на пути к Земле и это замедлит

потепление климата, вызванное накоплением в атмосфере углекислого газа. Космонавты хорошо видят, пролетая над городами, большие темные облака "промышленного" тумана. И хотя мы знаем теперь, что туман "оказывается, бывает полезным", лучше, если воздух над нами будет всегда чистым и прозрачным.

Здоровье человечества зависит не только от изобретения новых лекарств. В недалеком будущем необходимо решительно отказаться от традиционных путей получения энергии, от привычных котельных, тепловых электростанций и двигателей внутреннего сгорания. И если не будут созданы источники энергии не загрязняющие атмосферу, людям придется забыть об автомобилях и пересесть на велосипеды.

Вернем природе то, что мы у нее взяли

Взоры ученых вновь обратились к Солнцу и ... к атому. Атомные электростанции все успешнее соперничают с тепловыми, работающими на угле, нефти и газе. Однако и в атомной энергетике расходуется топливо, атомное, расходуется необратимо. Солнечная же энергия возобновляется ежесекундно. Используя солнечный свет, мы не изменяем теплового баланса Земли.

Может быть, необходимо просто ускорить процессы, происходящие на Земле под влиянием Солнца, помочь Солнцу снабжать человечество энергией? Например, выращивать леса на больших свободных пространствах Земли для того, чтобы восполнить убыль топлива в подземных кладовых. Эта идея подкупает простотой, но ведь дерево тоже, как уголь, нужно сначала сжечь, прежде чем получить энергию.

Идеальным было бы превращение одного чистого вида энергии - солнечного излучения - сразу в другой вид энергии - в электроэнергию. Без всяких промежуточных стадий, без выделения тепла и дыма.

Ученым удалось разработать теорию и технически осуществить превращение энергии солнечного излучения в электрическую на основе пленок из полупроводников (на основе кремния, селена, меди, покрытой слоем окислов сернистых соединений серебра, свинца, галлия, арсенид галлия).

Чудо-пластинка превращает 10 - 20 % энергии света в электрическую, значит с 1 м² можно снять 100 - 200 Вт. Квадратный километр пустыни даст 100 - 200 тыс. кВт электроэнергии.

Безусловно большое применение солнечные батареи получили в космических аппаратах (см. прил. рис. 7П - 9П). Площадь солнечных батарей космических аппаратов несколько десятков квадратных метров. При полете американской космической лаборатории "Скайлэб" испытывались батареи площадью 100 м². По конструкции батареи в виде гармошки и рулонные, чтобы во время входа в плотные слои атмосферы их сложить, во избежание дополнительного торможения.

Более 100 речных и морских светосигнальных знаков, маяков на территории России уже переведены на полное энергоснабжение от маленьких электростанций из солнечных элементов (см. прил. рис. 10П).

Другим способом утилизации энергии солнечных лучей является сбор, фокусировка их с большой площади на котел с помощью зеркал, которые "следят", движутся за перемещением Солнца (см. прил. рис. 11П).

Электричество из морской воды

Почти вся земная поверхность между тропиками Рака и Козерога, где ярко светит Солнце, покрыта водой. Температура поверхностного слоя в этих широтах никогда не

опускается ниже +27,8 °С. К северу и к югу от экватора, в приполярных областях летние солнечные лучи расплавляют льды, образовавшиеся в зимнее время. Холодная вода растаявших льдов опускается в глубины океана и движется к экватору. Так возникают в океане холодные течения. Температура воды в таких течениях на глубине 600 м колеблется от +1,7 до +3,4 °С, в то время как на поверхности воды температура составляет от +27,8 до +29,4 °С. Этот перепад температур существует в океане между тропиками Рака и Козерога на площади в несколько сотен миллионов квадратных километров. Там, где проходят теплые течения, например Гольфстрим, перепад температур между верхними и нижними слоями воды также значителен: от 15 до 21 °С.

Когда имеется разность температур, то может быть построена тепловая машина, преобразующая тепловую энергию в электрическую. Теоретический коэффициент полезного действия такой машины при перепаде температур 27 °С составляет 9 %.

Теплая вода может подогревать легкокипящую жидкость или газ, например, пропан, который начнет расширяться и вращать лопасти турбины. Реальный КПД такой машины будет невелик - всего 1 - 2 %. Но если даже с таким КПД всю тепловую энергию океана преобразовать в электроэнергию, то на суше уже не нужно строить электростанции.

Американские ученые провели расчеты, сколько электроэнергии можно получить, если преобразовывать в электричество тепло, которое несут с собой течения через Флоридский и Мексиканский заливы. Через Флоридский залив Гольфстрим проносит от 28,3 до 42,5 млн м³/с воды. Ширина течения 32 км и на протяжении 800 км перепад температур между поверхностными и глубинными слоями воды сохраняется почти постоянным. Расчеты показали, что если установить преобразователи, имеющие КПД 2 % на расстоянии 1,6 км один от другого, то можно получить за год $26 \cdot 10^{12}$ кВт/ч электроэнергии.

Каждый из преобразователей напоминает большой вертикальный плавучий буй диаметром около 30,5 м и общей высотой 67 м. Солнечные башни-электростанции скоро возникнут в океане. Как назвать такую электростанцию? Океанской, тепловой или солнечной? Не в названии дело. Важно, что ученые смогли найти еще один источник энергии, обязанный своим происхождением Солнцу. Источник, который может помочь человечеству в ближайшем будущем.

4 АТМОСФЕРА И ЧЕЛОВЕК

АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

Древнегреческий философ *Анаксимен* утверждал, что *Воздух* есть начало всего и что он *бесконечен* по величине, но ограничен по своим качествам. Все вещи возникают сообразно некоторому сгущению его и, с другой стороны, разрежению. Движение его вечно. То, что возникает из воздуха *конечно*: возникает же из него, говорил Анаксимен, земля, вода, огонь, а затем уже в них образуется все остальное, т.е. Воздух был раньше Воды. Это считается его преимуществом перед всем остальным началом простых тел.

☛ Анаксимен (VI в. до н.э.), ученик Анаксагора, который был в свою очередь учеником Фалеса.

Воздух - один из основных элементов среды - необходим всему живому на Земле. Без пищи человек может обходиться пять недель, без воды - пять дней, без воздуха - пять минут. Нормальная жизнедеятельность людей требует не только наличия воздуха, но и его определенной чистоты. От качества воздуха зависит здоровье людей, состояние растительного и животного мира, прочность и долговечность любых конструкций зданий, сооружений. Загрязненный воздух - источник загрязнения вод, суши, морей, почвы.

Немаловажное место поэтому в задачах охраны природы занимает борьба с загрязнением воздушных бассейнов. Эта проблема сложна, многогранна, требует больших сил и средств. Современный уровень научно-технического прогресса позволяет снизить образование опасных веществ, разработать мероприятия по предупреждению загрязнения воздуха. Снижение уровня загрязнения воздушного бассейна достигается путем строительства новых и повышения эффективности действующих газоочистительных установок, усиления технологической дисциплины, перевода производства на другие виды сырья и топлива. Особое внимание обращается на усиление работы государственной инспекции, осуществляющей контроль и надзор за соблюдением предписаний законодательства об охране природы.

СОСТАВ И НАЗНАЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

Атмосферный воздух - необходимый природный ресурс. Кислород, входящий в состав атмосферы, используется живыми организмами в процессе дыхания, он применяется при сжигании любого топлива в различных производственных установках и двигателях. Атмосфера - важный путь *сообщения*, используемый авиацией.

Основной потребитель воздуха в природе - флора и фауна Земли. Подсчитано, что весь воздушный океан проходит через земные живые организмы, включая человека, примерно за 10 лет.

Непосредственно к земной поверхности примыкает *тропосфера*. Она простирается до 10 км высоты над полюсами и до 18 км над экватором. В этом слое идет непрерывное интенсивное перемешивание воздуха как по горизонтали, так и по вертикали, что приводит к понижению его температуры с высотой примерно до $6,5^{\circ}\text{C}$ на 1 км. В тропосфере сконцентрировано 75 % всей массы воздуха, основное количество водяного пара и мельчайших частиц примесей, способствующих образованию облаков.

Верхней границей тропосферы является *тропопауза* - область, в которой температура перестает понижаться. В среднем она располагается на высоте 11 км.

Выше тропопаузы, примерно до 50 км простирается *стратосфера*. Для нее характерны слабые воздушные потоки, малое количество облаков и постоянство температуры (-56°C) до высоты примерно 25 км. Выше температура начинает повышаться (в среднем на $0,6^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м) и на уровне *стратоплаузы* (46 - 54 км), достигает 0°C .

Атмосфера регулирует тепловой режим Земли, она способствует перераспределению тепла по земному шару. Нетрудно представить себе, каким бы был температурный режим Земли, если бы не было атмосферы: ночью и зимой она бы сильно охлаждалась за счет собственного теплового излучения, а летом и днем перегревалась за счет солнечной радиации. Если бы Земля не была окружена воздушной оболочкой, то в течение только одних суток амплитуда колебаний температуры поверхности нашей планеты достигла бы 200°C : днем была бы сильнейшая жара (более 100°C), а ночью - мороз (около 100°C). Еще большая разница была бы между зимними и летними температурами. В действительности средняя температура Земли благодаря атмосфере около 15°C .

Газовая оболочка - надежный щит, который спасает все живущее на Земле от губительных ультрафиолетовых, рентгеновских и космических лучей.

Атмосфера защищает нас и от "звездных осколков". Размеры метеоритов в подавляющем большинстве не превышают горошины. С огромной скоростью (11 - 64 км/с) они под влиянием земного притяжения врезаются в атмосферу планеты, раскаляются за счет трения о воздух и на высоте около 60 - 70 км большей частью сгорают. Более крупные метеориты - болиды достигают более плотных слоев атмосферы, под действием трения, и, как результат,

собственного разогрева разрушаются на более мелкие части, отдельные из которых достигают поверхности Земли. Они приносят с собой неоценимую информацию о строении Мироздания.

Велико значение атмосферы в распределении света. Воздух атмосферы рассеивает солнечные лучи и создает равномерное освещение, к которому мы привыкли.

Наличие воздушной оболочки придают нашему небу голубой цвет, так как молекулы основных элементов воздуха и различные примеси, содержащиеся в ней, рассеивают главным образом лучи с короткой длиной волны, т.е. фиолетовые, синие, голубые.

Атмосфера является той средой, где распространяются звуки. Без воздуха на Земле царил бы полная тишина. Мы не слышали бы ни друг друга, ни пения птиц, ни шума леса, ни воя ветра. Тем более все это отсутствовало бы вместе с человеком.

Масса 1 м^3 сухого воздуха, если его взвесить на уровне моря, при температуре $0 \text{ }^\circ\text{C}$, равна 1293 г, а на каждый квадратный сантиметр земной поверхности приходится 1033 г воздуха (1 атм.).

Вверху давление воздуха и его масса уменьшена: на высоте 20 км масса 1 м^3 , воздуха 43 г, а на высоте 40 км - лишь 4 г.

Все процессы, развивающиеся в атмосфере, осуществляются за счет энергии, получаемой Землей от Солнца. Благодаря ей ежегодно с поверхности Земли испаряются многие миллиарды тонн воды. Атмосфера выполняет чрезвычайно важную роль перераспределения влаги на земном шаре. Поступившая в атмосферу в виде пара вода переносится на огромные расстояния и затем снова выпадает на Землю. При самом слабом дожде (например 1 мм осадков) на каждый квадратный метр поверхности приходится около 1 кг воды, и на 1 га - 10 т. Если учесть, что для испарения 1 г воды потребуется около 2512 Дж теплоты, то станет ясно, какое количество энергии затрачивается на процессы, совершающиеся в атмосфере.

Состав сухого воздуха определяется следующим соотношением газов по объему, %:

Азот	78,09
.....	
Кислород	20,95
.....	
Аргон	0,93
.....	
Углекислый газ	0,03
.....	
Неон	$1,82 \cdot 10^{-3}$
.....	
Гелий	$5,24 \cdot 10^{-4}$
.....	
Криптон	$1,14 \cdot 10^{-4}$
.....	
Водород	$3,00 \cdot 10^{-5}$
.....	
Ксенон	$8,70 \cdot 10^{-6}$
.....	

В атмосфере всегда присутствует водяной пар, количество которого непостоянно и колеблется от 0 до 4 % по объему. Кроме того, в воздухе обычно содержатся различные

примеси.

Кислород. Содержание кислорода в атмосфере в разных точках земной поверхности, в городе, в лесу, в степи, в поле и на море в среднем 20,95 %. Постоянство содержания кислорода обуславливается тем, что зеленые растения и фитопланктон океанов и морей, поглощая углекислый газ, выделяют за счет фотосинтеза кислород.

Деятельность организмов во всех ее проявлениях требует затраты энергии. Энергия же образуется в процессе окислительно-восстановительных реакций, неизменным участником которых является кислород. Не будет кислорода - остановятся процессы биологического окисления, оборвется цепь реакций, обеспечивающих организм энергией, и жизнь каждой клетки живого организма будет парализована. Кислород недаром называют *эликсиром жизни*.

Азот. По своей массе азот составляет основную часть атмосферы. Жизнь многим обязана азоту, но и азот земной атмосферы своим происхождением обязан жизненным процессам. Поразительно несоответствие между содержанием азота в литосфере - 0,01 % и в атмосфере - 75,6 % по массе (78,09 по объему). Практически человек обитает в азотной атмосфере, умеренно разбавленной кислородом.

Углекислый газ. В атмосфере содержится 0,03 % CO_2 или $2,3 \cdot 10^{12}$ т. Источником поступления углекислого газа в атмосферу являются вулканические газы, горячие ключи, дыхание человека и животных, растений и сжигание человеком горючих ископаемых. Сжигание топлива вносит ежегодно в атмосферу $1 \cdot 10^{10}$ т углекислоты. Примерно $1 \cdot 10^{11}$ т углекислоты непрерывно находится в обменном состоянии между атмосферой и океаном. Обмен углекислоты в поверхностных слоях океана происходит в течение 5 - 25 лет, в глубоких 200 - 1000 лет. Полный обмен углерода в атмосфере происходит за 300 - 500 лет.

Растворимость в воде диоксида углерода зависит от температуры, поэтому в холодных областях происходит его поглощение, а в тропиках - выделение.

Наличие двуокиси углерода в атмосфере обеспечивает накопление солнечной энергии в биосфере за счет фотосинтеза сложных соединений углерода, которые в процессе жизни непрерывно возникают, изменяются и разлагаются. Эта динамическая система поддерживается деятельностью наземных растений и водорослей, улавливающих энергию солнечного света и использующих ее для превращения двуокиси углерода и воды в разнообразные органические соединения с выделением кислорода. В процессе фотосинтеза растения ежегодно поглощают из атмосферы 170 млрд. т CO_2 . На фотосинтез 1 т органики необходимо 1,5 - 1,8 т CO_2 , при этом высвобождается 1,1 - 1,3 т кислорода. Считают, что растения ежегодно создают 100 млрд. т органических веществ. При этом они расходуют 130 млрд. т воды и выделяют 155 млрд. т кислорода. Две трети синтезируемой органической массы приходится на наземные растения и треть - на планктон и водоросли.

Диоксид углерода весьма активен в физиологическом отношении. Он играет важную роль в регуляции обменных процессов, деятельности центральной нервной системы, дыхания, кровообращения, кислородного режима. В тканях и крови животных и человека парциальное давление примерно в 200 раз превышает его давление в атмосфере.

Систематические наблюдения за содержанием диоксида углерода в атмосфере показывают, что оно растет. Известно, что CO_2 в атмосфере подобно стеклу в оранжерее пропускает лучистую энергию Солнца к поверхности Земли, но задерживает инфракрасное (тепловое) излучение Земли и тем самым создает так называемый тепличный (парниковый) эффект.

Рост концентрации диоксида углерода в атмосфере происходит за счет сжигания угля, нефти и других видов топлива. Анализ изменения атмосферного CO_2 во времени показал, что общее количество CO_2 , поступающее в атмосферу, растет экспоненциально, увеличиваясь на 4 - 5 % в год.

Согласно расчетам концентрация CO_2 в 2030 г. достигнет 0,05 - 0,07 %, т.е. диоксида

углерода станет примерно вдвое больше, чем в доиндустриальную эпоху. После 2030 г. концентрация CO_2 в течение одного-двух столетий будет расти, достигнув в 4 - 10 раз больших ее доиндустриального уровня, начнет медленно уменьшаться.

Так как температура воздуха зависит от концентрации CO_2 , то повышение температуры в 2030 г на $2,5^\circ\text{C}$ может повлечь за собой таяние ледников.

Водород, инертные газы, родон. В атмосфере находится ничтожное количество свободного водорода (0,0001 % по числу атомов), а также инертные газы. Присутствие в атмосфере группы инертных газов (гелия, неона, аргона, криптона, ксенона) связано с непрерывными процессами естественного радиоактивного распада. Инертные газы относятся к числу биологически индифферентных газов.

Атмосферный воздух также содержит следы продуктов распада урана, тория и родона, постоянно диффундирующего из почвы. В последнее время родону оказывается большое внимание, поскольку его диффузия из почвы неравномерна, особо обнаруживают его в подвалах, погребах, подземных сооружениях и даже на первых этажах многоэтажных домов. Обнаружено его отрицательное влияние на организм человека. Это изучается во всем мире особо. В лечебных целях в санаториях используются родоновые ванны, очевидно, "яд в малых дозах целебен".

Озон. Он образуется в стратосфере из молекулярного кислорода. Последний образуется под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца.

Слой атмосферы, близко совпадающий со стратосферой, лежащий между 7 - 8 км на полюсах и 17 - 18 км на экваторе и 50 км над поверхностью планеты отличающийся повышенной концентрацией молекул озона, называется *озоносферой* (озоновый экран). Общее содержание озона в этом слое невелико: толщина приведенного (к нормальному давлению) слоя всего около 3 мм.

Естественный процесс образования и разрушения стратосферного озона нарушается при наличии в стратосфере таких малых составляющих, как окислы азота, водорода, хлора, брома, и особо фреона. Фреоны выделяются при работе холодильных установок и как растворитель в промышленности, при изготовлении аэрозолей. Сейчас принято международное соглашение, по ограничению, исключению применения фреонов в технологических целях. Разрушению озона может способствовать и N_2O , выделяющийся при использовании минеральных удобрений, а также непосредственные выбросы различных веществ в стратосферу при полетах сверхвысотных самолетов и космических ракет. Заговорили об образовании "озоновых дыр".

Общее уменьшение содержания озона в атмосфере может привести к усилению прохождения ультрафиолетового излучения Солнца к земной поверхности. А это может способствовать повышению вероятности возникновения рака кожи у людей, повлиять на продукцию сельского хозяйства. Перераспределение концентрации озона по высоте приведет к перераспределению температуры в стратосфере и может сказаться на климате Земли.

Аэрозоли. Система из газа и взвешенных в нем свободных пылинок, частичек твердого тела и капелек жидкости называется аэрозолем. Аэрозоли в окружающей природе частое явление. Облака, целительные фитоциды, морской воздух, насыщенный солями, - все это полезные аэрозоли. Но есть и вредные: выхлопы двигателей внутреннего сгорания, дым и др.

Аэрозоли наблюдаются как в тропосфере, так и в верхних слоях атмосферы. Концентрация их убывает с высотой. Возникают они в результате засорения атмосферы от земной поверхности, индустриальных загрязнений, вулканических извержений и космической пылью. Каждый кубический сантиметр воздуха, которым мы дышим в городе, содержит от 10 до 100 тыс. мельчайших частиц, в сельской местности - около 5 тыс., над океанами - еще меньше.

Ионы. Под действием земного радиоактивного излучения и космических лучей в атмосфере образуются ионы. В 1 см^3 воздуха их может содержаться от нескольких сотен до

нескольких десятков тысяч. Легкие ионы с отрицательным зарядом оказывают положительное влияние на организм. Искусственно ионизированный воздух улучшает обмен веществ, аппетит животных и усвояемость кормов, способствует росту и развитию молодняка, повышает продуктивность и устойчивость к заболеваниям. В городах, где воздух загрязнен, ионов в атмосфере значительно меньше. Горный, лесной или морской воздух содержит большое количество отрицательно заряженных ионов водорода, которые легче проникают в организм, лучше насыщают кровь, тем самым оказывают благотворное влияние.

Самоочищение атмосферы. Воздушный океан обладает способностью к самоочищению от загрязняющих веществ.

Аэрозоли вымываются из атмосферы осадками, ионы оседают под влиянием электрического поля атмосферы. Выпадению аэрозолей, кроме силы тяжести, способствует соприкосновение нижнего слоя воздуха с земной поверхностью и предметами, расположенными на ней. Воздушные потоки очищаются, встречая на своем пути лес. На деревьях осаждаются не только твердые частицы, но и летучие вещества.

Всякое загрязнение вызывает у природы защитную реакцию, направленную на ее нейтрализацию. Эта способность природы долгое время эксплуатировалась человеком бездумно и хищнически. Отходы производства выбрасывались в воздух в расчете на то, что все они в конечном итоге будут обезврежены и переработаны самой природой. При этом не возникало и мысли о наносимом ей ущербе.

Способность атмосферы к самоочищению имеет определенные границы. Если они будут превышены, то самоочищение в атмосфере не приведет к полному рассеиванию и разложению примесей. Поэтому большие объемы вредных выбросов в атмосферу вызывает целый ряд неблагоприятных последствий.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются автомобили и другие виды транспорта, а также промышленные предприятия.

Выхлопы автотранспорта. Мировой автомобильный парк насчитывает около 500 млн. машин, сжигающих огромное количество ценных нефтепродуктов и одновременно наносящих ощутимый вред окружающей среде.

Выбросы автотранспорта, составляющие около половины атмосферных выбросов антропогенного происхождения, образующихся из выбросов двигателя и картера автомашины, продуктов износа механических частей, покрышек и дорожного покрытия. В состав выбросов помимо азота входят такие вредные компоненты, как оксид углерода, углеводороды, диоксиды азота и серы, а также твердые частицы.

К числу вредных компонентов относятся и твердые выбросы, содержащие свинец, сажу, на поверхности которой адсорбируются циклические углеводороды, ряд которых, согласно новейшим данным, обладает канцерогенными свойствами.

В 30-х гг. над Лос-Анджелесом стал появляться туман - *смог* в теплое время года, как правило, летом и ранней осенью, в жаркие дни. Лос-анжелесский смог - сухой туман с влажностью 70 %. Этот смог называют *фотохимическим туманом*, так как для его возникновения необходим солнечный свет, вызывающий сложные фотохимические превращения в смеси углеводородов и диоксидов азота автомобильных выбросов.

С ростом числа автомобилей подобные явления, смоги, появлялись во многих других городах Америки, Европы, Азии.

Загрязнения атмосферного воздуха промышленными выбросами. Предприятия металлургической, химической, цементной отраслей выбрасывают в атмосферу огромное количество золы, сернистых и других вредных газов.

Черная металлургия. Процессы выплавки чугуна и стали сопровождаются выбросом в атмосферу различных газов. Выброс пыли в расчете на 1 т передельного чугуна составляет

4,5 кг, сернистого газа 2,7 кг и марганца 0,06 - 0,1 кг. Вместе с доменным газом в атмосферу в небольших количествах выбрасываются также соединения мышьяка, фосфора, сурьмы, свинца, пары ртути и редких металлов, цианистый водород и смолистые вещества.

Агломерационные фабрики тоже являются значительным источником загрязнения воздуха сернистым газом. Во время агломерации руды происходит выгорание серы из пиритов. Сульфидные руды содержат до 10 % серы, а после агломерации ее остается 0,2 - 0,7 %. Выброс сернистого газа при агломерации может быть принят в размере 190 кг/т руды.

Загрязнение воздуха пылью при коксовании углей сопряжено с подготовкой шихты и загрузкой ее в коксовые печи, с выгрузкой кокса в тушильные вагоны и мокрым тушением кокса. Мокрое тушение сопровождается выбросом в атмосферу веществ, входящих в состав используемой воды.

Цветная металлургия. Загрязняет атмосферный воздух пылью и газами. Выбросы цветной металлургии содержат токсические пылевидные вещества, мышьяк, свинец и др., поэтому особо опасны.

При получении металлического алюминия путем электролиза с отходящими газами от электролизных ванн в атмосферный воздух выделяется значительное количество газообразных и пылевидных фтористых соединений. При получении 1 т алюминия в зависимости от типа и мощности электролиза расходуется 38 - 47 кг фтора, при этом 65 % его попадает в атмосферный воздух.

Нефтедобывающая и нефтехимическая промышленность. Воздушные выбросы предприятий содержат большое количество углеводородов и дурнопахнущих газов. Выброс в атмосферу происходит главным образом вследствие недостаточной герметизации оборудования. Заводы синтетического каучука выбрасывают в атмосферу такие вредные вещества, как стирол, дивинил, толуол, ацетон, изопрен и др.

Производство цемента и строительных материалов, загрязняет атмосферу различной пылью, так как основными технологическими процессами этих производств являются процессы измельчения и термическая обработка полуфабрикатов и продуктов в потоках горячих газов.

Химическая промышленность. Это большая группа предприятий. Состав их промышленных выбросов весьма разнообразен, большинство соединений токсичны для организма человека. Основными выбросами являются: оксид углерода, диоксиды азота, сернистый ангидрид, аммиак, пыль от неорганических производств, органические вещества, сероводород и сероуглерод, хлористые соединения, фтористые соединения и др.

Источники загрязнения атмосферного воздуха в сельских местностях. Это животноводческие и птицеводческие фермы, промышленные комплексы по производству мяса, предприятий районных отделений Агропрома, энергетические и теплосиловые предприятия, пестициды, применяемые в сельском хозяйстве. В районе расположения помещений для содержания скота и птицы в атмосферный воздух могут поступать и распространяться на значительные расстояния аммиак, сероуглерод и другие дурнопахнущие газы.

К источникам загрязнения воздуха пестицидами относятся склады, протравливание семян и сами поля, на которые в том или ином виде вносятся пестициды и минеральные удобрения.

Последствия загрязнения атмосферы. Загрязнение окружающей среды и, в особенности, воздуха выбросами автомобильного транспорта и промышленных предприятий вызывает все большее беспокойство людей в различных странах. По оценкам экспертов ООН, в атмосферу Европы, США и Канады ежегодно выбрасывается около 100 млн.т одних только соединений серы. Значительная часть этих выбросов соединяясь в атмосфере с водяными парами, выпадает затем на землю в виде так называемых *кислотных дождей*. Эти вредные и для человека и для природы выбросы могут перемещаться на громадные

расстояния. Установлено, что выбросы ФРГ и Англии переносятся на расстояния более тысячи километров и выпадают на территорию скандинавских стран, а из северо-восточных штатов США - на территорию Канады. Установлено, что "кислотные дожди" снижают устойчивость человеческого организма к простудным заболеваниям, ускоряют коррозию конструкций из стали, никеля и меди, разрушают песчаник и мрамор, наносят непоправимый ущерб зданиям и памятникам культуры.

По имеющимся оценкам, ущерб от "кислотных дождей" исчисляется огромными цифрами. Лишь в одних США он составляет около 3 млрд. долларов в год. Выпадение серы в реки, озера и на почву приводит их к закислению. В результате в Южной Норвегии рыба исчезла в 1750 озерах, а в северо-восточной части США - более чем в тысяче озер. Страны Скандинавии, наблюдая у себя, кроме того, сокращение числа блондинов, обратились в ООН с претензией к Германии и Англии о возмещении ущерба природе и генофонду.

Вредоносные последствия загрязнения окружающей среды сказывается и на территории стран СНГ. Согласно данным Европейской экономической комиссии ООН, с запада на восток через границу в воздушных потоках идет в 4 раза больше серы, чем в обратном направлении.

Дальнейшая индустриализация Европы и Северной Америки все более усиливает загрязнение среды. К выбросам в атмосферу соединений серы добавляются выбросы соединений азота, тяжелые металлы - ртуть, свинец, кадмий.

Тенденция развития "цивилизованных" стран состоит сейчас в том, чтобы "грязные" производства через вложения награбленных капиталов размещать через свои дочерние фирмы в развивающихся странах, подальше от себя, в Индии, африканских странах, теперь и в России и странах СНГ. Добыча сырья наиболее загрязняющие и экологически вредные производства, в том числе получение из него полуфабрикатов. Переработка этих полуфабрикатов - удел "цивилизованных", "чистых" государств. Возьмем машиностроение, производство чугуна, стали, алюминия - экологически вредные производства. Россия поставляет этот металл на мировой рынок и покупает изготовленное из него оборудование втроедорога. То же относится к нефтяной и газовой промышленности - им сырье - нам изделия, в том числе из пластмассы и резины. Быть сырьевым придатком нам негоже. Машиностроительное производство более экологически чистое, чем горнодобывающее.

В декабре 1984 г. в индийском городе Бхипал в результате утечки почти 40 т ядовитого газа на заводе американской компании "Юнион карбайд" погибли более 2,5 тыс. чел., и свыше 50 тыс. получили тяжелые отравления, из них около 20 тыс. ослепли, получили болезни легких, почек.

Загазованный, запыленный воздух значительно укорачивает срок службы городских зданий: дополнительные затраты на их ремонт ежегодно исчисляются сотнями миллионов рублей. То же можно сказать о промышленности. Например, зола, выбрасываемая предприятиями, не так уж безобидна и для них самих. Она способствует ускоренному абразивному износу подвижных частей оборудования, образованию ржавчины. Не в меньшей мере пыль и копоть противопоказана сельскому хозяйству: в условиях Донбасса при сильной запыленности и загазованности и по мере приближения посевов к источникам выбросов урожай зерновых снижается в среднем на 20 %.

Термин "кислотные дожди" был введен английским химиком А. Смитом свыше 100 лет назад, когда ему удалось выявить зависимость между уровнем загрязнения над городом Манчестер и кислотностью осадков. Однако пагубные экологические последствия кислотных осадков проявились лишь в последние 25 - 30 лет.

При сжигании любого ископаемого топлива (уголь, горючий сланец, мазут) в составе выделяющихся газов всегда обнаруживаются диоксиды серы и азота. В зависимости от состава топлива их может быть меньше или больше. Высокосернистые угли и мазут дают особенно богатые сернистым газом выбросы. Миллионы тонн диоксидов серы, выбрасываемые в атмосферу, и превращают выпадающие дожди в слабый раствор кислот.

Дождевая вода, образуемая при конденсации водяного пара, должна иметь нейтральную реакцию, т.е. рН7 (рН - показатель, характеризующий кислотные и щелочные свойства растворов). Но даже в самом чистом воздухе всегда есть диоксид углерода, и дождевая вода, растворяя его, чуть подкисляется (рН5,6 – 5,7). А вобрав кислоты, образующиеся из диоксидов серы и азота, дождь становится заметно кислым. Например, в северо-восточной части США, в промышленных районах Англии, рН дождевой воды, как правило, от 3 до 4. Уменьшение рН на одну единицу означает увеличение кислотности в 10 раз, на две единицы - в 100 раз и т.д. Мировой рекорд по части кислого дождя пока что принадлежит шотландскому городу Питлохри, где 10 апреля 1974 г. выпал дождь с рН 2,4 - это уже не вода, а что-то вроде столового уксуса.

В связи с растущей угрозой существования самого человека на Земле вопрос о загрязнении окружающей среды встал на повестку многих международных форумов.

ОСНОВЫ ГИГИЕНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Решение вопроса о допустимом содержании атмосферных загрязнений основывается на представлении о наличии *порогов в действии загрязнений*. При научном обосновании ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе используют *принцип лимитирующего показателя* (нормирование по наиболее чувствительному показателю). Так, если запах ощущается при концентрациях, не оказывающих вредного влияния на организм человека и внешнюю среду, нормирование осуществляется с учетом порога обоняния. Если вещество оказывает на окружающую среду вредное действие в меньших концентрациях, то при гигиеническом нормировании учитывается порог действия этого вещества на внешнюю среду.

Для каждого вещества, загрязняющего атмосферный воздух, установлены два норматива: разовая и среднесуточная ПДК. *Максимальная разовая ПДК* устанавливается для предупреждения рефлекторных реакций у человека (ощущение запаха, изменение биоэлектрической активности головного мозга, световой чувствительности глаз и др.) при кратковременном воздействии атмосферных загрязнений (до 20 мин), а *среднесуточная* - с целью предупреждения их резорбтивного (общетоксического, канцерогенного, мутагенного и др.) воздействия.

Максимальная разовая ПДК атмосферных загрязнений устанавливается в процессе наблюдений над людьми, которые кратковременно (5 - 20 мин.) вдыхают воздух с малыми концентрациями изучаемого вещества. Максимальная концентрация, используемая в испытаниях, не должна превышать ПДК, установленную для воздуха производственных помещений.

Вначале определяют *пороговую концентрацию* по запаху. Потом устанавливают *пороговые* и *подпороговые концентрации по раздражающему действию на органы дыхания*.

Чтобы установить среднесуточные ПДК атмосферных загрязнений, проводят токсикологический эксперимент с целью изучения резорбтивного действия конкретного вредного вещества. В эксперименте моделируются условия контакта человека с изучаемым веществом. Опыты проводятся на белых крысах, морских свинках и других лабораторных животных (продолжительность 3 - 4 мес.).

В последние годы получают широкое распространение *методы изучения эмбриотоксического, гонадотоксического, аллергенного, бластомогенного действия атмосферных загрязнений*.

Если атмосферный воздух загрязнен многими веществами, то их *комбинированное действие* и ПДК определяются по правилу *аддитивности* (сложения).

Гигиенические нормативы, положенные в основу предупредительного надзора за охраной атмосферного воздуха, дают возможность надежно прогнозировать вероятность загрязнения воздуха в населенных пунктах в районах расположения промышленных

объектов. Гигиенические нормативы установлены для более 600 веществ и 33 комбинаций атмосферных загрязнений.

Мероприятия по снижению выбросов автотранспорта

Градостроительные мероприятия. Включают специальные приемы застройки и озеленения автомагистралей, размещение жилой застройки по принципу зонирования. Важное значение имеет сооружение транспортных развязок на разных уровнях, магистралей-дублеров, кольцевых дорог, использование подземного пространства для размещения автостоянок и гаражей.

Так как наибольший выброс продуктов неполного сгорания бензина происходит при задержке машин у светофоров, при стоянке с не выключенным мотором в ожидании зеленого света, при трогании с места и форсировании работы мотора, то необходимо устранить препятствия на пути свободного движения потока машин. Для этого нужны специальные автомобильные магистрали, не пересекающиеся с другими магистралями на одном уровне движения машин или пешеходов.

В Москве, например, в районе площади Маяковского после строительства подземного тоннеля для автомобилей, содержание оксида углерода в воздухе снизилось в 6 - 10 раз.

Оценка автомобилей по токсичности выхлопов. Важным средством борьбы с выбросами автотранспорта является ограничение количества вредных веществ, выделяемых автомобилем. Введено государственное нормирование вредных выбросов автотранспорта.

Созданы портативные газоанализаторы, с помощью которых измеряют степень загрязнения выбросами автотранспорта, с карбюраторными двигателями.

Сокращение содержания свинца в горючем. Для предотвращения детонации горючего в двигателях автомашин используются химические средства, содержащие свинец. Добавление свинца делает выхлопные газы особо токсичными. В настоящее время предпринимаются попытки сократить или исключить содержание свинца в горючем.

Добавление к топливу присадок. Добавлением к топливу присадок можно изменить ход реакции окисления углеводородов в сторону меньшего образования некоторых токсичных компонентов: оксида углерода, углеводородов, альдегидов, сажи и др. Разработано большое число присадок к дизельному топливу, снижающих содержание в выхлопных газах дизелей сажи. Наиболее эффективными оказались барийсодержащие присадки. Добавление к топливу 1 % (по объему) присадок А2 (разработано в СССР) снижает концентрацию сажи в выхлопных газах при всех режимах работы двигателя на 70 - 90 %.

Сжатый и сжиженный газ. При выхлопе газобаллонных двигателей содержится в 3-4 раза меньше оксида углерода, чем в выхлопе бензиновых двигателей. Газ сгорает почти полностью. Как показал отечественный и зарубежный опыт, природный газ - экономичное горючее для автомобильных двигателей; 1 м³ газа сберегает 1 л бензина. Ресурсы мотора увеличиваются в 1,5 раза, периодичность смены масла в 2,5 раза. Во столько же уменьшаются затраты на топливо и себестоимость перевозок. Резко уменьшаются выбросы продуктов сгорания. Помимо сжатого газа используется сжиженный газ. Температура его кипения 160 °С. Во избежание испарения, топливо помещают в криогенный бак; 160 л сжиженного природного газа обеспечивают автопробег в 300 км. Газ легко смешивается с воздухом и образует идеальную "пищу" для мотора. Октановое число метана выше, чем у бензина. Газовое топливо увеличивает срок службы мотора на треть. Конечно, нужны инвестиции в строительство сети газонаполнительных компрессорных станций.

Нейтрализаторы выхлопных газов. Отработанные газы автомашин можно обезвредить с помощью специальных устройств в системе выпуска двигателя автомобиля, называемых *нейтрализаторами*. Эффект от использования нейтрализаторов внушительный:

при оптимальном режиме выброс в атмосферу оксида углерода уменьшается на 70 - 80 %, а углеводородов - на 50 - 70 %.

Устройство для обезвреживания отработанных газов двигателя автомобиля *методом каталитического воздействия* получило название *каталитического нейтрализатора*.

Совершенствование двигателей внутреннего сгорания. Ученые многих стран мира для уменьшения количества вредных выбросов в атмосферу работают в направлении совершенствования конструкции карбюратора и камеры сгорания.

Дизельные двигатели. Значительный прогресс в дизелестроении сделали эти двигатели более чистыми, чем бензиновые. Их использование дает значительную экономию горючего. Дизель экономичнее карбюраторного двигателя на 20 - 30 %. Для производства 1 л дизельного топлива требуется в 2,5 раза меньше энергии, чем 1 л бензина.

В выхлопе дизеля почти не содержится ядовитого оксида углерода, так как дизельное топливо в нем сжигается практически полностью. К тому же дизельное топливо свободно от тетраэтила свинца.

Электромобиль. Как альтернатива автомобилю внутреннего сгорания - электромобиль. Однако небольшие возможности аккумуляторной батареи сдерживают массовое распространение электромобиля. Полный перевод автотранспорта на электротягу в ближайшем будущем вряд ли возможен, так как он потребовал бы значительного расхода электроэнергии для зарядки батарей, дефицитных материалов для их изготовления, постройки сети электрозаправочных станций и др.

"Водородный автомобиль". Использование водорода в качестве основного топлива изменит коренным образом облик техники будущего. Будет практически решена проблема современности - охрана окружающей среды от загрязнения. "Водородный" двигатель может быть на 50 % "эффективнее" бензинового, так как он имеет более высокую степень сжатия, очень небольшое опережение зажигания и полное сгорание.

О повсеместном применении водорода говорить пока рано, так как не решен вопрос о производстве и организации станций заправки и о способах хранения его запасов на борту автомобиля.

БЕЗОТХОДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Создание безотходных промышленных предприятий - одно из основных мероприятий по охране атмосферного воздуха от загрязнений. Радикальное улучшение использования природных ресурсов, сырья материалов, топлива и энергии должно проводиться на всех стадиях - от добычи и комплексной переработки сырья до выпуска и использования конечной продукции.

Создание безотходных технологических процессов предполагает как разработку рациональных способов и приемов выделения примесей и газов, так и принципиальное изменение технологического процесса или отдельных его стадий. Изменение технологии должно идти по пути уменьшения количества выбросов и сокращения затрат на очистку газов, циркулирующих в системе.

ОЧИСТКА ГАЗОПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ И ИХ ВЫБРОС ЧЕРЕЗ ВЫСОКИЕ ТРУБЫ

Для каждого вида загрязнения существует свой метод, специальный аппарат, который позволяет с минимальными затратами энергии получить высокую степень очистки. Выбор метода для очистки газообразных примесей определяется, в первую очередь, химическими и физикохимическими свойствами примеси. Большое влияние на выбор метода оказывает характер производства: свойства имеющихся в производстве веществ, их пригодность в качестве поглотителей газа, возможность регенерации поглотителей, рекуперации или

утилизации уловленных газов.

Для многих производств (тепловых электростанций и металлургических заводов) эффективным решением вопросов очистки выбросов в атмосферу остается сооружение *фильтров поглотителей и дымовых труб*.

У дымовой трубы два назначения: 1 - создать тягу и тем самым заставить воздух в нужном количестве и с должной скоростью входить в топку; 2 - отводить продукты горения - вредные газы и твердые частицы в дыме - в верхние слои атмосферы. Благодаря непрерывному турбулентному движению воздуха вредные газы и твердые частицы уносятся далеко от источника их возникновения и рассеиваются.

Дымовая труба стометровой высоты позволяет рассеивать вредные вещества в радиусе 20 км до безвредной для человека концентрации. Труба высотой 250 м увеличивает радиус рассеивания до 75 км. В ближайшем окружении дымовой трубы создается, так называемая, *тневая зона*, в которую совсем не попадают вредные вещества. Свое влияние оказывает и *роза ветров* в данной местности. Однако рассеивание вредных веществ фактически не избавляет воздушный бассейн от загрязнения.

САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫЕ ЗОНЫ

Предприятия - источники выделения в атмосферный воздух вредных и неприятно пахнущих веществ отделяют от жилой застройки *санитарно-защитными зонами*.

В соответствии с санитарной классификацией предприятий устанавливаются размеры санитарно-защитных зон.

Класс предприятия	I	II	III	IV	V
Расстояние, м	1000	500	600	100	50

Предприятия I и II классов - это крупные химические, нефтеперерабатывающие, металлургические заводы и тепловые электростанции.

Проект благоустройства и выбор пород зеленых насаждений составляется в соответствии с требованиями "Строительных норм и правил" (СНиП). Правилами предусмотрено, в том числе, что можно размещать в зеленой зоне, а что нельзя: можно - пожарные депо, бани, гаражи и др.; нельзя - парки, детские учреждения, школы, больницы и др.

Защитные зоны проектируются согласно нормам проектирования промышленных предприятий (СН 245 - 71).

ЗАКОН ОБ ОХРАНЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Забота об охране атмосферного воздуха осуществляется, прежде всего, через систему санитарно-гигиенических требований к промышленности, транспорту, градостроительству. В существующем законе получили дальнейшее развитие *правила о нормировании предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе*.

Гигиенисты создали *научную концепцию гигиенического нормирования допустимых уровней воздействия вредных факторов химической, физической и биологической природы*.

Существенным является положение о нормировании предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферу стационарными и подвижными источниками. Это означает, что для каждой точки (например, трубы) выдается государственными органами разрешение на предельные количества выбрасываемых загрязнений в единицу времени. Нарушение нормы на выброс рассматривается как правонарушение, влечет за собой различные виды ответственности (уголовная, административная, материальная и др.)

Для атмосферного воздуха установлены ПДК для 600 химических веществ при изолированном действии и для 33 их комбинаций.

Санитарный надзор и контроль за уровнем загрязнения атмосферного воздуха.

Государственный санитарный надзор осуществляется органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы министерства здравоохранения. В их обязанности входит предупредительный и текущий надзор за санитарно-противоэпидемиологическими мероприятиями и соблюдением предприятиями, учреждениями, организациями, должностными лицами и гражданами санитарно-гигиенических правил и норм.

Руководство работой санэксплуатации края, области, входящей в систему учреждений здравоохранения, осуществляет главный врач санэксплуатации, являющийся одновременно главным государственным санитарным врачом территории.

Санитарно-эпидемиологическая служба осуществляет надзор за новым строительством и реконструкцией промышленных объектов, который включает в себя отвод земельного участка, обоснование проектов, наблюдение за процессом строительства и приемом объекта в эксплуатацию.

Служба контролирует ПДК и ПДВ, установленными государственными стандартами.

Наблюдения за загрязнением атмосферы проводятся на стационарных, маршрутных и передвижных (подфакельных) постах.

Стационарные посты - служат для проведения *систематических* наблюдений, оборудованы специальными павильонами, приборами и аппаратурой для отбора проб воздуха и регистрации вредных примесей в атмосфере.

Передвижные (подфакельные) посты служат для *разовых* наблюдений в зонах непосредственного влияния промышленных выбросов. Проводятся в местах выброса, над факелом.

Маршрутные посты предназначены для *систематических* наблюдений. Отбор проб воздуха проводится с помощью передвижной лаборатории (на автомашине).

Минимальное количество стационарных постов определяется по численности населения:

Население	50 тыс.	50 - 100 тыс.	100 - 200 тыс.	200 - 500 тыс.	0,5 - 1 млн.	1 - 2 млн.	2 млн.
Количество постов	1	2	2 - 3	3 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20

Вся информация о состоянии окружающего (приземного) воздуха по территориям (стране) регистрируется и анализируется с помощью автоматизированных систем контроля за уровнем загрязнения.

Выводы: Мы уяснили, что природа создала все необходимые условия для зарождения жизни на Земле и ее эволюционного развития. Очевидно мы должны с большой буквы писать: Солнце, Земля, Вода, Воздух.

Человек, которого называют "вершиной творения природы" на вышеназванные объекты влияет отрицательно (кроме Солнца), разрушает, приводит к деградации через свою индустриальную деятельность, и не только индустриальную. Поэтому предлагается писать слово человек с "очень маленькой" буквы, он сам создает себе проблемы, чтобы с ними бороться.

5 Вода - источник жизни

"Все происходит из воды" - поражающая нас мысль, высказанная Фалесом.

☛ Фалес (около 625 - около 547 до н.э.) - древнегреческий мыслитель, родоначальник античной философии и науки. Возводил все многообразие явлений и вещей к единой первостихии - воде.

"Здесь небывалый полет мысли и фантазии, интуитивное сведение хаоса вещей и предметов, событий и переживаний в одно всеединство, мистическая формула разбросанного и пестрого мира". (А. Ф. Лосев)

В этом простом воззрении, что все из воды, кроются целых *три великих идеи*, которые, в свою очередь, рождают из себя новую великую идею, уже бессмертную, завещанную нам греками.

Первая идея, кроющаяся в вышеназванном открытии Фалеса - это *идея единства всего*, идея *всеединства*. Фалес со своими последователями-учениками прямо говорил: "*Космос един*".

Вторая великая идея, заложенная в той же формуле, есть идея *неуничтожимости всего*. Здесь заключены нынешние понятия закона сохранения материи и сохранения энергии.

Третья идея, вытекает из второй и первой, это *идея индивидуальных вещей и безликих стихий*. "Ничем, - говорил Фалес, - смерть не отличается от жизни", или, он же: "Все из воды, и все разрешается в воду".

Обыкновенная вода

Обыкновенная вода, ее мы пьем, умываемся, которой нет конца и края, когда мы смотрим на нее с морского берега, и капля, которая дрожит на утреннем листе, несмотря на свою распространенность, действительно является самым необыкновенным веществом на Земле.

По современным данным, 93 % всех атомов Вселенной составляют атомы водорода - газа, "родящего воду". За две с половиной тысячи лет, если считать, что тогда зародилась "первонаука" в Греции, человечество так еще и не познало всех необыкновенных свойств воды. До сих пор наука не дала удовлетворительного ответа, почему, замерзая, водяные пары превращаются в снежинки таких неожиданных прихотливых очертаний.

Вода состоит из двух элементов: водорода и кислорода (H_2O). Казалось бы, что и соединению их резонно оставаться в газообразном состоянии. Многие элементы, даже "твердые", соединяясь с водородом и давая подобные по молекулярному строению вещества, так и "поступают". Например, соединение с теллурием (H_2Te), селеном (H_2Se), серой (H_2S) - все они выше $0^\circ C$ газообразны. Но вода является жидкостью.

Все другие вещества в природе при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Вода следует этому правилу, но только до определенного предела.

Она сжимается, пока ее охлаждают до $+4^\circ C$. Очень важно, что вода при этой температуре обладает наибольшей плотностью. При дальнейшем охлаждении она вдруг проявляет "строптивость" и снова расширяется. При $0^\circ C$ вода превращается в лед, ее расширение происходит скачкообразно и объем увеличивается почти на 10 % от первоначального. Именно поэтому лед оказывается легче воды и плавает на ее поверхности. Эта особенность воды имеет огромное значение для всего живого на Земле. В самом деле, если бы вода продолжала сжиматься при температуре ниже $+4^\circ C$, лед неизменно опускался бы на дно, постепенно все водоемы Земли насквозь промерзли бы и жизнь в океане прекратилась бы. Замерзание водоемов, кроме того, привело бы к резкому уменьшению испарения воды и к сокращению количества осадков. Трудно представить себе, как изменился бы климат Земли, если не это необычайное свойство воды.

Климат Земли зависит и от другого необычайного качества воды - очень большой *теплоемкости*. По теплоемкости вода примерно в десять раз превосходит железо. Причем это качество вода сохраняет и в виде льда и в виде пара. Аккумулируя тепло в теплое время

суток или года и отдавая в холодное, огромные массы воды океана буквально "делают погоду" на нашей планете.

Вода обладает огромной силой поверхностного *натяжения*, в которой уступает только ртути. Именно поэтому в своем падении в воздухе она принимает форму шариков, которые лишь слегка вытягиваются из-за трения о воздух.

Вода способна прилипать к большинству веществ, смачивать их.

Вода почти универсальный растворитель, и в этом еще ее удивительное свойство. Ведь она растворяет в себе, правда в незначительных количествах, даже стекло стакана, в который она налита.

Теперь, зная о некоторых особенностях воды, мы вполне можем представить себе, как она воздействовала на вещества, из которых состоит земная кора.

"Капля камень долбит", - говорит пословица. Мириады капель, масса которых была помножена на силу поверхностного натяжения, миллионы лет долбили, разрушали породы, из которых складывалась земная кора.

Теплоемкая вода, то, аккумулируя в себе тепло, то, отдавая его, попеременно нагревая и охлаждая вещества, с которыми она соприкасалась, продолжает их разрушение.

Огромная механическая работа дополнялась химической, когда вода растворяла в себе все, что только могла, а могла она многое.

Прилипнув к твердым частицам земной коры, она увлекала их за собой в ручьи, реки и выносила в океан. Все эти свойства воды действовали не в одиночку, а переплетались.

Теперь мы можем понять, почему океан стал таким, каким мы его узнаем: благодаря необыкновенным свойствам воды, обычной воды.

Матерью всего живого на нашей планете является не "сырая земля", как "ошибочно" утверждает поговорка, а именно вода. И это еще одно необыкновенное ее свойство, вытекающее из всех остальных и неопределимо важное для нас. Если жизнь зародилась, то мы обязаны этим океану (несомненно, и Солнцу), соленой морской воде, в которой содержались все необходимые вещества для создания любого организма.

Но для зарождения жизни мало одного "строительного материала". Нужны были подходящие условия, от которых и теперь зависит жизнь растений и животных. Например, наличие кислорода для животных и углекислого газа для растений и подходящая температура окружающей среды. Как только нужные условия установились, в сложном переплетении химических реакций, постоянно происходивших в первобытном океане, возникли первые студенистые образования. Сначала неустойчивые, потом все более определенные, эти органические соединения постепенно приспособились выбирать из морской воды нужные для их существования вещества и выделять ненужные, отработанные. В науке такой процесс называется обменом веществ. С течением времени эти органические образования все усложнялись и совершенствовались. И когда они смогли воспроизводить себе подобные организмы, на Земле возникла жизнь, сначала крайне примитивная, а затем принимавшая все более сложные формы.

Где-то в самом начале этого очень длительного процесса, растянувшегося на миллионы лет, произошло разделение органической материи на две резко различные части. Одна из них приобрела зеленую окраску. В ней образовался хлорофилл, способный поглощать солнечную энергию и создавать питательные вещества из различных солей, углекислого газа и воды. Другая часть первобытной протоплазмы оказалась лишенной хлорофилла и в поисках пищи вынуждена была передвигаться.

Так, по-видимому, произошло разделение живой природы на растения и животных. Приливы и отливы, другие формы движения океанских вод долго и терпеливо готовили переселение чисто морских растений и организмов на сушу. Мы сами результат этой длительной работы природы. Первые бесформенные комочки органической материи за многие миллионы лет эволюции она превратила в высокоорганизованные существа,

снабженные органом мышления - мозгом.

Вот что такое вода, вот что такое океан!

ЦИФРЫ И ФАКТЫ

В Мировом океане находится 1 млрд. 370 млн. кубических метров воды, в атмосфере содержится 12,3 тыс. кубических метров воды, в реках - 1200 м³, в озерах - 750 тыс. кубических метров, в ледниках 21 млн. кубических метров, на подземные и почвенные воды приходится 132 млн. кубических метров. Таким образом, общий объем воды вне Мирового океана составляет всего 132 млн. кубических метров или приблизительно 10 % Мирового океана.

Общий объем солей, растворенных в морях ($5 \cdot 10^{10}$ млн т) можно представить себе из следующих сопоставлений: если эти соли выпарить и равномерно распределить по всей поверхности земного шара, получим слой 45 м толщиной, а если только на суше - в 153 м (пятидесятиэтажный небоскреб).

Годовые колебания температуры в океане не столь велики, как на суше. Если на суше они достигают 150 °С, то в океане очень редко превышает 38 °С.

Известен только один единственный случай, когда Балтийское море замерзло полностью.

В 1953 г. к северу от моря Росса (Антарктида) был встречен айсберг длиной 145 км, шириной 40 км и высотой над уровнем моря 30 м.

Максимальная относительная прозрачность вод океана обнаружена в Саргасовом море, которая равна 60 м. В некоторых оживленных портах в устьях рек она не превышает 1 м.

Поглощение звука в воде весьма незначительно. Отсюда большая дальность распространения его в воде по сравнению с воздухом. Источник звука, потребляющий 1 кВт мощности, слышен под водой на расстоянии 30 - 40 км, в то время на воздухе источник звука мощностью 100 кВт слышен на расстоянии всего 15 км.

Ряд ученых считает, что вода в океане вначале была пресной. Затем постепенно за счет стока вод с суши в океанах стала накапливаться соль. В частности, реки выносят в океаны в год 3,25 млрд т растворенных веществ. Академик В. Вернадский, напротив, полагал, что соли в океане появились почти одновременно с формированием всей океанической массы воды. И с той поры соленость в основном остается неизменной.

В открытых частях океанов, кроме полярных районов, температура воды уменьшается от поверхности ко дну. На глубинах 3000 - 4000 м и более она колеблется от +2 °С до -1 °С.

Средняя толщина льда в Антарктиде равна 1900 м, максимальная - 4335 м.

Смена вод в атмосфере происходит около 40 раз/г, или в среднем каждые 9 сут.

Под влиянием солнечной радиации с поверхности океанов, морей, озер, рек, ледников, снежного или ледяного покровов, почвы и растительности испаряется в год 518 600 км³ воды, из них 447 000 (или 88,4 %) - с поверхности мирового океана. Большая часть ее, а именно 4 116 000 км³, выпадает над океаном. Следовательно, море отдает суше 36 000 км³/г воды.

При жестоких штормах скорость ветра может превышать 150 км/ч.

По данным регистра Ллойда с 1929 г. по 1954 г. Океан поглотил 222 судна, не успевших дать никакого сигнала бедствия и не оставивших после себя никаких следов (не считая погибших во время войны).

По подсчетам, океан отнимает 200 тыс человеческих жизней в год.

В среднем за год океан рождает 70 - 80 тропических ураганов, но их 10 - 15-дневная жизнь проходит главным образом над океаном.

В 1703 г. в Японии при затоплении побережья Ава волнами цунами погибло около 100 000 чел.

Советские ученые, подводные археологи обнаружили у берегов Керченского пролива древнейший русский город Тмутаракань, который упоминается еще в "Слове о полку

Игорева".

В северных морях иногда попадались косяки сельди длиной больше 150 км, насчитывающие 100 млрд сельдей.

Более 1000 видов бактерий, поднятые учеными вместе с донным илом Курило-Камчатской впадины с глубины 10 км, оказались способными не только жить, но и размножаться. Эти пришельцы со дна океанской впадины совершенно нормально себя чувствуют и без доступа кислорода, и в среде любого газа, и при обычных давлениях и температурах.

С давних пор моряки, возвращающиеся из тропических морей Юго-Восточной Азии, рассказывают о виденных ими гигантских (по несколько километров в диаметре) светящихся колесах, вращающихся с большой скоростью в воде или на поверхности моря. В последнее время это явление наблюдалось в Сиамском заливе. Объяснения ему пока нет.

В период молочного кормления детеныш кита прибавляет в весе по 100 кг/сут., потребляя ежедневно 250 - 300 л молока 50 % жирности.

У китов подкожный жир достигает толщины 50 см. Жир не только защищает от холода, но и повышает плавучесть.

Допускают, что в глубинах Мирового океана обитают кальмары длиной до 30 - 40 м. Об этом свидетельствуют отпечатки на телах китов и части гигантских щупалец, извлекаемых из убитых кашалотов.

ВОДЫ СУШИ И ЧЕЛОВЕК

Гидросфера - одна из оболочек Земли. Она объединяет все свободные воды, которые могут передвигаться под влиянием солнечной энергии и сил гравитации, переходить из одного состояния в другое. Гидросфера тесно связана с другими оболочками Земли - атмосферой, литосферой и биосферой. *Круговорот воды* связывает воедино все части гидросферы, образуя в целом замкнутую систему: океан - атмосфера - суша. Он обеспечивает активность водообмена, которая изменяется в широких пределах в силу неоднородности различных частей гидросферы.

Вода - своеобразный минерал, обеспечивающий существование живых организмов на Земле. Вода входит в состав клеток и тканей любого животного и растения. Сложнейшие реакции в животных и растительных организмах могут протекать только при наличии воды. Климат и погода на Земле во многом зависят, определяется наличием водных пространств и содержанием водяного пара в атмосфере. Реки и моря имеют огромное значение для развития водного транспорта. Они служат источниками электроэнергии. Вода необходима промышленности. В некоторых производствах для того, чтобы выпустить 1 т готовой продукции, нужно затратить сотни тонн воды. Вода необходима в сельском хозяйстве. Она нужна для удовлетворения хозяйственно-бытовых нужд населения.

Изучение водных ресурсов Земли в связи с непрерывным увеличением их потребления показало, что в ряде развитых стран с развитой экономикой назрела угроза недостатка воды. Причины истощения кроются не только в неравномерном распределении водных ресурсов, но и в том, что вода после ее использования загрязняется и не подвергается эффективной очистке. Вода, покрывающая 70 % поверхности земного шара, становится в наши дни одним из самых дефицитных материалов.

Количество влаги в руслах рек по косвенным подсчетам гидрологов (непосредственно измерить практически невозможно) при среднем уровне воды одновременно содержится около 2120 км³ воды. За год реки выносят в океан 45 тыс. км³ воды. Годовой сток всех рек мира только в 1,5 раза больше объема вод Байкала или Великих Американских озер.

Озерные водоемы содержат 176,4 тыс. км³ воды. В атмосфере в виде водяного пара сосредоточено 12 900 км³ воды, объем подземных вод 23,4 млн. м³. Ориентировочный

объем воды в живых организмах 1120 км^3 . Это так называемые *вековые запасы воды на Земле*, в том числе 1338 млн. км^3 воды в Мировом океане, и 24 млн. км^3 воды в ледниках, т.е. это "основной водный капитал".

Наибольший интерес представляет *объем ежегодно возобновляемых водных ресурсов*. Он приблизительно может быть приравнен к суммарному годовому стоку рек в океан - $45 \text{ тыс. км}^3 / \text{г}$. Это и есть те водные ресурсы, которыми располагает человечество для удовлетворения своих многообразных потребностей в воде. В истории человечества роль рек очень велика. Реки служат путями сообщения, используются для создания оросительных систем, являются источником механической энергии, важнейшим источником водоснабжения и незаменимым источником пресной воды для промышленности, ни одна отрасль которой практически не может обходиться без этого важнейшего сырья.

Ученые подсчитали, что ресурсы пресной воды могут быть полностью исчерпаны в следующем столетии. Поэтому проблема рационального, комплексного их использования и охраны, является ныне одной из важнейших научно-технических задач. Комплексное использование водных ресурсов означает, что для удовлетворения любых нужд населения и различных отраслей народного хозяйства находят экономически оправданное применение все полезные свойства того или иного водного бассейна.

В стране принято постановление "О порядке разработки и утверждения схем комплексного использования и охраны вод", которое в себе содержит:

- генеральную схему комплексного использования и охраны вод;
- бассейновые схемы, разрабатываемые для бассейнов рек и других водных объектов на основе генеральной схемы;
- территориальные схемы, которые разрабатываются для экономических районов, областей на основе генеральной и бассейновой схем.

Все водные объемы подлежат охране от загрязнения и засорения, которые могут причинять вред здоровью населения, ухудшить условия водоснабжения и вызвать уменьшение рыбных ресурсов, другие неблагоприятные явления ведут к изменению физических, химических, биологических свойств воды, снижению ее способности к естественному очищению, нарушению гидрологического, гидрогеологического режима. Предприятия, организации и учреждения, деятельность которых влияет на состояние вод, обязаны проводить согласованные с местной исполнительной властью, осуществляющей надзор за использованием и охраной вод, технологические, лесомелиоративные, агротехнические, санитарные и другие мероприятия, предохраняющие воды от загрязнения и улучшающие их состояние.

ЗНАЧЕНИЕ ВОДЫ ДЛЯ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

Огромное количество воды наших рек потребляет сельское хозяйство, на втором месте стоят промышленность и энергетика, на третьем - коммунальное хозяйство городов.

Высокая продуктивность орошаемых земель стимулировала резкое увеличение их площади во всем мире. На таких землях растет $2/3$ мировых посевов хлопчатника.

Для того, чтобы вырастить 1 т пшеницы, требуется на вегетативный период $1,5 \text{ тыс. т}$ воды, риса - 7 тыс. т , хлопчатника - 10 тыс. т воды. Подсчитано, что для производства *суточной* нормы пищевых продуктов в расчете на одного человека требуется 6 м^3 воды.

Для промышленности вода столь же необходимый элемент, как уголь, медь, железо и другие природные ресурсы. Для выплавки 1 т стали требуется в сто с лишним раз больше воды. Если *ежегодно* мировое потребление минеральных ресурсов составляет $7 - 8 \text{ млрд. т}$, то воды расходуется $7 - 8 \text{ млрд. т}$ *ежесуточно*.

Современные крупные теплоэлектростанции потребляют огромное количество воды.

Только одна станция в 300 тыс. кВт расходует до $120 \text{ м}^3/\text{с}$ воды, или более 300 млн. $\text{м}^3/\text{г}$.

Особое место в использовании водных ресурсов занимает водопотребление для нужд населения. На хозяйственно-питьевые цели в нашей стране приходится около 10 % общего водоснабжения.

Ежегодный сток рек нашей страны составляет около 10 % речного стока всех рек нашей планеты. Однако эти ресурсы распределены весьма неравномерно. На районы Севера, Сибири и Дальнего Востока приходится 86 % речного стока и только 14 % водных ресурсов приходится на более развитые и обжитые районы центра и южной части страны, где проживает 70 % населения.

Развитие производительных сил сопровождается ростом потребления свежей пресной воды. Если в 50-х гг. XIX в. страна использовала около $100 \text{ км}^3/\text{г}$ воды, то теперь $350 \text{ км}^3/\text{г}$, из них около половины забирает сельское хозяйство, главным образом на орошение.

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

Объем подземных вод точно установить трудно. Ориентировочно объем подземных вод оценивается в $23,4 \text{ млн. км}^3$. Городское и сельское хозяйственно-питьевое водоснабжение обеспечивается преимущественно за счет вод, залегающих в глубоких горизонтах. Полностью, или почти полностью на подземную питьевую воду перешли города: Минск, Киев, Тюмень, Витебск и др. В настоящее время используется всего 7 % общих прогнозных ресурсов подземных вод страны.

Подземная вода, заполняя поры и трещины, образует *водоносные горизонты, пласты и гидрогеологические бассейны*. Крупнейшие бассейны: Московский артезианский, Днепропетровско-Донецкий, Западно-Сибирский и др. Подземные воды обладают естественной защищенностью гидрогеологических условий, предотвращающей проникновение загрязняющих веществ в водоносные горизонты. Поэтому подземная вода намного чище речной и озерной. Эксплуатация подземных вод должна быть разумной. Необходим постоянный контроль за их режимом и изменением баланса.

Недра страны богаты запасами минеральных вод. На всей территории ведутся планомерные курортологические и гидрогеологические исследования, эксплуатируются около 300 месторождений минеральных вод. Целебные богатства страны используются на курортах, в санаториях и лечебницах.

Основные источники загрязнения поверхностных И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Источник, вносящий в поверхностные или подземные воды загрязняющие воду вещества, микроорганизмы или теплоту, называется *источником загрязнения*. Вещество, вызывающее нарушение норм качества воды, называется *загрязняющим веществом*. Микробное загрязнение вод происходит в результате поступления в водоемы патогенных микроорганизмов. Выделяют также *тепловое загрязнение вод* в результате поступления теплоты.

Основная причина загрязнения поверхностных водных бассейнов - сброс в водоемы неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод промышленными предприятиями, коммунальным или сельским хозяйством. Подсчитано, что если город потребляет в день 600 тыс. м^3 воды, то он дает около 500 тыс. м^3 сточных вод. Остатки удобрений и ядохимикатов,

вымываемые из почвы, попадая в водоемы, тоже загрязняют их. *Сточные воды* - это воды, отводимые после использования в бытовой или производственной деятельности человека.

В настоящее время на всем земном шаре на промышленные и хозяйственно-бытовые нужды расходуется $150 \text{ км}^3/\text{г}$ воды. По сравнению с объемом устойчивого речного стока планеты это меньше 0,5 %. Чтобы иметь в своем распоряжении $150 \text{ км}^3/\text{г}$ воды, необходимо из источников отбирать ее вчетверо больше. Таков непреложный закон водопотребления. Следовательно, фактический водозабор уже $600 \text{ км}^3/\text{г}$. Разница $450 \text{ км}^3/\text{г}$ - это возвратные воды, снова направляемые в водоемы и реки. Для обезвреживания даже после основательной биологической очистки эти воды необходимо разбавлять чистой водой. Нормы разбавления иной раз очень высокие. Так для стоков производства синтетических волокон кратность разбавления составляет 1:185, для полиэтилена или полистирола - 1 : 29. Во всем мире на обезвреживание сточных вод ежегодно затрачивается 5500 км^3 чистой воды - втрое больше, чем на все другие нужды человечества. Эти воды составляют уже 30 % устойчивого стока всех рек земного шара, значит, основную угрозу нехватки воды порождает не безвозвратное промышленное потребление, а загрязнение природных вод промышленными стоками и необходимость их разбавления.

Загрязнения, поступающие в сточные воды условно можно разделить на несколько групп. По физическому состоянию выделяют *нерастворимые, коллоидные и растворимые примеси*. Кроме того, загрязнения делятся на *минеральные, органические, бактериальные и биологические*.

Минеральные загрязнения обычно представлены песком, глинистыми частицами, частицами минеральных солей, растворами кислот, щелочей и другими веществами.

Органические загрязнения подразделяются по происхождению на *растительные и животные*. Растительные органические загрязнения представляют собой остатки растений, плодов, овощей и злаков, растительного масла и др. Загрязнения животного происхождения - это физиологические выделения людей, животных, остатки тканей животных, клеевые вещества и др.

Бактериальные и биологические загрязнения свойственны главным образом бытовым сточным водам и стокам некоторых промышленных предприятий (бойни, кожевенные заводы, фабрики первичной обработки шерсти, меховые производства, биофабрики, предприятия микробиологической промышленности и др.).

Бытовые сточные воды включают воды кухонь, туалетных комнат, душевых, бань, прачечных, столовых, больниц, хозяйственные воды, которые образуются при мытье помещений и др. Они поступают из жилых и общественных зданий, от бытовых помещений промышленных предприятий и др. В бытовых сточных водах органическое вещество в загрязнениях составляет 58 %, минеральные вещества - 42 %.

В промышленном производстве вода используется как теплоноситель, растворитель, как средство транспортировки. Возможно также использование воды для разных целей одновременно.

Многие предприятия машиностроения, металлообработки, коксохимии, тепловые электростанции используют воду для охлаждения. Расходы воды на этих предприятиях для охлаждения достигают 80 % от всего количества воды. Вода-теплоноситель в технологическом процессе главным образом нагревается, а не загрязняется. Вода, используемая для охлаждения сырья, продукции или оборудования, также загрязняется теми или иными вредными веществами.

На предприятиях нефтехимической и химической промышленности вода используется как растворитель, входит в состав продукции. При этом возникают специфические сточные воды. На химических, целлюлозно-бумажных и гидролизных заводах, а также на заводах легкой и пищевой промышленности, вода используется в качестве рабочей среды.

Производство и широкое применение синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ), особенно в составе моющих средств, обусловило поступление их вместе со сточными водами во многие водоемы, в том числе источники хозяйственно-питьевого водоснабжения. Эти вещества - один из самых распространенных химических загрязнений водоемов. Неэффективность очистки воды от ПАВ на современных водопроводных очистительных сооружениях является причиной появления их в питьевой воде водопроводов. ПАВ могут оказать отрицательное влияние на качество воды, самоочищающую способность водоемов, организм человека, а также усиливать неблагоприятное действие других веществ на эти показатели, поэтому необходимо ограничение их содержания в воде.

Широко распространенными химическими загрязнителями водоемов являются *пестициды*, которые поступают в водоемы с дождями и талыми водами, образующимися в сельскохозяйственном производстве при выращивании хлопка, риса, со сточными водами, образующимися в сельском хозяйстве в результате применения пестицидов.

Степень опасности сноса пестицидов в период обработки сельскохозяйственных угодий зависит от способа применения препарата: наземная, авиаобработка.

Источником загрязнения поверхностных вод могут быть крупные животноводческие фермы, сточные воды судов.

Хозяйственно-бытовые сточные воды характеризуются невысоким органическим загрязнением, но в них ярко выражено бактериальное загрязнение. Их обычно сбрасывают за борт судна по мере образования. Сброс таких вод в зоне санитарной охраны водопроводов запрещен.

Подслановые воды образуются в машинных отделениях. Они отличаются высоким содержанием нефтепродуктов. Маломерный флот (катера, лодки с подвесными моторами и др.) стал серьезным загрязнителем водоемов.

Источником загрязнения водоемов является также **поверхностный сток**. Суммарное загрязнение с поверхностным стоком урбанизированной территории составляет примерно 8 – 15 % от показателей загрязнения хозяйственно-бытовых сточных вод.

Источниками загрязнения подземных вод могут быть:

- места хранения и транспортировки промышленной продукции и отходов производства;
- места аккумуляции коммунальных и бытовых отходов;
- сельскохозяйственные угодья, на которых применяются удобрения, пестициды и другие химические вещества;
- загрязненные участки поверхностных водных объектов, питающих подземные воды;
- загрязненные участки водоносного горизонта, естественно или искусственно связанного со смежными водоносными горизонтами;
- участки инфильтрации загрязненных атмосферных осадков;
- промышленные площадки предприятий, поля фильтрации, буровые скважины и другие горные выработки.

Выделяют *микробное и химическое загрязнение подземных вод*.

В подземных водах некоторые патогенные бактерии и вирусы довольно длительно сохраняют свою жизнедеятельность (100 сут. и более). Микробному загрязнению чаще подвергаются грунтовые воды. Очаги загрязнения образуются при наличии полей ассенизации и фильтрации скотных дворов, выгребных ям, через которые идет прямая фильтрация загрязненных вод. И если грунты в зоне аэрации теряют свои очищающие свойства, начинается загрязнение грунтовых вод. Особенно опасны очаги загрязнения в местах хорошо проницаемых трещиноватых или крупноблочных пород.

Загрязнение подземных вод химическими веществами может идти через

загрязненные поверхностные слои, которые питают подземные.

На промышленных предприятиях для очистки сточных вод используют пруды-отстойники, шламовые пруды, пруды-накопители, пруды-испарители, хвостохранилища, золоотвалы и др. В ряде случаев они тоже могут быть источниками загрязнения подземных вод.

В подземные воды могут попадать и *поверхностно-активные вещества* (ПАВ). Загрязнение ПАВ наблюдается при использовании почвенных методов очистки сточных вод, содержащих ПАВ, при пополнении запасов подземных вод из поверхностных водоисточников, содержащих ПАВ.

Научные основы нормирования предельно допустимых концентраций вредных веществ

Важнейшая составная часть водно-санитарного законодательства - гигиенические нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в воде водоемов.

ПДК вредного вещества в воде водоемов - это максимальная концентрация, которая не оказывает прямого или опосредствованного влияния на здоровье населения и последующих поколений, выявленного современными методами исследования, при ее воздействии на организм человека в течении всей жизни и не ухудшает гигиенические условия водопользования населения.

ПДК служит критерием эффективности различных мероприятий по охране водоемов от загрязнений. Гигиенические ПДК учитываются при утверждении проектов, определении сточных вод в водоем и прогнозе его санитарного состояния.

Установление ПДК базируется на *подпороговых* концентрациях веществ, при которых не наблюдается сколько-нибудь заметного изменения функционального состояния организма, определяемого тонкими физиологическими, биохимическими методами *экспериментального* исследования.

В настоящее время принято, что ПДК того или иного вещества в воде водоема устанавливается по тому признаку вредного воздействия, которому соответствует наименьший показатель пороговой и подпороговой концентрации, он называется *лимитирующим признаком вредности*.

На практике водоемы загрязнены одновременно несколькими веществами, т.е. происходит их комбинированное воздействие. Для каждого вещества известна своя ПДК. Эффект действия комплекса вредных веществ суммируется (*принцип суммации, аддитивности*).

Критерии качества воды, используемой для нужд населения и рыбохозяйственных целей

Качество воды - характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования. *Критерий качества воды* - признак, по которому оценивается качество воды по видам водопользования.

Различают водопользование двух категорий:

1 использование водного объекта в качестве централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также снабжения предприятий пищевой промышленности;

2 использование водного объекта для купания, спорта и отдыха населения, а также использование водных объектов, находящихся в черте населенных мест.

Состав и свойства воды водного объекта в пунктах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования ни по одному показателю не должны превышать нормативы, приведенные в таблице.

Таблица

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ И СВОЙСТВАМ ВОДЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
и пунктов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового
водопользования**

Показатели и свойства воды водоема или водотока	Для централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также водоснабжения пищевых предприятий	Категория водопользования для купания, спорта и отдыха населения, а также для водоемов в черте населенных мест
Взвешенные вещества	Содержание взвешенных частиц веществ не должно увеличиваться больше, чем на 0,25 мг/л	Содержание взвешенных частиц не должно увеличиваться больше, чем на 0,75 мг/л
Плавающие примеси (вещества)	Для водоемов, содержащих более 30 мг/л природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания взвешенных частиц в воде в пределах 5 %. Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещается	
Запахи и привкусы	Вода не должна приобретать запахи и привкусы интенсивностью более двух баллов, обнаруживаемых:	
	непосредственно или при последующем хлорировании	непосредственно

	Вода не должна сообщать посторонних запахов и привкусов мяса рыб	
Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике 20 см	Не должна обнаруживаться в столбике 10 см
Температура	Летняя температура воды в результате спуска сточных вод не должна превышать более, чем на 3 °С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет	
Реакция	рН не должна выходить за пределы 6,5 – 8,5	
Минеральный состав	Не должен превышать по сухому остатку 1000 мг/л, в том числе хлоридов 350 мг/л и сульфатов 500 мг/л	Нормируется по приведенному выше показателю "привкуса"
Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/л в любой период года в пробе, отобранной до 12 ч дня	

Продолжение табл.

Показатели и свойства воды водоема или водотока	Для централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также водоснабжения пищевых предприятий	Категория водопользования для купания, спорта и отдыха населения, а также для водоемов в черте населенных мест
Биохимическая потребность в кислороде	Полная потребность воды в кислороде при 20 °С не должна превышать 3,0 мг/л	Не должна превышать 6,0 мг/л
Возбудители заболеваний	Вода не должна содержать возбудителей заболеваний. Сточные воды, содержащие возбудителей заболеваний, должны подвергаться обеззараживанию после соответствующей очистки. Отсутствие в воде возбудителей заболеваний достигается обеззараживанием биологически очищенных бытовых сточных вод до коли-индекса более 1000 г при остаточном хлоре не менее 1,5 мг/л	
Ядовитые	Не должны содержаться в концентрациях,	

вещества	могущих оказать прямо или косвенно вредное действие на организм и здоровье населения
----------	--

При поступлении в водные бассейны нескольких веществ с одинаковым лимитирующим показателем вредности и примесей сумма отношений концентраций (C_1, C_2, \dots, C_n) каждого из веществ в водном объекте к соответствующим ПДК не должна превышать единицы

$$C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots + C_n/\text{ПДК}_n \leq 1.$$

Водопользование классифицируется по различным признакам:

- по целям водопользования: хозяйственно-питьевые и коммунальные нужды населения; лечебные курортные и оздоровительные; нужды сельского хозяйства; орошение и обводнение; промышленные нужды; нужды теплоэнергетики, гидроэнергетики; нужды водного транспорта и лесосплава, нужды рыбного хозяйства, сброс сточных вод;
- по объектам водопользования: поверхностные воды, внутренние и территориальные морские воды;
- по техническим условиям водопользования делится на общее и специальное;
- по характеру использования воды, как вещества с определенными свойствами: использование массы и энергетического потенциала воды; использование воды как среды обитания;
- по способу использования водных объектов: с изъятием воды (с возвратом и без возврата), без изъятия воды.

Очистка сточных вод - это разрушение или удаление из них определенных веществ. Обеззараживание сточных вод - удаление из них патогенных микроорганизмов.

Очистка и обеззараживание сточных вод - это крупные разделы науки, техники и технологии, которые изучаются в курсах "Общая химическая технология", "Процессы и аппараты химической технологии".

Органы региональной и местной исполнительной власти должны уделять особое внимание охране *малых рек*. Они не только украшают землю, они неутомимо трудятся. Развитая речная сеть поддерживает надземные водоносные горизонты, которые служат основным питьевым источником. Из малых рек слагаются крупные речные артерии. "Мать дитя свое сосет" - загадка. Эти же органы власти организуют комплексный контроль за уровнем загрязнения водоемов всех категорий. Естественно все это координируется из единого центра защиты окружающей среды страны.

6 ЭНЕРГЕТИКА И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Энергетика - основной движущий фактор развития всех отраслей промышленного производства, транспорта, коммунального и сельского хозяйства, база повышения производительности труда и благосостояния населения. Доля энергетических предприятий в загрязнении окружающей среды продуктами сгорания органических видов топлива, содержащих вредные примеси, а также отходами относительно низкая, тепловое загрязнение - значительно.

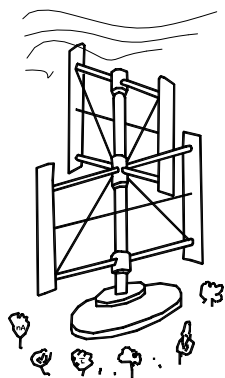
На заре своего развития первобытный человек пользовался энергией своих мышц, используя примитивные орудия труда, охоты из дерева и камня. Через многие тысячелетия, приручив отдельных животных стал использовать их мышечную энергию, в различных местах расселения - это лошади, быки, слоны, мулы и др. Особо следует отметить в развитии человека роль лошади, это транспорт, перемещение тяжестей, сельскохозяйственные работы, военные действия. Это животное заслуживает не одного памятника.

ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

Энергия ветра экологически чистая. Для ее получения не надо строить дорогостоящие плотины гидроузлов и тем самым загромождать реки, не надо сжигать ценное топливо и строить очистные сооружения для сохранения в чистоте биосферы. В России особенно богаты ветрами Ростовская и Волгоградская области, побережья Ледовитого и Тихого океанов.

Энергия ветра - одно из наиболее древних используемых источников энергии. Она широко применялась для привода мельниц и водоподъемных устройств в глубокой древности в Египте и на Ближнем Востоке. Затем энергия ветра стала использоваться для перемещения судов, лодок, улавливаться парусами. В Европе ветряные мельницы появились в XII в. Паровые машины заставили забыть на длительное время ветряные установки. Кроме того, низкие единичные мощности агрегатов, настоящая зависимость их работы от погодных условий, а также возможность преобразовывать энергию ветра только в ее механическую форму ограничили широкое использование этого природного источника. Энергия ветра в конечном итоге - результат тепловых процессов, происходящих в атмосфере планеты. Различия плотностей нагретого и холодного воздуха - причина активных изменений воздушных масс. Первоначальным источником энергии ветра, является энергия солнечного излучения, которая переходит в одну из своих форм - энергию воздушных течений.

В середине XX в. в связи с широким внедрением электричества проявляется интерес к ветроэнергетическим агрегатам, и прежде всего к созданию ветроэнергетических станций (ВЭС). Первая в мире ВЭС с диаметром рабочего колеса 30 м и мощностью 100 кВт была спроектирована и построена в СССР в Крыму в 1931 г. Позже были созданы эффективные ветроэнергетические установки мощностью от 15 до 5000 кВт. Практика показывает, ориентироваться на ветряки малой мощности экономически невыгодно. Нужны гигантские ВЭС, способные производить много энергии.



**РИС. 28 ВНЕШНИЙ
ВИД ВЭС**

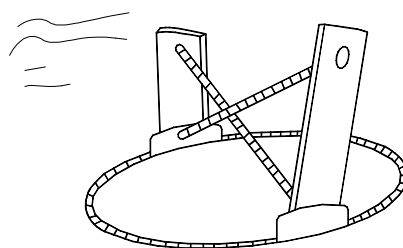


Рис. 29 Двухлопастная ВЭС

На рис. 28 представлен внешний вид ВЭС. Научно-технический прогресс изменил форму и линии ВЭС. Во Всероссийском проектно-изыскательском и научно-исследовательском институте "Гидромет" имени С. Я. Жука разработано несколько моделей-вариантов ВЭС. Одна из них при высоте 140 м может иметь мощность до 20 МВт и вырабатывать в год около 35 млн. кВт · ч электроэнергии.

На рис. 29 показана ВЭС, две лопасти которой двигаются по горизонтальному кольцевому пути. Пока лопасти располагаются на обычных железнодорожных тележках, а в будущем для этой цели можно будет использовать воздушные подушки. Мощность этого агрегата более 8 МВт. Но самый лучший по техникоэкономическим показателям - третий тип

ветроэлектростанции. Он представляет собой систему связанных между собой вертикальных лопастей, движущихся по замкнутой трассе большого диаметра. Эта ВЭС практически не имеет ограничений по мощности.

На высоте 6 - 7 км дуют потоки ветра со скоростью в 100 раз больше, чем на Земле. Например, под Москвой на высоте 8 км скорость ветра достигает 43 м/с. Если использовать этот ураган, то от небольших установок можно получать довольно солидной мощности энергию. В настоящее время предложена конструкция такой высотной станции. С землей ее соединяет кабель.

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

В настоящее время добыча нефти вместе с природным газом составляет более 70 % добычи природных видов топлива страны и только 25 % приходится на долю угля, хотя прогнозные запасы угля во много раз превышают прогнозные запасы нефти и природного газа. Значительная часть нефти находится в запасах существенно меньших масштабов, чем эксплуатируемые. Значит себестоимость "черного золота" будет возрастать. Поэтому при рассмотрении дальнейшей перспективы развития энергетики нужно ожидать постепенного сокращения доли нефти в топливно-энергетическом балансе и увеличения использования ее, главным образом, в качестве сырья для химических и микробиологических производств.

Поскольку доля потребляемого природного газа существенно не изменится, весь дефицит топливно-энергетического баланса должен в перспективе покрываться за счет увеличения использования угля и собственного роста доли ядерной энергетики с реакторами на тепловых и быстрых нейтронах, а в дальнейшем и ядерной энергетики. Будет расти использование и других видов энергоресурсов (солнечной, гидро- и геотермальной, ветровой энергии), однако в дальнейшей перспективе их доля в топливно-энергетическом балансе страны, не превысит 5 %, хотя значимость их в отдельных регионах будет, очевидно, довольно большой.

Воздействие энергетики на окружающую среду чрезвычайно разнообразно и определяется в основном типом энергоустановок (рис. 30).

На долю электроэнергетики приходится приблизительно одна четверть всех потребляемых энергоресурсов. Остальные три четверти приходятся на промышленное и бытовое тепло, на транспорт, на металлургические и химические процессы. Ежегодное потребление энергии в мире приближается к 20 млрд. т условного топлива.

Энергетика - важнейший фактор в процессе преобразования природы человеком. Современная энергетика играет роль антропогенной "силы природы", успешно конкурирует с могуществом ее стихий. Воздействие установок на окружающую среду зависит от вида сжигаемого топлива.

ТВЕРДОЕ ТОПЛИВО

При сжигании твердого топлива в атмосферу поступают летучая зола с частицами недогоревшего топлива, сернистый и серный ангидриды, окислы азота, некоторое количество фтористых соединений, а также газообразные продукты неполного сгорания топлива. Летучая зола в некоторых случаях содержит помимо нетоксичных составляющих и более вредные примеси. Так, в золе донецких антрацитов в незначительном количестве содержится мышьяк, а в золе Экибастузского и некоторых других месторождений - свободный диоксид кремния, в золе сланцев и углей Канско-Ачинского бассейна - свободный оксид кальция.

Уголь - самое распространенное ископаемое топливо на нашей планете. Специалисты считают, что его запасов хватит на 500 лет. Уголь распространен по всему миру более равномерно и он более экономичен, чем нефть.

В России крупнейшие топливно-энергетические комплексы формируются на востоке страны: Экибастузский и Канско-Ачинский. Экибастузское месторождение дает четвертую часть всего угля, добываемого в стране открытым способом. Запасы этого самого дешевого угля оцениваются примерно в 9 млрд. т. Однако он обладает высокой зольностью (50 %). Экономически выгодно перерабатывать такое топливо на месте и чистую энергию передавать по проводам. Поэтому в Экибастузе было намечено возвести пять крупных тепловых электростанций общей мощностью 20 млн. кВт. Строительство первой из них закончено в 1984 г.

Поистине уникально Канско-Ачинское месторождение бурого угля. Геологические

запасы его превышают 400 млрд. т. На первом этапе освоения здесь будет построено несколько еще более мощных, чем в Экибастузе, тепловых станций по 6,4 млн. кВт каждая с энергоблоками по 800 тыс. кВт. Сооружен первенец КАТЭКа - Березовская ГРЭС-1.

Синтетическое жидкое топливо из угля. Метод получения горючего путем переработки угля известен давно. Однако велики энергозатраты, дорого стоит аппаратура. Процесс происходит при высоком давлении до $707 \cdot 10^5$ Па ($1 \text{ Па} = \text{Н/м}^2$). Институтом горючих ископаемых разработаны производственные процессы, начиная от подготовки угля к переработке и кончая так называемым разливом готового топлива - бензина, дизельного топлива, мазута. На установке операции выполняются при давлении в $707 \cdot 10^5$ Па, доказана возможность получения топлива для автомобилей из угля. У нового топлива есть одно неоспоримое преимущество - у него выше октановое число. Это означает, что экологически оно более чистое.

В специальных установках при повышенном давлении и быстром нагреве угольных частиц можно производить высококалорийный пылевидный полукокс, жидкие смолы и газ. На крупных энерготехнологических комбинатах предусмотрено получение энергии электрической и тепловой путем сжигания полукокса и газа, а смолы послужат сырьем углехимии.

Будущие комбинаты, которые придут на смену обычным угольным ГРЭС типа Березовская-1, при равной мощности будут иметь более высокий КПД производства энергии, а их выбросы в атмосферу окажутся ниже в 1,5 - 2 раза. Кроме того, подобный комбинат произведет до 3 млн.т/г смолы полукоксования - ценного сырья для получения продуктов ароматического ряда или для изготовления синтетического искусственного жидкого топлива.

Совершенствование технологии сжигания топлива

Один из важных путей использования низкокалорийных углей - сжигание их в так называемом кипящем слое (рис. 31). Сущность процесса заключается в следующем: слой мелкорубленого угля толщиной 1 - 2 м продувается снизу горячим воздухом, частицы топлива поддерживаются во взвешенном состоянии, что обеспечивает полноту их сгорания.

Главное достоинство нового способа - увеличение коэффициента использования топлива. При этом резко снижается требование к качеству самого топлива: топочное устройство с кипящим слоем - каталитический генератор - может эффективно использовать самые низкосортные, высокозольные угли. Кроме того, в кипящем слое достигается высокая эффективность процесса горения и теплообмена, что позволяет в несколько раз уменьшить габариты и металлоемкость генератора по сравнению с существующими агрегатами на тепловых станциях. И, наконец, использование генератора резко снижает выбросы в атмосферу вредных продуктов сгорания угля - оксида углерода и оксидов азота.

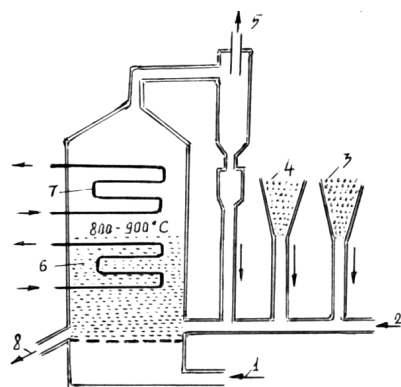


Рис. 31 Схема топочного устройства с кипящим (псевдооживленным) слоем:

1 - подвод воздуха; 2 - подача топлива;
 3 - известняк; 4 - уголь; 5 - отходящий газ; 6 - кипящий слой; 7 - тепловоспринимающие поверхности; 8 - отвод золы и шлаков

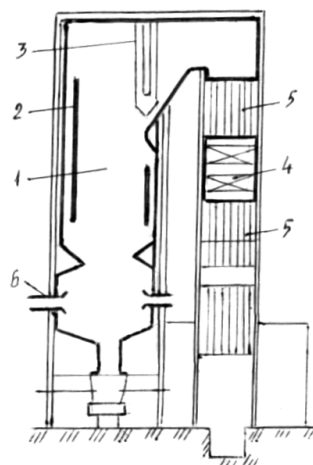


Рис. 32 Схема котлоагрегата с термоэмиссионной надстройкой:

1 - топочная камера; 2 - термоэмиссионная надстройка; 3 - паронагреватель; 4 - экономайзер; 5 - воздухоподогреватель; 6 - горелка

Заметного повышения экономичности использования топлива можно ожидать от термоэмиссионных преобразователей (рис. 32). С их помощью в котлоагрегатах часть тепловой энергии превращается непосредственно в электрическую. Работа термоэмиссионных преобразователей основана на известном явлении - излучении электронов нагретыми телами. Сочетание традиционного паросилового цикла с термоэмиссионной надстройкой позволит увеличить суммарную мощность энергетических блоков на 10 - 25 % и повысить КПД тепловых электростанций до 50 %.

Подземная газификация. С экологической, да и с экономической точки зрения обычный метод сжигания угля для получения электроэнергии и тепла в перспективе, считается далеко не единственным и совсем не лучшим способом использования больших количеств твердого топлива. Большое экологическое значение имеет подземная газификация угля прямо на месте залегания пластов. Эта идея зародилась в 20-х гг. XX в. Первоначально речь шла о том, чтобы пробурить землю до угольных пластов, ввести туда водяной пар и воздух, нагретый до высокой температуры, и дать таким образом начало химической реакции, которая высвободила бы большое количество водорода, оксида углерода и метана.

Подземная газификация получила реализацию только в нашей стране, где уже есть большой опыт по газификации угля под землей в самых различных условиях его залегания. При этом из 1 т угля на поверхность извлекается 3 - 4 тыс. м³ газа, а также ряд ценных сопутствующих компонентов.

Дальнейшей экологизации энергетики КАТЭКа, послужат и методы наземной газификации углей. В России создана парогазовая установка мощностью 250 тыс. кВт, обеспечивающая газификацию твердого топлива. Эта установка превращает уголь в газообразное топливо, а полученные газы направляются в парогенератор, а затем поступают

в газовую турбину. Это сводит к минимуму выбросы в атмосферу серы и азота, золы и других компонентов и гораздо эффективнее обычной очистки огромных объемов дымовых газов и не требует сооружения дорогостоящих электрофильтров и сверхвысоких труб. Побочной продукцией газотермохимических комбинатов будут ценные химические полупродукты и зола, остающиеся в газогенераторах. Сочетание различных способов предварительной переработки твердого топлива с дальнейшим получением электроэнергии, тепла, ценных химических соединений, искусственного жидкого топлива и вплотную приближает процессы к действительно безотходному использованию углей Канско-Ачинского бассейна.

Торф. При энергетическом использовании торфа имеет место ряд отрицательных последствий для окружающей среды, возникающих в результате добычи торфа в широких масштабах. К ним относятся: нарушение режима водных экосистем, изменение ландшафта и почвенного покрова в местах торфодобычи, ухудшение качества местных источников пресной воды и загрязнение воздушного бассейна, резкое ухудшение условий существования животных. Значительные экологические трудности возникают и в связи с необходимостью перевозки и хранения.

Жидкое топливо. При сжигании жидкого топлива (мазут) с дымовыми газами в атмосферный воздух поступают: сернистый и серный ангидриды, окислы азота, газообразные и твердые продукты неполного сгорания топлива, соединения ванадия, солей натрия, а также вещества, удаляемые с поверхности котлов при очистке. С экологической точки зрения жидкое топливо более гигиенично. При этом полностью отпадает проблема золоотвалов, которые занимают значительные территории, исключают их полезное использование и являются источником постоянных загрязнений атмосферы в районе станции из-за уноса части золы ветрами.

Сжигать нефть, говорил Менделеев, все равно что топить печи ассигнациями. Поэтому доля жидкого топлива в энергетике за последние годы существенно снижается. Жидкое топливо шире будет использоваться: на транспорте, в химической промышленности, в производстве пластмасс, смазочных материалов, предметов бытовой химии и т.д.

Природный газ. Массовый перевод котельных, городских электростанций, печей и других энергетических установок на газ, помимо роста производительности, КПД сжигания, их стоимости и численности обслуживающего персонала резко улучшает экологическую обстановку, особенно крупных городов. Социально-экологические и экономические преимущества использования природного газа неоспоримы. Поэтому, например, в Сибири построены электростанции в Сургуте, Уренгое, Нижневартовске и др.

Установлено, что если уровень загрязненности атмосферного воздуха при использовании угля принять за единицу, то сжигание мазута даст 0,6, а газа 0,2. При сжигании газа единственным загрязнителем атмосферы являются оксиды азота. Однако выброс оксидов азота при сжигании на ТЭС природного газа в среднем на 20 % ниже, чем при сжигании угля, коэффициент избытка воздуха при сжигании угля ниже, чем при сжигании природного газа, есть причина этого.

Создание Единой системы газоснабжения страны позволило решить проблему защиты атмосферы городов. Общая протяженность газопроводов России более 150 тыс. км. Природный газ получает свыше 100 тыс. городов и населенных пунктов. С использованием газа производится ныне 93 % стали и чугуна, 60 % цемента, 95 % минеральных удобрений. Газом пользуются 80 % населения страны.

Тепловые электростанции. Основу нашей электроэнергетики составляют тепловые электростанции. На них вырабатывается около 70 % общего объема электроэнергии. В дальнейшем эта доля будет уменьшаться за счет строительства атомных и гидравлических электростанций.

Тепловые электростанции выбрасывают около 29 % от общего количества всех вредных отходов промышленности. Наиболее вредны конденсационные электрические станции, работающие на низкосортных углях. Так при сжигании 1060 т/ч донецкого угля из топков котлов удаляется 34,5 т шлака, из бункеров электрофильтров, очищающих газы на 99 % 193,5 т золы, а через трубы в атмосферу выбрасывается 10 млн. м³ дымовых газов.

Сточные воды ТЭС и ливневые стоки с их территорий, загрязненные отходами технологических циклов электроустановок и содержащие ванадий, никель, фтор, нефтепродукты при сбросе в водоемы оказывают влияние на качество воды, водные организмы, это может привести к нарушению процессов самоочищения водоемов от загрязнений и к ухудшению их санитарного состояния.

Представляет опасность и тепловое загрязнение водоемов. ТЭС производит энергию при помощи турбин, приводимых в движение нагретым паром. При работе турбин необходимо охлаждать водой отработанный газ. От энергетической станции непрерывно отходит поток воды, подогретой на 8 - 12 °С и сбрасывается в водоем. Крупные ТЭС сбрасывают в подогретом состоянии 80 - 90 м³ воды. Это означает, что в водоем непрерывно поступает мощный поток теплой воды примерно такого масштаба, как Москва река. АЭС при такой же мощности, как ТЭС, требуют в 1,5 раза больше воды для охлаждения.

Зона подогрева, образуемая в месте впадения теплой "реки", представляет собой своеобразный участок водоема, в котором температура максимальна в точке водосброса и уменьшается по мере удаления от нее. Зоны подогрева крупных ТЭС занимают площадь в несколько десятков квадратных километров. Зимой в зоне подогрева образуются полыньи. Летом температура в зоне подогрева зависит от естественной температуры забираемой воды. Если температура воды 20 °С, то в зоне подогрева она может достигнуть 28 – 30 °С.

В результате повышения температуры в водоеме и нарушения их естественного гидротермического режима интенсифицируется процесс "цветения" воды, уменьшается способность газов растворяться в воде, меняются физические свойства воды, ускоряются все химические и биологические процессы, протекающие в ней и т.д. В зоне подогрева снижается прозрачность воды, увеличивается рН, увеличивается скорость разложения легко окисляющихся веществ. Скорость фотосинтеза в такой воде активно понижается.

Теплоэлектростанции. Чтобы снизить все показатели обмена "электростанция - окружающая среда" важно повышать эффективность использования топлива. Один из путей к этому - расширение комбинированной выработки теплоты и электроэнергии на теплоэлектростанциях. Большое значение имеет осуществление централизованного теплоснабжения городов от крупных ТЭЦ; оно позволяет ликвидировать множество мелких отопительных котельных, чьи трубы нередко дымят на уровне верхних этажей многоэтажных зданий. В настоящее время более 500 городов страны имеют централизованное теплоснабжение. Около 60 % тепла, необходимого городам, выработано на теплоэлектростанциях.

Размещение ТЭС. Ряд ограничений и технических требований при выборе площадки под строительство диктуется экологическими соображениями. Во-первых, так называемый фон загрязнений, который имеет место в связи с работой в этой зоне ряда промышленных предприятий, а иногда и уже существующих электростанций. Если величина загрязнений в

зоне предполагаемого строительства уже достигла предельных значений или близка к ним, вопрос о строительстве тепловой станции должен быть решен отрицательно. Кроме того нужно учитывать различные по характеру и содержанию факторы: направленность, силу и периодичность ветров в этой местности ("роза ветров"), вероятность осадков, абсолютные выбросы станции при работе на предполагаемом виде топлива, конструкции топочных устройств, показатели систем очистки и улавливания выбросов и т.п. При сооружении электростанций, прежде всего ТЭЦ, в городах или пригородах проектируется создание лесных полос между станцией и жилым массивом. Это уменьшает воздействие шума на близлежащие районы, способствует задержанию пыли при ветрах в направлении жилых массивов.

Защита воздушного бассейна. Защита атмосферы от основного источника загрязнения ТЭС - диоксида серы - осуществляется прежде всего путем его рассеивания в более высоких слоях воздушного бассейна. Для этого сооружаются дымовые трубы высотой 180, 250 и даже 400 м. Более радикальное средство сокращения выбросов диоксида серы - выделение серы из топлива до его сжигания на ТЭС. Сейчас существуют в основном два способа предварительной обработки топлива для снижения содержания серы. Первый способ - химическая адсорбция, второй - каталитическое окисление. Оба способа позволяют улавливать около 90 % диоксида.

Существует комбинированная система золоулавливания: труба Вентури - скруббер - электрофильтр. С ее помощью удастся достичь степени очистки дымовых газов от золы не менее, чем на 99,7 %. Такая тщательная очистка требуется высокозольным углям.

Система автоматизированного контроля за загрязнением воздушного бассейна нужна для крупных электростанций. Система контроля - это три подсистемы (рис. 33), которые измеряют: технологические параметры, метеопараметры, концентрацию вредных примесей в атмосфере.

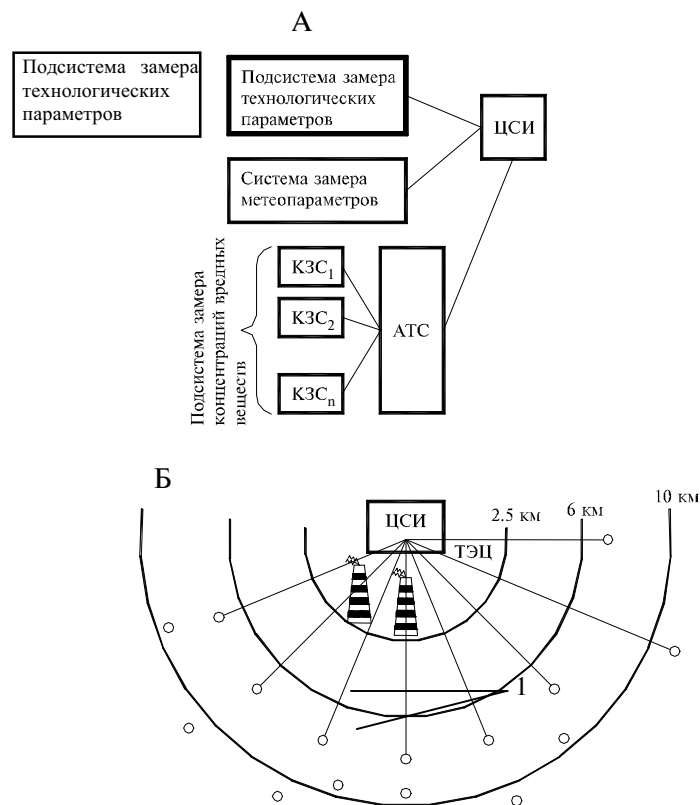


Рис. 33 Блок-схема А и размещение оборудования системы контроля загрязненности атмосферы Б:

1 – контрольно-измерительные стадии (КЗС) с датчиками на оксиды серы и азота

По каналам автоматической телефонной связи (АТС) данные о концентрации вредных веществ поступают в центр сбора информации (ЦСИ). Автоматизированные системы контроля позволяют накапливать большой статистический материал об уровне загрязненности воздуха выбросами ТЭС и прогнозировать его состояние с учетом метеорологических условий. Это дает возможность выбрать оптимальные экологические мероприятия как при обычных так и при неблагоприятных метеоусловиях.

Использование шлака и золы. В среднем для сооружения крупных ТЭС необходима площадь около 2 - 3 км², не считая золоотвалов и водохранилищ-охладителей. С учетом шлакоотвалов, карьеров, подъездных дорог и вспомогательных построек занимаемая электростанцией площадь возрастает до 3 - 4 км². На этой территории изменяется рельеф местности, нарушаются характеристики поверхностного стока, структура почвенного слоя и экологическое равновесие.

На ряде ГРЭС намечено создание крупных комплексов по переработке уловленной золы.

Одно из направлений комплексного использования твердого топлива - получение промышленно ценных сплавов и сырья для строительной индустрии из шлаковых расплавов. Например, получение ферросиликоалюминия на поде топки котла. Первый опыт по внедрению этой работы получен на Старобешевской ГРЭС. На электростанциях КАТЭКа получают из золы гранулы, которые в дальнейшем можно использовать в промышленности строительства.

Десятки тысяч тонн цемента и песка, позволят сэкономить использование в строительстве бурого угольной золы.

Магнетогидродинамические электростанции (МГД). Внедрение МГД-электростанций позволит резко сократить вредные выбросы в атмосферу - золу, пыль, дым, теплоту. В полтора раза сокращается потребность в охлаждающей воде в сравнении с чисто тепловыми станциями.

Уголь, сгорая, дает продукцию - теплоту. Однако коэффициент использования этой энергии еще недостаточно высок. На самых современных теплоэлектростанциях он достигает 40 %, а на мелких – 25 - 30 %. Остальное тепло уходит в атмосферу. Каждый его процент - миллион тонн топлива.

На рис. 34 показана схема магнетогидродинамической электростанции. Высокотемпературный источник теплоты нагнетает газ во внутреннюю часть цилиндра, находящегося в мощном магнитном поле. Газ ионизирован, т.е. состоит из атомов, потерявших один или несколько электронов. Заряженные частицы продолжают свой бег, отклоняясь в магнитном поле, за счет чего происходит съем электроэнергии.

Для получения большого количества энергии необходимо, чтобы поток газа двигался в канале со скоростью, близкой к скорости звука, магнитное поле должно быть очень мощным, а температура газа высокой, около 2700 °С. Поэтому одна из ключевых инженерных проблем - найти такой материал, который мог бы в течение длительного времени противостоять этим воздействиям. Магнетогидродинамический генератор в сочетании с обычной паротурбинной установкой позволяет получить КПД электростанции порядка 50 % за счет прямого преобразования тепла в электроэнергию. В перспективе КПД можно увеличить до 60 %.

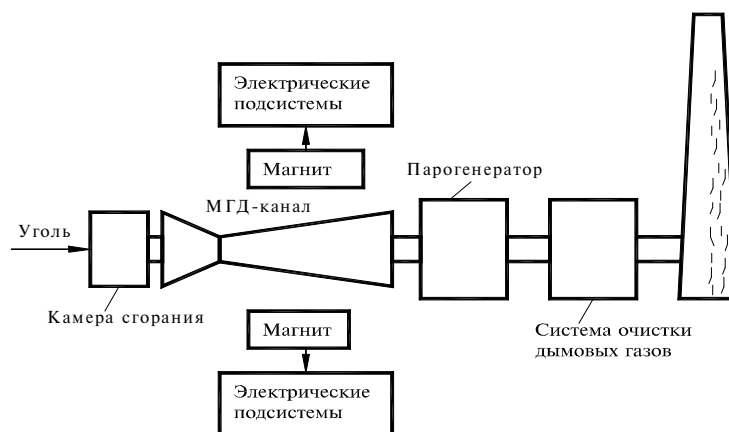


РИС. 34 СХЕМА МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Водородная энергетика. Широкое использование водорода в качестве источника энергии будет способствовать сохранению чистоты окружающей среды. В процессе его сгорания выделяется лишь дистиллированная вода. Теплота сгорания водорода 11 723 кДж/кг. Это почти втрое больше, чем у нефтепродуктов, и вчетверо, - чем у каменного угля.

Основным источником получения водорода является вода. Процесс прямого получения водорода из воды пока широко не применяется из-за больших энергетических затрат, однако, это процесс будущего. Другие способы: 1) неполное окисление горючих ископаемых (газификация, конверсия); 2) термическое разложение (пиролиз) горючих ископаемых. Наиболее экономичным процессом производства водорода является паровая конверсия природного газа.

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

На долю гидроэлектростанций приходится около 15 % общей выработки электроэнергии. Производство электроэнергии на гидроэлектростанциях не вызывает загрязнения окружающей среды, однако плотины гидроэлектростанций нарушают экологический баланс водоема, препятствуют свободной миграции рыб, особенно ценных видов, влияют на уровень грунтовых вод, вызывают геологические изменения, водохранилища изымают из хозяйственного использования значительные площади, особенно на равнинных реках.

Многочисленные реки нашей Родины обладают огромным энергетическим потенциалом. Известны такие замечательные сооружения: ДнепроГЭС, Братская, Красноярская, Усть-Илимская, Ингурская и Чиркейская ГЭС, каскад волжских гидроэлектростанций.

Сооружаемые в настоящее время гидроэнергетические установки предназначены для решения комплекса задач. Помимо производства электрической энергии сооружаемые водохранилища используются для орошения, рыболовства, судоходства и т.д.

Одним из важных факторов, определяющих последствия воздействия водохранилищ на окружающую среду является площадь поверхности водохранилища. Около 88 % общего числа водохранилищ сооружены в равнинных условиях, используемые на ГЭС напоры достигают 15 - 25 м, а площадь зеркала акватории - иногда нескольких тысяч квадратных километров.

Энергетическая эффективность равнинных водохранилищ 1 км² затопленных земель наиболее мала в низовьях крупных рек. Удельная плотность затопления в этих условиях изменяется от 5 до 15 км²/тыс. кВт установленной мощности ГЭС. Для водохранилищ ГЭС

на горных реках эта величина в 10 - 100 раз ниже, что позволяет предотвратить затопление земель, используемых в сельском хозяйстве.

Итоговое влияние водохранилищ на локальные климатические условия носят двойственный характер - охлаждающего и отепляющего воздействия. Увлажняющее воздействие водохранилища невелико. Скорости ветра в течение теплого периода года в прибрежной зоне выше, чем вне зоны водохранилища.

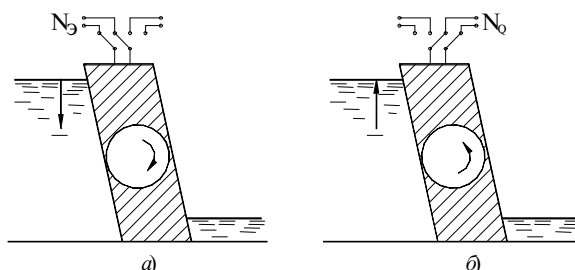


Рис. 35 Принципиальная схема работы гидроэнергетической станции:

а) - в режиме ГЭС; б) - в режиме ГАЭС

Комплексный подход к определению оптимального использования ГЭС в энергосистемах приводит к выводу о целесообразности внедрения нового типа гидроэлектростанций - гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС). Эти перспективные типы гидроэнергетических установок предназначены прежде всего для выравнивания неравномерностей графика электропотребления и облегчения режимов эксплуатации электростанций других типов. Принципиальная схема работы ГАЭС в двух режимах показана на рис. 35. В ночное время, в выходные дни при снижении электропотребления промышленным сектором ГАЭС работают в насосном режиме на электроэнергию, вырабатываемой другими электростанциями. При этом аккумулируются гидроэнергетические ресурсы, так как вода из нижнего бьефа водохранилища электростанции перекачивается в верхний. В период резкого роста энергопотребления ГАЭС переходит в генераторный режим работы и реализует накопленные ресурсы. Использование ГАЭС ведет к экономии топлива в энергосистеме. Снижается острота проблемы покрытия пиков графика нагрузки. Это особенно важно, так как с ростом единичных мощностей агрегатов ТЭС и АЭС резко ухудшились их маневренные характеристики.

Поскольку ГАЭС позволяют осуществить снижение потребления органического топлива в энергосистеме, то эти энергоустановки с полным основанием можно рассматривать как один из важных методов улучшения экологических характеристик энергооборудования.

Малые гидроэлектростанции (МГЭС) строились еще в прошлом веке. Это были простейшие сооружения, порой из дерева, и многие разрушались при серьезном паводке. Бум малые ГЭС пережили после Великой Отечественной войны, когда требовалось быстро и без больших затрат обеспечить страну энергией. Потом они отошли на второй план. Страна одновременно строила свою большую энергетику, в первую очередь Волжский каскад, к которому в европейской части СССР были со временем подключены все промышленные и даже сельские потребители.

МГЭС практически не изменяют природные условия: не затопляют большие земельные площади и даже снижают пики половодья, улучшают водообмен и аэрацию. МГЭС мощностью 1 МВт может обеспечить энергией 500 полностью электрифицированных (электроотопление, горячее водоснабжение, кондиционирование воздуха) современных

жилых домов в сельской местности. При мощности 10 Мэв энергии хватит для энергоснабжения крупного поселка. МГЭС служат надежным маневренным резервом промышленных предприятий.

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

В последние годы атомная энергетика стала наиболее быстро развивающимся звеном топливно-энергетического хозяйства мира. По данным Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), в 1984 г. в 25 странах мира эксплуатировались 327 ядерных энергетических реакторов общей мощностью 191 млн. кВт. Доля атомной энергетика достигает в разных странах от 12 до 40 % (Япония - 20 %, Франция - 40 %, Швейцария - 27 %, Швеция - 40 %, Финляндия - 37 %, Бразилия - 9%).

Атомные электростанции приносят меньший вред окружающей среде, чем тепловые. Специалисты подсчитали, что если все действующие на планете электростанции условно перевести на уголь, то общее загрязнение атмосферы возрастет в *тысячу раз*.

С 1984 по 2000 г. в СССР планировалось *ежегодно* вводить в строй атомных электростанций общей мощностью по 10 млн. кВт·ч, чтобы в 2000 г. выработка на них достигла 1 трлн. кВт·ч. В 1975 г. такое количество энергии было произведено всеми электростанциями страны.

На востоке России залегают 90 % всех запасов угля, нефти и газа. В мощных сибирских и дальневосточных реках заключена большая часть неиспользованных гидроэнергетических ресурсов страны. В то же время 80 % энергии и топлива потребляется в европейской части. Ядерное горючее обладает исключительно высокой энергоемкостью - почти в 2,5 млн. раз большей, чем каменный уголь, что сокращает расходы на его доставку.

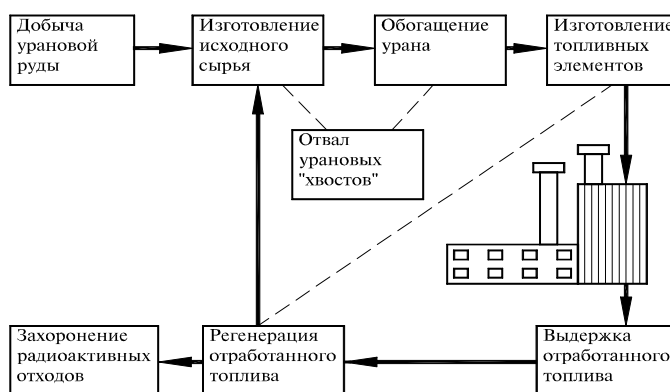


Рис. 36 Основные этапы получения и использования атомной энергии

На нескольких АЭС страны уже на протяжении ряда лет эксплуатируются энергоблоки мощностью 1 млн. кВт. На рис. 36 показаны основные технологические этапы получения и использования атомной энергии.

Строительство АЭС осуществляется на расстоянии 30 - 35 км от крупных городов. Участок хорошо проветривается, во время паводка не затопляется. Вокруг АЭС предусматривается место для санитарно-защитной зоны, в которой запрещается проживание населения.

Сама архитектура главного здания АЭС подчинена решению задачи безопасной эксплуатации. В зоне *строгого режима* возможно воздействие на персонал ионизирующего излучения, а также заражение воздуха и поверхностей оборудования радиоактивными веществами. В зоне *свободного режима* влияние радиации полностью исключено. Прямое сообщение между зонами невозможно. Доставка материалов, оборудования, приборов в зону

строгого режима осуществляется через отдельные входы и транспортные пути. Люди проходят туда только через санпропускник. Зона строгого режима разбита на помещения постоянного пребывания персонала, полуобслуживаемые (разрешается периодическое пребывание людей во время работы реактора) и необслуживаемые (во время работы реактора вход туда запрещен). Исследования, проведенные в стране на действующих атомных станциях, показывают, что реализованные при их сооружении меры обеспечения радиационной безопасности создают надежные условия для эксплуатации АЭС в соответствии с требованиями действующих Санитарных норм и правил.

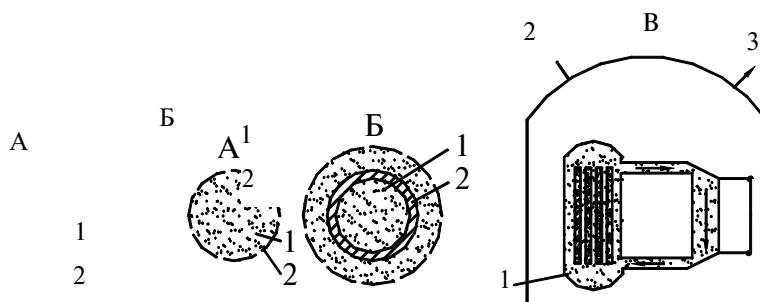


Рис. 37 Конструктивные барьеры локализации радиоактивных веществ на АЭС:

А - сердечник ТВЭЛ (1 - материал матрицы сердечника ТВЭЛ, 2 - ядерное топливо); Б - ТВЭЛ (1 - топливная композиция, 2 - оболочка ТВЭЛ, 3 - теплоноситель); В - паропроизводящая установка АЭС (1 - контур первичного теплоносителя, 2 - защитная оболочка, 3 - к системе очистки газообразных веществ)

Так на Белоярской АЭС фактические дозы облучения персонала в 2 раза ниже допустимого уровня. Еще благоприятнее показатели на Ново-Воронежской АЭС, где годовая доза облучения не превышает 10 % от допустимой.

Главная задача в проблеме обеспечения безопасности АЭС состоит в том, чтобы надежно локализовать осколки деления и продукты их радиоактивного распада как при нормативной эксплуатации, так и при возможных авариях, связанных с повреждением оборудования, неисправности в системе управления, ошибочными действиями обслуживающего персонала или стихийными бедствиями. Для полной гарантии безопасности обычно предусмотрено несколько защитных барьеров. В общем случае их может быть четыре (рис. 37).

Первым барьером служит матрица с распределенными частицами ядерного топлива. **Вторым** - оболочки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов). Роль **третьего** выполняет корпус реактора и контур циркуляции теплоносителя (первый контур), препятствующие выходу продуктов деления при разгерметизации ТВЭЛов. В качестве **четвертого** барьера могут быть использованы *специальные защитные оболочки*, исключающие загрязнение атмосферы при разуплотнении корпуса реактора или контура циркуляции теплоносителя. Защитные оболочки - это сплошные железобетонные или металлические сооружения, рассчитанные на снижение давления, удержание радиоактивного пара и улавливание радиоактивных продуктов в случае максимальной проектной аварии.

В отечественных АЭС используют реакторы двух типов, ВВЭР - *водоводяные энергетические реакторы* и РБМК - *реакторы большой мощности канальные* (уран-графитовые, кипящие). В них кроме продуктов деления, локализованных внутри ТВЭЛов, источниками проникающей радиации являются все конструкционные материалы реактора, оборудование первого контура, теплоноситель, а также радиоактивные газы и аэрозоли. На АЭС с водяным теплоносителем основной источник радиоактивности - вода первого

контура, в которую проникают через дефекты оболочки ТВЭЛов осколки деления и активированные продукты коррозии конструкционных материалов.

Поэтому все радиоактивное оборудование АЭС окружают биологической защитой (рис. 38), снижающей мощность нейтронного и гамма-излучений до допустимого уровня.

Низкие уровни радиоактивной фильтрации. Радиоактивные газы, аэрозольных, угольных фильтров, короткоживущих радионуклидов выброса газов производится по Радиационная обстановка воздуха радиусе до 60 км от АЭС, причём кроме этого, отбор проб почвы, нигде не удается обнаружить в повышенного над фоном содержания каких-либо радионуклидов, в почве, и что особенно важно, в молоке и пищевых растительных продуктах местного производства.

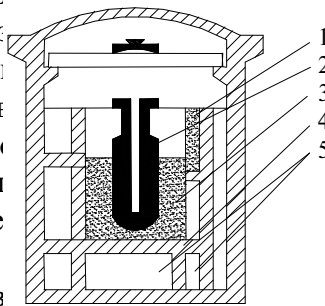


Рис. 38. Конструкция биологической защиты.

На АЭС предусматриваются меры для полного исключения сброса сточных вод, загрязненных радиоактивными веществами. В водоемы разрешается отводить только строго определенное количество очищенной воды с концентрацией радионуклидов, не превышающей уровень для питьевой воды. В расчете на единицу производимой энергии АЭС сбрасывают в окружающую среду больше теплоты, чем ТЭС при аналогичных условиях. Расход воды на охлаждение, например, для одной из крупнейших отечественных тепловых станций - Канаковской ГРЭС составляет 70 090 м³/с, что соответствует стокам таких рек, как Южный Буг. Для мощных АЭС этот расход достигает 180 м³/с. В связи с этим основное внимание уделяется разработке замкнутых циклов охлаждения и новым способам отвода теплоты, в том числе воздушно-конденсационными установками.

В настоящее время серьезно рассматривается проблема создания крупных комплексов, рассчитанных на максимальное использование тепловых сбросов. В этих комплексах будет использоваться "бросовое тепло" электростанций в различных тепличных хозяйствах для растениеводства, в рыбных водоемах, подогреваемых за счет тепловых сбросов, и в других направлениях.

Атомные станции теплоснабжения (АСТ). Они знаменуют собой новый этап в развитии атомной энергетики. В настоящее время выработка энергии для промышленного и коммунального теплоснабжения забирает 40 % всего расходуемого в стране топлива, как уголь, нефть, мазут. Между тем их можно заменить ядерным топливом.

Для одной АСТ мощностью 1 млн. кВт требуется в сутки 16 кг ядерного топлива вместо железнодорожного состава с мазутом, а с углем и того больше. Очень важно и то, что применение атомной энергии для централизованного теплоснабжения в городах значительно уменьшит загрязненность атмосферы мелкими котельными, улучшит атмосферу в городах.

В 1964 г. была пущена Белоярская АЭС, и сразу же теплота, рожденная реактором, стала использоваться для теплофикации поселка. Тогда не было ясно как поведет себя теплотрасса, удастся ли не допустить в нее загрязненные вещества в случае аварии реакторов. Теперь надежность и безопасность АЭС доказана не только теоретически, но и обеспечена на практике. В том числе и для теплофикации - на Белоярской, Воронежской АЭС, а затем и в Билибино. АСТ строятся в Нижнем Новгороде и в Воронеже. Там, где на АЭС используются реакторы ВВЭР, они имеют два контура охлаждения водой, первый отводит теплоту из активной зоны, другой передает ее на турбины, второй контур не радиоактивен.

В будущем строительство АТЭЦ в нескольких сотнях населенных пунктов позволит сэкономить большое количество нефти, равное трети ее сегодняшней добычи, а главное - атомное тепло будет в 2 раза дешевле тепла, которое дают котельные, работающие на органическом топливе.

АЭС на быстрых нейтронах. В реакторах на тепловых нейтронах используется урановая руда. И хотя надо менее 1 % руды, даже в обозримом будущем может возникнуть дефицит ядерного топлива, подобный тому, который наблюдается в ряде стран по органическому сырью. Поэтому ученые разрабатывают такие конструкции реакторов, которые позволили бы экономнее и как можно дольше использовать ядерное топливо. В начале следующего века будут широко внедряться реакторы-размножители на быстрых нейтронах, переход на которые обеспечит человечество урановым сырьем на тысячелетия.

В реакторах на быстрых нейтронах происходит процесс расширенного воспроизводства ядерного топлива. Из урана-238 (изотоп этот составляет основную массу природного урана, но не делится в реакторах на тепловых нейтронах) получают вторичное горючее - плутоний, причем в больших количествах, чем его "сгорает". Это позволяет вовлечь в топливный цикл весь естественный уран, а не только уран-235, которого в нем содержится всего 0,7 %.

Есть уже успехи. На Белоярской АЭС имени Т. В. Курчатова в качестве третьего блока была построена новая промышленная АЭС с крупнейшим в мире ядерным реактором на быстрых нейтронах БН-600. Его тепловая мощность 1470 МВт, а электрическая - 600 МВт.

Впервые в реакторостроении при сооружении АЭС с быстрыми реакторами применена интегральная схема компоновки: активная зона и все оборудование первого контура размещены в одном баке - герметическом корпусе. Теплота реактора к турбогенераторам передается по трехконтурной схеме: в первом и втором контурах - жидким натрием, в третьем - водой и паром. Натрий первого контура охлаждается натрием второго контура в теплообменниках. От них теплота к парогенераторам передается тремя автономными петлями. Каждая из этих петель представляет собой тепловой блок, мощностью 500 МВт. Он включает два теплообменника, парогенератор и турбогенератор электрической мощностью 200 МВт.

Термоядерный синтез. Среди крупных задач, выдвинутых Энергетической программой страны, заметное место принадлежит поиску новых источников энергии. Среди них наиболее заманчиво овладение *термоядерным синтезом*, открывающим доступ к практически неограниченным энергетическим ресурсам.

Термоядерный синтез - это реакция, противоположная происходящей в ядерном топливе. В последнем ядра тяжелых элементов (уран и другие) превращаются в ядра более легкие. В реакции синтеза участвуют ядра легких элементов - водорода и его изотопов дейтерия и трития. Подобные реакции происходят на Солнце. Легкие ядра при очень высокой температуре и огромном давлении превращаются в более тяжелые; при этом высвобождается колоссальная энергия. Термоядерный реактор чище и экологичнее атомного. В первые десятилетия будущего века термоядерный реактор может быть использован как переработчик топлива для обычной атомной энергетики. Но еще важнее, что термоядерная энергетика открывает возможность для совершенствования необычных технологий, например для получения искусственного горючего.

Ученые столкнулись с очень сложной проблемой создания в земных условиях солнечного вещества - водородной плазмы с температурой около 100 млн. °С.

В 1975 г. в Советском Союзе построена установка "Токамак-10". Она позволяет получить электронную температуру более 40 млн. °С. Строящийся "Токамак-15" даст возможность ученым разогревать плазму до значительно более высоких температур. Только в газе, разогретом до солнечных температур, можно будет получить управляемую термоядерную реакцию. Настал период перехода от чисто научных проблем к инженерным.

Немалую роль в ускорении исследований по термоядерному синтезу должно сыграть широкое международное сотрудничество (России, стран Западной Европы, США, Японии). Концепция проекта термоядерного реактора базируется на идее, предложенной советскими учеными.

ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Гея - в греческой мифологии богиня Земли, от которой произошли горы и море, первое поколение богов, циклопы, гиганты.

Использование тепла земных недр весьма перспективно с позиций охраны окружающей среды. В настоящее время во многих странах мира (России, США, Исландии и др.) для выработки электроэнергии и отопления зданий, подогрева теплиц и парников используют тепло горячих источников. Глубинное тепло Земли - подземные котельные, действующие круглосуточно.

В ряде районов страны термальные воды, извлекаемые из недр, позволяют экономить многие тысячи тонн органического топлива. Прогнозные запасы термальных вод в нашей стране составляют 20 - 22 млн. м³/с с температурой от 50 до 250 °С. Если эксплуатировать месторождения с поддержанием пластового давления (путем обратной закачки отработанной воды), то они могут обеспечивать годовую экономию 140 - 150 млн.т условного топлива.

Районов, богатых подземными источниками тепла, но широко использующих привычное топливо, у нас не мало. Пока они вводятся в хозяйственный оборот главным образом в Дагестане, Ингушетии, Краснодарском, Ставропольском краях и на Камчатке. В остальных районах страны они находят применение лишь в бальнеологических целях и для отопления мелких тепличных хозяйств (в Бурятии, Магаданской области и других районах Дальнего Востока).

Отопление и горячее водоснабжение за счет термальных вод Земли. Термальными водами для отопления и горячего водоснабжения пользуются около 150 тыс. жителей Тбилиси, Зугдиди, Махачкалы, Кизляра, Избербаша и других населенных пунктов. Общая площадь теплично-парниковых хозяйств на термальных водах составляет около 70 га. Теплоснабжение столицы Исландии Рейкьявика начиная с 1930 г. в большей мере осуществляется на основе геотермального тепла.

Геотермальные электростанции по компоновке, оборудованию, эксплуатации мало отличаются от традиционных ТЭС и практически не вызывают экологических последствий.

Температура месторождений термальных вод Камчатки достигает до 257 °С, глубина залегания - 1200 м. Выявленные в этом районе тепловые ресурсы могли бы обеспечить работу геотермальных электростанций общей мощностью 350 - 500 МВт. В 1981 г. закончилось строительство второй очереди Паужетской ГеоТЭС на Камчатке. Ее мощность возросла более чем вдвое. Принято решение о сооружении еще одной - Мутановской ГеоТЭС южнее Петропавловска-Камчатского, мощность его первой очереди составит 200 МВт.

Использование глубинного тепла Земли. Один из районов Закарпатья должен был стать уникальным полигоном, на котором должна была быть отработана оригинальная система электроснабжения с использованием глубинного тепла Земли. Геотермальная электростанция, сооружение которой было запланировано, должна была использовать тепло сухих горных пород.

В отличие от первой Паужетской геотермальной электростанции, от строящихся в Дагестане и Ставропольском крае Закарпатская ГеоТЭС не имеет природного коллектора. Раскаленные породы будут нагревать до рабочей температуры закаченную в глубину через скважину из реки холодную воду (на глубине 4000 м температура в скважине достигает 200 °С, а глубже еще выше). Выходящая по второй скважине пароводяная смесь заставляет работать электростанции. Отработанная вода будет использоваться в этом цикле многократно. Первая очередь станции должна была давать всего лишь 10 тыс.кВт·ч

электроэнергии в год. В перспективе мощность ее должна была возрасти в десятки раз.

Достоинства метода очевидны. ГеоТЭС может функционировать десятки лет, используя практически неугасимые тепловые котлы. Себестоимость электроэнергии, полученной из глубинного тепла Земли, несмотря на значительные первоначальные затраты, вполне сравнима с той, которую мы имеем от тепловых и атомных электростанций. Кроме того, ГеоТЭС не несет урона экологии, не загрязняет выбросами окружающую среду.

ЭНЕРГИЯ ОКЕАНА

Энергия океана экологически чистая. Она может быть использована в приливных электростанциях (ПЭС), волновых электростанциях (ВолнЭС) и электростанциях морских течений (ЭСМТ), где происходит преобразование механической формы энергии океана в электрическую. Есть установки, использующие наличие температурного градиента между верхними и нижними слоями Мирового океана - так называемые гидротермальные электростанции (ГиТЭС). Мы ранее это уже рассмотрели.

Приливные электростанции (ПЭС). Это источник экологически чистой энергии. Он неисчерпаем и устойчив в перспективе, так как не зависит ни от сырьевых запасов, ни от капризов погоды. Только часть мощности приливов, которые рассеиваются на трение и вихревое движение масс воды, составит около 1 млрд. кВт, что соответствует энергетическому потенциалу почти всех рек мира. Под ПЭС понимается электростанция, которая использует обе фазы уникального явления - прилив и отлив. Чередование приливов и отливов происходит ежедневно через 6 ч 12 мин. Первыми идею использования энергии приливов реализовали энергостроители Франции. В 1967 г. там дала ток первая в мире ПЭВ "Ранс". Кислогубская станция в СССР была пущена всего годом позже. Корпус ПЭВ вместе с оборудованием был смонтирован как наплавная конструкция, отбуксирован к створу губы и установлен на подготовленное место.

В 1983 г. в Канаде дала промышленный ток приливная станция "Аннаполис". Проекты ПЭВ разрабатываются и в других странах.

Для создания мощных ПЭС требуется решение сложных задач. Наши конструкторы работают над капсульной машиной с диаметром рабочего колеса 10 м. В Мезенском заливе можно отсечь у моря огромный бассейн плотиной длиной 90 км и разместить в ней 800 капсульных гидроагрегатов общей мощностью 15 млн. кВт. Энергию ПЭС (50 млрд. кВт·ч/г) можно будет направлять в объединенную энергосистему центра и северо-запада страны. В Охотском море, изолировав 36-километровой плотиной Тугурский залив, можно построить ПЭВ мощностью 6,7 млн. кВт и получить 16 млрд. кВт·ч электроэнергии в год.

От маленькой Кислогубской установки нельзя сразу перейти к созданию грандиозных ПЭС. Необходим промежуточный этап - строительство Кольской ПЭС мощностью 38 тыс. кВт.

Энергия волн. Энергия, выделяемая при волновом движении масс воды в океане, действительно огромна. Средняя волна высотой 3 м несет примерно 90 кВт/м энергии побережья. Однако практическая реализация данной энергии вызывает большие сложности. В Японии в 1978 г. начала давать ток плавучая электростанция, работающая на энергии морских волн. Станция позволяет преобразовать энергию волн в камерах компрессионного типа в энергию сжатого воздуха. Далее процесс преобразования энергии идет по тому же

принципу: сжатый воздух из соплового аппарата поступает на лопатки турбины, вращающей электрогенератор. Энергоустановка смонтирована на судне водоизмещением 500 т, общая длина которого 80 м, а ширина 12 м. Максимальная мощность плавучей электростанции 2 кВт. Считается, что энергоустановки подобного типа экологически более эффективны, чем другие для мелких населенных пунктов на побережье океана, где дополнительные транспортные расходы существенно увеличивают стоимость привозимого органического топлива.

Энергия океанских течений. В США разрабатывается проект установки в районах относительно сильных течений турбины диаметром рабочего колеса 170 м и длиной ротора 80 м, изготовленного из сплава алюминия, с возможным сроком службы 30 лет. Потoki воды течения вращают лопасти турбины, а через систему мультипликаторов, повышающих число оборотов, вращают и находящийся на ее валу электрогенератор. Наибольшую проблему, по мнению авторов проекта, представляет передача производимой электроэнергии по подводному кабелю на берег. Турбину намечается установить в районах течений на якорь и поднимать на поверхность с глубины рабочего положения только для профилактического ремонта. Стоимость производимой электроэнергии ожидается в 1,8 раза ниже, чем на тепловых станциях, и в 1,4 раза ниже, чем на атомных.

БИОЭНЕРГЕТИКА

До последнего времени считалось, что горючее из навоза и других отходов не может конкурировать с природным газом и нефтепродуктами. Однако, в последнее время эту точку зрения стали пересматривать не столько с энергетических, сколько с экологических позиций.

Сотни крупных животноводческих комплексов и птицефабрик построены в нашей стране. Наряду с преимуществом этих комплексов появились и проблемы, в частности удаления, переработки и использования навоза, особенно на птицефабриках и свинокомплексах. Обычно навоз на комплексах удаляют с помощью гидросмыва. В результате объем стоков возрастает в несколько раз. Так, на свинокомплексе, где содержатся 108 тыс. свиней, ежегодно образуется более 1 млн. м³ жижи, сто соответствует объему стоков города с населением 250 тыс. чел. До последнего времени комплексы нередко размещали поближе к дорогам, а значит и городам. Возникла угроза окружающей среде, в первую очередь, источникам питьевой воды.

Наибольший интерес по переработке стоков животноводческих комплексов вызывает так называемое *анаэробное сбраживание*. Им можно переработать практически любую органику. В результате сбраживания ускоряется природный процесс выделения биогаза - метана. Из 1 т органического сухого вещества навоза и помета получают 450 - 660 м³ биогаза, по своей теплотворной способности соответствующего 321 - 428 условного топлива.

В зависимости от климата 20 - 50 % выделяющегося метана расходуется на поддержание сбраживания, остальные - на энергетические нужды хозяйства. Потенциальные резервы экономии ископаемого топлива за счет внедрения анаэробного сбраживания составляют 20 млн. т условного топлива. Нет проблем и с остатком брожения - высококачественным удобрением. Оно выгодно отличается от обычных торфокомпостов. И не загрязняет окружающую среду.

Биологическая переработка (биооконверсия) органических отходов промышленности, сельского хозяйства - один из видов возобновляемых источников энергии. *Биооконверсия отходов* - сложный микробиологический процесс, в котором принимают участие несколько

взаимодействующих групп бактерий: 1) бактерии I группы (гидролитические) гидролизуют углеводы, белки, липиды и другие компоненты биомассы с образованием H_2 и CO_2 , жирных кислот, спиртов и других продуктов брожения; 2) бактерии II группы (ацетогенные) разлагают определенные жирные кислоты и нейтральные продукты до ацетата H_2 , CO_2 в условиях полного отсутствия кислорода; 3) бактерии III группы (гомоацетатные) синтезируют ацетат из смеси H_2+CO_2 , метанола и других соединений, в том числе углеводов; 4) бактерии IV группы (метанообразующие) используют H_2+CO_2 , ацетат и одноуглеродные соединения для синтеза метана.

Наиболее важный момент преобразования целлюлозы. Бактерии, вызывающие это разложение, делятся на два класса в зависимости от температуры протекания процесса: *мезофильные* и *термофильные*. Оптимальная температура для мезофильных бактерий 30 - 40 °С, для термофильных 50 - 60 °С. Обе группы имеют оптимальный рН в диапазоне 6,0 - 7,0.

Деятельность бактерий и объем метана, получаемого в результате ферментации, зависит от многих факторов: температуры, кислотности среды, соотношения между углеродом и азотом (C/N), наличия летучих кислот (уксус), питательных веществ и токсичности материалов. Процесс биоконверсии может происходить при низких (до 30 °С), средних (35 - 40 °С) и высоких (свыше 50 °С) температурах. Чем выше температура, тем быстрее идет процесс ферментации, больше выделяется газа, меньше остается бактериальных и вирусных болезнетворных микроорганизмов. Наиболее производительный термофильный процесс требует дополнительной энергии.

Летучие кислоты (уксусная) из-за своей токсичности снижают эффективность производства метана. Для функционирования бактерий необходимы также питательные вещества, азот, фосфор, сера, различные микроэлементы.

Количество биогаза, выделяющегося из отходов, зависит, в первую очередь, от состава сырья. Биогаз, полученный при биоконверсии отходов содержит 55 - 70 % метана CH_4 , остальное - оксид углерода. Присутствие CO_2 снижает теплоту сгорания биогаза и увеличивает его объем, при обработке и хранении. Биогаз рассматривают как локальное топливо, достаточно эффективно используемое на месте его производства без дорогостоящего "облагораживания".

Другой продукт биоконверсии - остаток (шлам) - обеззараженное высокоэффективное удобрение, по своим свойствам приближающееся к минеральному удобрению типа нитрофоски: 1 т сухого остатка эквивалентна 3 - 4 т нитрофоски. Органические удобрения, получаемые в результате анаэробной ферментации отходов, значительно лучше, чем полученные обычным методом компостования. Это обусловлено тем, что аммиак при ферментации выделяется из азотистых соединений и вместе с соединениями фосфора и калия преобразует остаток в богатое питательными веществами органическое удобрение. Во время сбраживания фосфор переходит в форму, лучше усваиваемую растениями, образуются небольшие количества активных веществ, которые благоприятно влияют на рост растений.

Очень важна анаэробная ферментация с точки зрения санитарии. Отходы сельскохозяйственного производства зачастую являются источниками распространения различных эпидемий у животных. В первую очередь это относится к отходам животноводства, свиноводства и птицеводства.

Многолетний опыт работы показал, что наиболее эффективным методом обеззараживания этих отходов является именно анаэробная ферментация, при которой уничтожаются яйца гельминтов, вредная микрофлора и семена сорняков. Особенно эффективно обеззараживание при температуре выше 50 °С.

Выводы: С ростом производства тепло- и электроэнергии человечество наносит ощутимый урон природе: тепловое загрязнение, существенное загрязнение продуктами сгорания на тепловых электростанциях.

С точки зрения термодинамики при производстве энергии происходит ее деградация (человек "мнет" Вселенную), и повышение энтропии. Результаты многолетнего такого процесса на природу трудно представить.

Литература

- 1 Акимова Т. А., Хаскин В. В. Экология: Учебник. М.: ЮНИТИ, 1998. 455 с.
- 2 Аллен Р. Как спасти Землю: Всемирная стратегия охраны природы. М.: Мысль, 1983. 172 с.
- 3 Анিকেев В. А., Копп И. З., Скалкин В. Ф. Технологические аспекты охраны окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 255 с.
- 4 Беспамятнов Г. П., Кротов Ю. А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: Справочник. Л.: Химия, 1985. 528 с.
- 5 Дотто Л. Планета Земля в опасности / Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 209 с.
- 6 Колтун М. Солнце и человечество. М.: Детская литература, 1981. 127 с.
- 7 Назарова Н. С. Охрана окружающей среды и экологическое воспитание студентов. М.: Высшая школа, 1989. 104 с.
- 8 Никитин Д. П., Новиков Ю. В. Окружающая среда и человек: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1980. 424 с.
- 9 Риклес Р. Основы общей экологии / Под ред. Н. И. Карташева. М.: Мир, 1979. 424 с.
- 10 Шилов И. А. Экология: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2000. 372 с.
- 11 Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе / Пер. с англ. Ю. Г. Рудого. М.: Мир, 1978. 223 с.
- 12 ЭХО: Экология. Хозяйство. Окружающая среда. Вып. 1. М.: Прогресс, 1990. 359 с.
- 13 Гумилев Л. Н. Этносфера: История людей и история природы. М.: Экопрос, 1993. 544 с.