

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра электротехники

В. М. ОВЧИННИКОВ, Ю. Г. САМОДУМ, В. В. МАКЕЕВ

# ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области энергетики и энергетического оборудования  
для специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение»,  
1-43 01 03 06 «Электроснабжение железных дорог»  
в качестве учебно-методического пособия*

Гомель 2023

УДК 658.26:658.18(075.8)  
ББК 31.29-5+20.18  
О-35

Рецензенты: кафедра энергосбережения, гидравлики и теплотехники  
БГТУ (зав. кафедрой – канд. техн. наук, доцент *А. С. Дмитриченко*);  
проректор ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доцент *А. В. Шаповалов*.

**Овчинников, В. М.**

О-35 Основы эколого-энергетической устойчивости производства : учеб.-метод. пособие / В. М. Овчинников, Ю. Г. Самодум, В. В. Макеев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 229 с.  
ISBN 978-985-891-094-5

Изложена важность энергопотребления на предприятии, виды традиционных углеводородных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии, особенности атомной энергетики. Указаны основные пути и мероприятия по повышению эффективности использования энергоресурсов на производстве.

Рассмотрены основные загрязнители атмосферы, водных ресурсов и почвы, а также мероприятия по уменьшению загрязняющих факторов в энергетике, промышленности и транспорте.

Предназначено для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» специализации 1-43 01 03 06 «Электроснабжение железных дорог», изучающих дисциплину «Основы эколого-энергетической устойчивости производства».

Может быть полезно для магистрантов (студентов второй степени высшего образования) и для инженерно-технических специалистов, связанных с энергоэффективностью оборудования.

**УДК 658.26:658.18(075.8)**  
**ББК 31.29-5+20.18**

**ISBN 978-985-891-094-5**

© Овчинников В. М., Самодум Ю. Г.,  
Макеев В. В., 2023  
© Оформление. БелГУТ, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	6
Введение .....	9
1 Энергоемкость валового национального продукта.....	13
2 Энергетическая эффективность в Беларуси .....	15
3 Классификация топливно-энергетических ресурсов .....	18
4 Невозобновляемые энергетические ресурсы .....	22
4.1 Традиционные органические топлива .....	23
4.2 Теплота сгорания топлива .....	27
4.3 Условное топливо .....	28
4.4 Горение углеводородного топлива .....	30
4.5 Расход воздуха на горение.....	30
4.6 Нетрадиционные природные топлива.....	34
4.7 Водород как топливо .....	36
5 Ядерная энергетика.....	40
5.1 Общие сведения о ядерной энергии.....	41
5.2 Атомные электрические станции и Белорусская АЭС .....	42
5.3 Реакторы на быстрых нейтронах в ядерной энергетике .....	46
5.4 Ядерный синтез.....	48
6 Возобновляемые источники энергии и перспектива их использования в Беларуси .....	50
6.1 Энергия биомассы.....	52
6.2 Гидроэнергетические ресурсы .....	62
6.3 Ветроэнергетика .....	64
6.4 Гелиоэнергетика .....	69
6.5 Низкопотенциальная энергия Земли и тепловые насосы .....	77
7 Эффективность стационарной энергетики.....	85
7.1 Тепловые электрические станции.....	86
7.1.1 Конденсационные электрические станции .....	86
7.1.2 Теплоэлектроцентрали.....	90
7.2 Котельные установки.....	92
7.3 Когенерационные системы .....	92
7.4 Энергосбережение при транспортировке теплоносителей.....	93
7.5 Энергоэффективность электрической энергии на производстве.....	95
7.5.1 Передача электрической энергии.....	95
7.5.2 Потери электроэнергии и реактивная мощность .....	96
7.5.3 Энергоэффективность электропривода.....	98
7.5.4 Энергоэффективность сварки .....	100
7.5.5 Эффективность использования электроосвещения .....	101
8 Энергоэффективность транспортной техники .....	103
8.1 Тяговый подвижной состав железнодорожного транспорта .....	103

8.1.1	Электрическая тяга .....	104
8.1.2	Тепловозная тяга .....	106
8.1.3	Сравнительная оценка электрической и тепловозной тяги.....	108
8.2	Автотракторная техника предприятий .....	109
8.2.1	Белорусское электромобилестроение .....	110
8.3	Основные положения стратегии повышения энергоэффективности Белорусской железной дороги .....	112
9	Энергоэффективность железнодорожных зданий и сооружений .....	117
9.1	Повышение теплозащитных свойств стен .....	119
9.2	Улучшение теплозащитных свойств окон .....	120
9.3	Повышение энергоэффективности в системах отопления.....	122
9.3.1	Водяные системы отопления .....	123
9.3.2	Системы воздушного отопления.....	124
9.3.3	Системы лучистого отопления.....	125
9.4	Повышение энергоэффективности систем вентиляции.....	126
9.5	Энергоэффективность систем водоснабжения и водоотведения.....	128
10	Основы энергменеджмента .....	132
10.1	Цель и задачи энергменеджмента .....	132
10.2	Система энергменеджмента .....	133
11	Тенденции развития топливно-энергетического комплекса Республики Беларусь .....	135
12	Биосфера и её компоненты.....	138
12.1	Круговорот химических элементов в окружающей среде .....	139
12.2	Человек и природное окружение .....	141
13	Структура современной экологии .....	146
13.1	Экологические факторы среды .....	147
13.1.1	Климатические факторы .....	147
13.1.2	Эдафические факторы .....	148
13.1.3	Орографические факторы .....	149
13.1.4	Гидрографические факторы .....	149
13.1.5	Химические факторы .....	149
13.2	Биотические факторы среды .....	150
13.3	Антропогенные факторы среды .....	150
14	Виды загрязнений и типы загрязнителей.....	151
14.1	Обеспечение качества окружающей среды.....	154
15	Загрязнение и защита атмосферы.....	155
15.1	Строение атмосферы.....	155
15.2	Загрязнение атмосферы.....	156
15.2.1	Основные химические загрязнители воздуха .....	158
15.2.2	Кислотные дожди.....	163
15.2.3	Биологическое загрязнение атмосферы .....	165
15.3	Современное изменение состава атмосферы .....	166
15.3.1	Парниковый эффект .....	167
15.3.2	Изменения озонового слоя .....	169
15.4	Нормирование качества атмосферного воздуха .....	171
16	Водные ресурсы, их загрязнение и защита .....	173
16.1	Структура гидросферы Земли.....	173

16.2	Природный водообмен.....	175
16.3	Загрязнение водных ресурсов .....	178
16.3.1	Загрязнение морей и океанов .....	178
16.3.2	Загрязнение материковых вод.....	181
16.4	Очистка сточных вод .....	182
16.4.1	Механическая очистка производственных сточных вод.....	183
16.4.2	Физико-химическая очистка сточных вод .....	186
16.4.3	Электрохимическая очистка сточных вод.....	188
16.4.4	Химические методы очистки сточных вод .....	190
16.4.5	Биологическая очистка сточных вод.....	191
16.5	Нормирование качества воды .....	192
17	Литосфера и почва.....	195
17.1	Ландшафты .....	197
17.2	Почва.....	199
17.2.1	Удобрения почвы .....	201
17.3	Нормирование качества почв.....	202
18	Отходы производства и потребления.....	205
18.1	Техногенные ресурсные циклы.....	206
18.2	Ликвидация отходов .....	208
19	Влияние традиционной энергетики на окружающую среду.....	211
19.1	Вредные вещества, выбрасываемые в атмосферный воздух .....	212
20	Влияние транспорта на окружающую среду.....	218
20.1	Влияние автомобильного транспорта .....	218
20.1.1	Пути снижения токсичности продуктов сгорания .....	220
20.1.2	Разработка альтернативных видов автотранспорта .....	223
21	Экологический аспект инженерной деятельности .....	225
	Список литературы .....	228

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Рыба гниёт с головы,  
но это позиция хвоста.

*Е. Евтушенко, поэт*

В настоящее время в связи со стремительно возрастающим народонаселением перед человечеством стоят две проблемы безопасности: энергетическая и экологическая. Наша жизнь – это овеществленная энергия, продолжительность нашей жизни зависит от экологии, комфортность нашей жизни зависит от того и другого. Указанные проблемы тесно связаны.

Энергия, как известно, – одно из основных базовых свойств материи – способность производить работу. Энергия – это источник жизни, основа и средство управления всеми природными системами. Последние два века, минувшие с начала промышленной революции, прошли под знаком равенства между прогрессом и ростом благосостояния, с одной стороны, и увеличением энергопотребления – с другой. Действительно, энергия считается основой современной цивилизации. Есть даже афоризм: «Кто владеет энергией – тот владеет миром». Английский писатель-фантаст Артур Кларк прогнозировал, что скоро мир перейдет на новую валюту – «киловатт-часы».

Почти вся энергия, используемая на Земле, берет своё начало в недрах планеты. Ископаемое топливо сегодня, как и прежде, играет первостепенную роль в обеспечении человечества энергией. Поэтому обладание ископаемыми ресурсами, умение их извлекать и эффективно использовать дает практически неограниченную экономическую и политическую власть. С течением времени человечество всё глубже «зарывается» в землю для добычи сгораемых энергоресурсов: каменного угля, нефти и газа. Но запасы этого природного топлива убывают и не восполняются. К тому же повышается концентрация углекислого газа в атмосфере (именно его выделяется больше всего при сгорании ископаемого углеводородного топлива), которая регистрируется многими специализированными лабораториями. Так, если в 1960 г. концентрация углекислого газа в атмосфере не превышала 320 ppm (parts per million, т. е. частей на миллион), то в 2020 г. она превысила 400 ppm. При тех же темпах увеличения потребления энергии и нынешних способах генерации энергии во второй половине XXI столетия следует ожидать повышение концентрации парниковых газов и, следовательно, температуры атмосферного воздуха. Поэтому всё шире начинают использоваться альтернативные источники энергии.

Но пока у альтернативной энергетики много проблем. Например, проблема географического распределения энергетических ресурсов. Ветряные электростанции экономически выгоднее строить только в районах, где часто дуют сильные ветры, солнечные – где минимальное количество пасмурных дней, гидроэлектростанции – на крупных и горных реках. Вторая проблема альтернативной энергетики – нестабильность. На ветроэлектростанциях выработка зависит от ветра, который постоянно меняет свою скорость или вообще затихает. Гелиоэлектростанции плохо работают в пасмурную погоду и вообще не работают ночью.

Из-за этих и многих других сложностей замедляется развитие альтернативной энергетики в мире. Сжигать ископаемое топливо пока по-прежнему проще и дешевле. В общем, как сказал Шухов, герой повести А. И. Солженицына «Один день Ивана Денисовича», «любое решение, как и палка, имеет два конца». С одной стороны – выгода (плюс), а с другой стороны – убыток (минус). Это известный закон диалектики – «Борьба и единство противоположностей».

Люди нарушают хрупкое экологическое равновесие на Земле, формировавшееся миллионы лет. Мы получаем из окружающей среды всё больше и больше ресурсов, а возвращаем в нее мусор и токсины, меняющие состав почвы, воды и атмосферы.

Сейчас, по оценкам ученых, возникла большая угроза – перспектива изменения климата. За сотни тысяч лет существования человечество пережило немало ледниковых периодов и потеплений. Но около 10 тысяч лет назад наступил период, получивший название голоцена, климат Земли стал относительно стабильным. Наступил сравнительно комфортный период для существования человечества, его развития. При любом отклонении от нормы голоцена человечество столкнется с небывалыми вызовами. При этом человеческая цивилизация столкнется с новыми, жуткими условиями и адаптация может стоить многих жертв.

В современном мире предвестником надвигающейся проблемы ухудшения условий жизни и даже выживания человека являются глобальные негативные изменения, связанные с его деятельностью. Поэтому в нынешней ситуации следует сократить потребление энергии, причём не уменьшая, а увеличивая производство необходимых для комфортной жизни человека товаров. Это возможно благодаря внедрению результатов научных исследований, разработке новых технологий и некоторых изменений в образе жизни, связанных с отношением к природе. Миллионы лет существования сделали природу самым грамотным экологом, и следует полагаться на неё в подавляющем большинстве случаев, соблюдая при этом главный принцип – давать больше, чем берешь.

В заключение необходимо подчеркнуть, что проблемы, связанные с происхождением, экономичностью, техническим освоением, способами ис-

пользования различных источников энергии, их экологичностью, были и будут неотъемлемой частью нашей жизни. Понимание принципов эффективного производства, экономичного потребления энергии и бережного отношения к окружающей среде создает необходимые предпосылки для успешного решения нынешних задач и ближайшего будущего. Современный инженер – это образованный человек, который в своей профессиональной деятельности должен обязательно предвидеть своё воздействие на окружающую его среду. Таким образом, получение знаний в области энергоэффективности и экологической безопасности весьма актуально и необходимо.

Данное учебно-методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» специализации 1-43 01 03 06 «Электроснабжение железных дорог», изучающих дисциплину «Основы эколого-энергетической устойчивости производства». Пособие также может быть полезно студентам, обучающимся по специальностям 1-36 01 04 «Оборудование и технологии повышения износостойкости и восстановления деталей машин и приборов», 1-27 02 01 «Транспортная логистика» (по направлениям), 1-27 02 01 02, направление «Транспортная логистика (железнодорожный транспорт)», и 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», изучающих аналогичную вышеуказанной дисциплину с учетом специфики железнодорожного транспорта.

Авторы приносят благодарность своим коллегам, а также студентам за те мысли, которые легли в основу пособия, и выражают особую благодарность за техническую помощь при подготовке и оформлении рукописи сотрудникам О. Г. Жданович, Н. В. Кожемякиной, С. Г. Додолеву, М. А. Лутченко и П. Г. Двораковскому.





## ВВЕДЕНИЕ

Имеющие терпение способны  
создавать шелк из листьев и  
мед из розовых лепестков.

*Наваи, поэт*

Без энергии не может быть ни движения, ни производства, ни самой жизни. Это было подтверждено крупнейшей энергетической аварией XX века, произошедшей 9 ноября 1965 года, которая потрясла Нью-Йорк и некоторые близлежащие к нему города. Произошло следующее. На одной из второстепенных линий электропередач, связывающих США с Канадой, возникли неполадки. Они привели к отключению других параллельных электрических линий, вследствие чего авария приняла лавинообразный характер. В результате отключились электростанции суммарной мощностью примерно 45 млн кВт (для сравнения: общая мощность электростанций Республики Беларусь – около 10 млн кВт). Электроэнергетическая сеть, снабжающая электричеством восемь штатов США и две провинции Канады, население которых примерно 40 млн человек, была лишена электроэнергии.

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

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

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

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

Таким образом, лишний раз приходится констатировать, что в нынешнем цивилизованном обществе без энергии не может быть ни движения, ни производства, ни, наконец, самой жизни. Следовательно, вся техника и вся продукция промышленности и сельского хозяйства есть в конечном итоге овеществленная энергия, и затраты последней определяют эффективность всего производства. Поэтому и всевозможные системы управления (по-английски «менеджмент»), широко внедряемые теперь всюду, преследуют, по существу, одну цель – экономию энергоресурсов.

Роль энергетики возрастает еще больше в связи с прогрессирующим истощением обычных энергетических ресурсов (нефть, газ, уголь и др.), и всё более заметным, иногда уже необратимым, изменением («загрязнением») окружающей среды, сопровождающим работу энергоустановок.

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

Затем случилось еще два крупнейших нефтяных кризиса. Сначала энергетический кризис в 79-м–80-х годах XX века из-за исламской революции, что вызвало повышение цен на нефть. В конце 1980-х снова был обвал цен на нефть, что ускорило распад СССР. Затем нефтяной кризис начала 90-х годов XX века из-за войны между нефтяными странами Ирак и Кувейтом.

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

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

Так, в начале марта 2022 года на европейском рынке стоимость 1 тыс. м<sup>3</sup> природного газа кратковременно достигла 3800 долларов США, а барреля нефти – 140 долларов США. Эти спекулятивные цены на широко использу-

емое топливо обусловлены санкциями, наложенными на Российскую Федерацию, которая является одним из главных поставщиков углеводородного топлива.

Несколько десятков лет назад к энергии, получаемой из органического топлива, добавилась энергия, выделяемая в результате деления ядер атомов. Необходимость этого диктовалась истощением запасов органического топлива.

Развитие атомной энергетики – мировая тенденция. Даже страны, которые не относятся к числу энергозависимых, продолжают идти по этому пути. Мораторий на ядерную энергетику, введенный отдельными странами после аварии на Чернобыльской АЭС, к настоящему времени практически отменен.

Рост потребления энергии тесно связан с истощением запасов минерального сырья, в первую очередь, металлов (серебра, олова, меди и др.), поскольку это приводит к необходимости их извлечения из более бедных по содержанию руд.

Повышение эффективности сельского хозяйства также требует производства минеральных удобрений, что приводит к росту энергетических затрат. Постоянное развитие торгово-логистических связей тоже приводит к повышению энергопотребления транспортными средствами.

Усиление борьбы с загрязнением окружающей среды также требует новых технологических процессов в различных производствах, при которых отсутствуют вредные выбросы, что ведет к увеличению потребления энергии.

В настоящее время получение человечеством благ, которые обеспечивают широкое применение технических средств, использующих в основном углеводородную энергетику, привело к негативным последствиям – загрязнению окружающей среды. Это сопутствующая изнаночная сторона современного производства.

Сегодня мы сталкиваемся с проблемой глобальных изменений климата. Глобальное потепление, о котором за век наблюдений свидетельствуют все новые и новые факты, стало крупной политической проблемой, являющейся результатом столкновения идеологий и корыстных интересов. Но первопричиной международных волнений и столкновений является энергетическая безопасность страны. Это подтверждается сегодняшней ситуацией (осень 2022 года), когда в Европейских странах резко снижено потребление дешевого природного газа из Российской Федерации. Как сказал президент Франции Макрон, «период изобилия в Европе заканчивается».

Население любой страны в первую очередь заинтересовано в устойчивой работе производства и сферы услуг, а значит, в энергетической безопасности государства. Климатические изменения для граждан европейских государств в настоящее время отошли на второй план, о них временно забыли. Следовательно, в нынешних условиях экологическая устойчивость является практически производной от энергетической устойчивости.

Весь ход истории цивилизации свидетельствует о том, что человечество постоянно отторгает от природы миллиарды тонн природного вещества для удовлетворения своих потребностей, а возвращает отходы использования. Причём из огромного количества вещества, изымаемого из природной среды для целей производства, в конечный продукт превращается лишь 1,5–2,0 %.

Естественная среда планеты Земля в настоящее время перестала быть всеобщим поглотителем отходов производства, транспорта, быта. Но, пожалуй, самое отрицательное воздействие производства на окружающую природную среду – это её загрязнение, которое во многих районах мира достигло критического уровня для устойчивости экологических систем и здоровья людей.

Загрязнение окружающей среды сопровождается массовой гибелью лесов – «лёгких планеты», снижением поголовья или исчезновением фауны, уменьшением урожайности сельскохозяйственных культур, потерей рыбопродуктивности водоёмов, нанесением урона здоровью людей.

Такое положение обусловлено уровнем развития науки и техники и характером производственных отношений, доминирующих в данном сообществе. Успех в области преобразования природы сопутствует людям лишь тогда, когда они изучают законы природы, считают с их действием, учитывают их объективные требования. К сожалению, в действительности эти совершенно необходимые условия учитываются далеко не всегда.

В результате рост производства часто сопровождается разделением природных систем и интенсивным загрязнением среды, что наносит ущерб и природе, и обществу. Экологическая безопасность от деятельности хозяйственных субъектов обеспечивается комплексом финансовых, законодательных и технических мер.

При этом следует иметь в виду, что вложение финансовых средств в дополнительную энергию на производстве довольно быстро окупается и определяет во многом комфорт человека. Затраты, связанные с экологической безопасностью производства, окупаются очень медленно, но они определяют здоровье и жизнь человека, следовательно, очень важны. Именно эта изначальная часть технического прогресса также рассматривается в данном учебно-методическом пособии «Основы эколого-энергетической устойчивости производства».

В заключение следует указать, что в настоящее время перед человечеством встала задача разумного, рационального природопользования, позволяющего удовлетворять жизненные потребности людей в сочетании с охраной и воспроизводством окружающей среды. Обобщая, следует констатировать, что **ЭКОНОМИЧЕСКИЙ** успех производства может быть достигнут только в том случае, когда расход **ЭНЕРГИИ** эффективен, а применение её **ЭКОЛОГИЧНО**, т. е. соблюдена взаимосвязь трёх «Э».

## 1 ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ВАЛОВОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА

Если начать отнимать у людей энергетические ресурсы, цивилизация начнет двигаться в обратном направлении и мы вернемся к уровню цивилизации средних веков.

*П. Л. Капица, ученый*

Каждая страна производит продукцию, которая потребляется внутри страны и экспортируется в другие страны. Это сельскохозяйственная, строительная, энергетическая, химическая, металлургическая, машиностроительная и другие виды произведенной продукции. Производство указанной продукции требует различных затрат энергии, при этом стоимость конечной продукции может не соответствовать затратам энергии. Этим широко пользуются так называемые высокоразвитые страны. Например, производство металлов, строительных материалов, нефтепродуктов потребляет большое количество энергоресурсов, но оно осуществляется в менее развитых странах. Энергоёмкость же ВВП (валового внутреннего продукта) каждой страны рассчитывается мировыми статистическими организациями (например, Всемирным банком) путём общего энергопотребления этой страны на её ВВП. Общее потребление энергии включает уголь, газ, нефть, электроэнергию, тепло и биомассу. ВВП выражается или по постоянному обменному курсу (в долларах США), или по паритету покупательной стоимости. Последнее наиболее реально, поскольку устраняется влияние инфляции и отражаются различия в общих уровнях цен в данной стране, а также её реальный уровень экономической активности. Следовательно, использование ставок паритета покупательной способности (ППС) для валового внутреннего продукта (ВВП) вместо обменных курсов увеличивает стоимость ВВП в странах, не достигших высокого уровня экономического развития, и тем самым несколько снижается их энергоёмкость.

Указанный выше принцип передачи наиболее энергоёмких производств от высокоразвитых государств, стран «золотого миллиарда», странам слаборазвитым приводит к дальнейшему обогащению этих элитных государств и обнищанию государств слабых в экономическом отношении. Фактически это неокOLONиальная система, при которой есть государства-хозяева и государства-вассалы.

Кроме экономических интересов, элитными государствами преследуются и экологические интересы, поскольку основное загрязнение окружающей среды происходит в районе государств, осуществляющих это энергоёмкое и трудоёмкое производство. Тем самым производимое загрязнение

окружающей среды может служить причиной обвинения этих слаборазвитых стран.

Отмеченные особенности следует учитывать при рассмотрении диаграмм энергоёмкости ВВП стран мира, приводимых в интернете.

На рисунке 1.1 приведено распределение энергоёмкости ВВП некоторых стран. При этом энергоёмкость приведена не в абсолютной, а в относительной (безразмерной) величине.

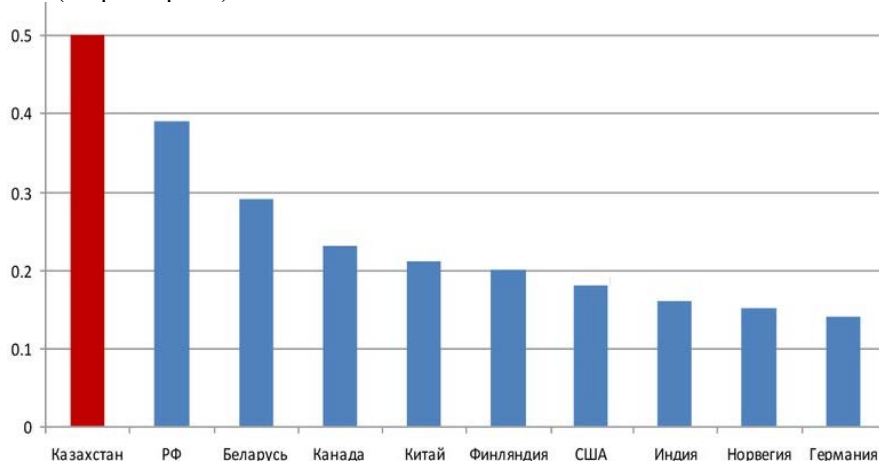


Рисунок 1.1 – Энергоёмкость ВВП стран мира по паритету покупательской способности валют

Анализируя приведенную диаграмму, можно отметить, что страны, достигшие высокого уровня экономического развития, например, ФРГ и США, достигли низкой энергоёмкости ВВП. Однако при этом нужно учитывать, что наиболее энергозатратные производства (металлургические, стекольные, строительных материалов и др.) вынесены за пределы своих государств и тем самым снижается энергетическая нагрузка этих государств. В противовес им Казахстан и Российская Федерация не только не выносят наиболее энергозатратное, но сравнительно дешёвое производство за пределы своей страны, но и производят эту энергоёмкую продукцию для более богатых стран, тех же ФРГ, США. В результате энергоёмкость валового **внутреннего** продукта значительно уменьшается. Кроме того, необходимо учитывать также применение более высокоразвитых, наукоёмких технологий в этих странах. Поэтому приводимое сопоставление энергоёмкости красноречиво, но лукаво показывает экономное энергетическое производство элитных стран, что лишь частично соответствует реальности.

## 2 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ В БЕЛАРУСИ

В современных условиях проблемы энергетики больших мощностей без ядерной энергии нельзя будет решить.

*П. Л. Капица, ученый*

Актуальность рационального, бережливого, эффективного, а следовательно, экономного потребления и распределения энергии возрастает во всём мире. Для Беларуси это особенно важно в связи с недостаточной обеспеченностью собственными природными энергоресурсами. В сфере энергопотребления осуществляется государственное регулирование посредством Указов Президента Республики Беларусь, постановлениями Совета Министров и государственных организаций, подчиненных Совету Министров, местных исполнительных и распорядительных органов. Указанное отражено в Законе Республики Беларусь «Об энергосбережении» № 239-З от 8 января 2015 года.

В Законе отмечены принципы государственного регулирования: рост энергетической безопасности и повышение энергетической независимости Республики Беларусь, эффективное и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), внедрение энергоэффективного оборудования, технологий и материалов, научно-техническая обоснованность реализуемых мероприятий, системность и иерархичность управления.

В Законе указаны пути энергосбережения в Республике Беларусь, которыми являются:

- формирование, утверждение и реализация государственных программ в сфере энергосбережения;
- техническое нормирование и оценка соответствия энергопотребления современным техническим требованиям;
- установление показателей в сфере энергосбережения;
- нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов;
- проведение энергетических обследований (энергоаудитов);
- осуществление контроля (надзора) за выполнением показателей в сфере энергосбережения;
- меры по стимулированию энергосбережения.

Большое внимание в Законе «Об энергосбережении» уделяется проведению энергоаудитов в организациях, чтобы достигнуть следующих целей:

- получение объективных данных об объеме используемых энергетических ресурсов;
- определение показателей энергетической эффективности;
- установление потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

– разработка тепловых, общедоступных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и проведение их стоимостной оценки.

Энергетическому обследованию в обязательном порядке подлежат организации с годовым суммарным потреблением ТЭР 1,5 тысячи тонн условного топлива (т у.т.) и более.

Обязательный энергоаудит проводится не реже одного раза в 5 лет согласно графикам, которые утверждаются ежегодно республиканским органом государственного управления в сфере энергосбережения (Департаментом по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь) или областными и Минским городским исполнительными комитетами посредством Управлений по надзору за рациональным использованием ТЭР и согласованием с вышеуказанным Департаментом.

Энергетическое обследование (энергоаудит) может быть *обязательным* или *добровольным*. Обязательному энергоаудиту подлежат юридические лица, как указано выше, с энергопотреблением 1,5 тысяч т у.т. в год и не реже чем через пять лет. Если в организации произошла модернизация основного технического оборудования, то энергетическое обследование проводится в виде экспресс-энергоаудита, не ожидая пяти лет.

В отношении юридических лиц с годовым потреблением ТЭР менее 1,5 т у.т. в год и индивидуальных предпринимателей проводится добровольное энергообследование.

Департамент по энергоэффективности осуществляет надзорную деятельность за республиканскими предприятиями с годовым энергопотреблением более 25 тысяч т у.т. в год. Областные и Минское городское управления по надзору за рациональным использованием ТЭР согласовывают нормы ТЭР предприятиям с годовым потреблением до 25 тысяч т у.т.

Нормируются расходы топлива, электрической и тепловой энергии. Нормирование – это вопрос не только Департамента по энергоэффективности, но и налоговой инспекции. *За искажение статистических отчетных данных по энергоэффективности налагаются штрафы.* Расчет расходов ТЭР может осуществлять само предприятие, или нанимают внешнюю организацию, компетенция которой удостоверена сертификатом соответствия по оказанию услуг по энергетическому обследованию, выданным Белорусским государственным институтом метрологии и зарегистрированным в республиканском реестре.

Нормы расхода топливно-энергетических ресурсов могут быть *текущими* и *прогрессивными*.

Текущие нормы расхода ТЭР устанавливаются на период до одного года, для организаций с потреблением 1,5 тыс. т у.т. и более за один год. Прогрессивные нормы расхода ТЭР устанавливаются на период от 1 года до 5 лет.



Нормы расхода ТЭР должны учитывать условия производства, внедрение достижений научно-технического прогресса и энергосберегающих мероприятий, способствовать эффективному использованию ТЭР, усилению заинтересованности трудовых коллективов в энергосбережении, быть взаимосвязаны с другими показателями хозяйственной деятельности.

Контроль за рациональным использованием топлива, электрической и тепловой энергии, реализацией мер по экономии ТЭР осуществляет Департамент по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь и уполномоченные территориальные органы – Минское и областные управления по надзору за рациональным использованием ТЭР.

Проектная документация на возведение и реконструкцию жилых, административных зданий, объектов социально-культурного и производственного назначения, в том числе источников тепловой и электрической энергии подлежит обязательной государственной экспертизе энергетической эффективности.

В Республике Беларусь не допускаются строительство и ввод в эксплуатацию объектов, в том числе после реконструкции, модернизации и (или) капитального ремонта, не получивших положительного заключения государственной экспертизы, и следовательно, не соответствующих требованиям законодательства об энергосбережении. Стимулирование энергоэффективности может осуществляться различными путями:

- государственная финансовая поддержка производителей и потребителей ТЭР;

- финансирование госпрограмм в сфере энергосбережения за счет средств республиканского и местных бюджетов;

- гарантированное подключение к государственным энергетическим сетям источников электрической энергии, использующих невозобновляемые ТЭР с более низким их расходом за счет работы на тепловом потреблении, а также работающих на местных ТЭР или использующих вторичные энергетические ресурсы;

- установление тарифов на электрическую энергию, дифференцированные по временным периодам;

- предоставление права на аккумулирование средств, образующихся при внедрении энергосберегающих мероприятий, и направление их на финансирование энергоэффективных мероприятий;

- создание условий для обеспечения мотивации работников и руководителей организаций к ведению работы по энергоэффективности.

Информационное обеспечение в сфере энергосбережения и энергоэффективности необходимо осуществлять постоянно путем:

- пропаганды через средства массовой информации;

- создания демонстрационных территорий, на которых реализованы проекты эффективного использования ТЭР, с учетом зарубежного и отечественного опыта;

– организация выставок энергоэффективного оборудования, технологий и материалов;

– проведение конкурсов, семинаров, конференций, акций и других мероприятий по тематике энергосбережения и энергоэффективности.

Республике Беларусь следует осуществлять международное сотрудничество в сфере энергоэффективности и энергосбережения в соответствии с законодательством государства.

### 3 КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

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

*Гоми Баба, ученый*

**Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР)** – это совокупность природных и произведенных энергоносителей, запасенная энергия которых при существующем уровне развития техники и технологии доступна для использования в хозяйственной деятельности.

В современном мире необходимым условием сохранения жизни и развития цивилизации стало обеспечение человечества достаточным количеством энергии. Без энергии не может быть ни движения, ни производства, ни, наконец, самой жизни. Следовательно, вся техника и вся продукция промышленности и сельского хозяйства есть в конечном итоге овеществленная энергия.

Рассмотрим общий бюджет энергии, поступающей на поверхность Земли. Энергия поступает из трех источников.

*Первый источник* – это **кинетическая энергия вращения Земли**, часть которой нам доступна благодаря приливам океанов и морей.

*Второй источник (термальный)* – **энергия земных недр**. Высокие температуры внутри Земли обусловлены теплом, выделяемым при распаде природных радиоактивных элементов – урана и тория.

*Третий источник* – это **Солнце**. Ежедневно на Землю поступает огромный поток тепла и света. Поступающая солнечная энергия затрагивает почти каждый процесс и каждое живое существо на Земной поверхности. Лишь небольшая часть солнечной энергии временно аккумулируется в атмосфере, воде и биомассе. При этом солнечное тепло нагревает атмосферу, океаны и сушу. Солнечное тепло вызывает движение воздуха в виде ветра, аккумулируется в озерах и реках, в растениях и животных. Почти вся энергия, поступившая на Землю, вновь излучается в холодный космос, сохраняя Земную поверхность в тепловом равновесии.

Главным энергоулавливающим механизмом является **фотосинтез** – процесс, благодаря которому растения, используя солнечную энергию, соединяют воду с двуокисью углерода (углекислым газом)  $\text{CO}_2$  и произво-

дят углеводороды, необходимые для жизнедеятельности растений (рост, плодоношение), а также кислород  $O_2$ , необходимый для дыхания человеку и животным. Когда животные (и человек тоже) поедают растения, органические компоненты становятся тем горючим, которое содержит энергию для обеспечения жизненных процессов. Следовательно, животные являются вторичными потребителями уловленной растениями солнечной энергии. Когда растения съедаются животными или когда они отмирают и разлагаются, накопленная в них энергия высвобождается, а органическая материя распадается снова на воду и двуокись углерода. Но небольшая часть органического материала по разным причинам не успевает разложиться и захороняется в осадках. Таким образом, некоторая часть солнечной энергии «консервировалась» десятки миллионов лет назад, становясь впоследствии горючим ископаемым.

В связи с активным использованием источников энергии особый интерес представляет их исчерпаемость.

*Неисчерпаемые энергетические ресурсы* – это солнечная энергия и ее производные: ветровая энергия, энергия движущейся воды, энергия земных недр (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Источники энергии и их производные

*Исчерпаемые энергетические ресурсы* – это такие, которые образовались в недрах Земли в весьма отдаленные от нас периоды в течение многих миллионов лет. Эти энергетические ресурсы считаются также невозобновляемыми, поскольку период времени образования их гораздо больше продолжительности жизни человека. Указанные выше неисчерпаемые энергетические ресурсы относятся к *возобновляемым*.

Рассмотрим сначала невозобновляемые энергетические ресурсы, начало образования которых уходит во времена динозавров, т. е. уходит назад на десятки миллионов лет. В настоящее время человечество широко использует энергию именно этих природных горючих веществ. В результате современная мировая экономика во многом зависит от использования ископаемого топлива.

Весь комплекс энергоресурсов, расположенных на определенной территории, объединяется понятием *местные топливно-энергетические ресурсы*.

Современные страны по-разному обеспечены топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР). Следовательно, различные страны имеют разный уровень проблем своего энергосбережения. Поэтому в настоящее время различают страны с высоким уровнем обеспеченности высококалорийными видами ископаемого топлива и с низким.

Республика Беларусь относится ко второй категории стран. Развитие топливной промышленности Республики Беларусь базируется на следующих местных видах топлива: нефть, попутный газ, торф, дрова.

Основные виды ТЭР представлены на схеме, приведенной на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Основные виды топливно-энергетических ресурсов

В Республике Беларусь, имеющей население 9,34 млн человек (2021 г.) валовое потребление энергии составляло примерно 36,46 млн т у.т. При этом для собственных энергоресурсов – 13,9 %.

Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР) включают в себя не только источники получения энергии, но и определенные энергетические ресурсы, к которым относят тепловую (чаще всего передаваемую в виде горячей воды и водяного пара) и электрическую энергию, получаемые в результате использования первичных и вторичных энергоресурсов.

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

### ***Интересно знать!***

*Согласно современным представлениям, звезды рождаются из газопылевых облаков. Такое облако, называемое «звездной колыбелью», очень большое, в десятки тысяч раз больше нашей Солнечной системы, и очень массивное, в миллионы солнечных масс.*

*Солнце, как и другие звезды, светит за счет происходящего в его недрах ядерного синтеза – слияния ядер легких элементов в ядра более тяжелых. Можно сказать, что такая «фабрика синтеза» – основа жизни звезды. Без запуска первичного этапа синтеза – слияния двух ядер в ядро гелия – звезда не начинает свой лучезарный жизненный цикл. Когда же ядерное топливо полностью выгорает, звезда или остывает, или взрывается, превращаясь в сверхновую.*

*Наше Солнце – это звезда, рожденная из протозвездной материки около пяти миллиардов лет назад и находящаяся сейчас в самом активном звездном возрасте. Если считать, что желтые карлики, к которым относится Солнце, живут в среднем 10–12 миллиардов лет, то, по аналогии с человеческим веком, ему сейчас не больше 35 лет.*

### ***Закрепим изученное!***

1 Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР) – это совокупность природных и произведенных энергоносителей, энергия которых может преобразовываться в полезные виды энергии: тепловую, механическую и световую.

2 Три источника энергии на Земле: кинетическая энергия вращения; энергия земных недр; солнечная энергия.

3 Фотосинтез – главный энергоуправляющий механизм на Земле, благодаря которому при соединении воды с углекислым газом под воздействием солнечного излучения получают углеводороды. В результате некоторая часть солнечной энергии «законсервирована» в природных горючих ископаемых.

4 Различают невозобновляемые и возобновляемые энергетические ресурсы.

К невозобновляемым энергоресурсам относятся прежде всего широко используемые природные горючие ископаемые: уголь, нефть, газ.

К возобновляемым энергоресурсам главным образом относят такие энергоисточники, как ветер, движущаяся вода, солнце, а также биотопливо (дрова, древесная щепа, солома и прочее растительного происхождения).

#### 4 НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Основным источником энергии на современном этапе служит органическое топливо.

*Из статистического доклада ООН в 2021 г.*

Рассмотрим невозобновляемые ресурсы, начало образования которых уходит в прошлое на десятки миллионов лет. В настоящее время человечество широко использует энергию именно этих природных горючих веществ. Это уголь, нефть, газ и прочие виды ископаемого топлива.

По данным Мирового энергетического агентства за период с 1971 года по 2020 год (50 лет) общее энергопотребление возросло в 2,5 раза (рисунок 4.1).

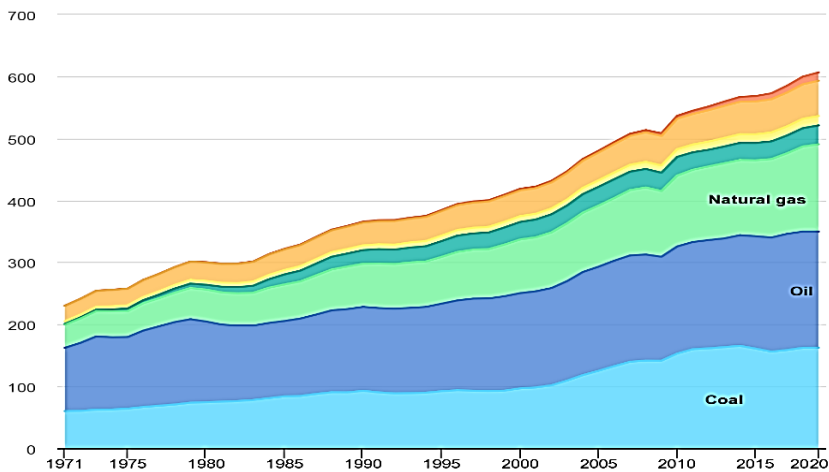


Рисунок 4.1 – Общее мировое энергопотребление по источникам, 1971–2020 гг.

При этом в течение всего этого периода для природных горючих ископаемых в общемировом энергопотреблении составляло более 80 % (1971 г. – 88,5 %, 2020 г. – 81 %).

Если вернуться к выдвинутым в 1970-х годах прогнозам энергетического снабжения, то доля нефти и газа снизится до 20 % к 2020 году, будут только зеленые источники энергии. В 2000-х годах основой энергетической безопасности будет только зеленая энергетика. В Европе даже вводили квоты и

требования по доле местных источников энергии в энергетическом балансе государств. Особенно это касалось стран Восточной Европы, которые ранее широко пользовались дешевым газом и нефтью Российской Федерации. Европейцы активно продвигали свои ветрогенераторы, специализированные на древесном топливе котлы, комбайны для уборки «урожая» быстрорастущих видов древесины и др. Однако многие пути оказались тупиковыми, замороженными либо используются фрагментарно.

Как показала действительность, государства в настоящее время не могут обойтись без нефти, газа и даже угля. Мир по-прежнему держится, как в середине XX века, на нефти, газе и угле. В Германии в 2022 году возобновлена работа 17 угольных тепловых электростанций, хотя известно, что уголь наносит наибольший вред окружающей среде по сравнению с нефтепродуктами и природным газом.

Вмешательство политики в торгово-экономические отношения между странами Европейского союза и Российской Федерацией привело к повышению стоимости 1 тыс. м<sup>3</sup> природного газа на международной бирже до 2240 долларов США (26 июля 2022 года). Для Беларуси стоимость 1 тыс. м<sup>3</sup> газа из Российской Федерации составляет 128 долларов в 2022 и 2023 гг.).

Если ориентироваться на геологические запасы, то территориальное распределение горючих ископаемых топлив является крайне неравномерным. Так, по запасам угля (кстати, в настоящее время его доля в структуре ископаемых топлив составляет более третьей части), лидируют США, Российская Федерация и Китай; по нефти – Саудовская Аравия, Ирак и Иран; природного газа – Российская Федерация, Ирак и Катар. К сведению: в Беларуси ежегодно добывается около 1,5 млн тонн нефти, залежи угля и природного газа не обнаружены.

Прогнозные исследования показывают, что из-за ограниченности ресурсов энергетику на органическом топливе нельзя отнести к крупномасштабному источнику. Ресурсы органического топлива позволяют покрыть потребности в энергии на ближней фазе развития и затем обеспечить плавный «безболезненный» переход к другим, нетрадиционным источникам, способным удовлетворить потребности в энергии на отдаленной фазе развития человеческого общества.

#### **4.1 Традиционные органические топлива**

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

ные) и искусственные виды топлив.

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

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

Все виды органического топлива (горючие) представляют собой углеводородные соединения, в которые входят также небольшие количества других веществ (сера, азот, кислород, фосфор и др.).

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

Твердые виды топлива используются в основном для получения теплоты и электрической энергии, для отопления и горячего водоснабжения, а также (в незначительной степени) для судовых и локомотивных двигателей.

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

Ископаемым жидким топливом является сырая нефть – горючий минерал, который встречается в осадочных породах Земли. Если вода послужила источником жизни на Земле, то о нефти можно сказать, что она стала основным источником «жизни» техники XX века.

Первым целевым продуктом, выработанным из нефти, стал керосин, который использовался для целей освещения. В качестве источника энергии значение нефти человечество поняло в начале XX века, когда широко стали применять нефть и нефтепродукты для работы паровых машин и двигателей внутреннего сгорания.

Состав нефти представляет собой сложную смесь многих сотен различных углеводородов и соединений, содержащих помимо углерода и водорода разные количества серы, азота, кислорода и металлов. По внешнему виду нефть – маслянистая жидкость от темного до светлого цвета в зависимости от содержания в ней смолистых веществ. Она легче воды, практически не растворима в ней, ее относительная плотность обычно от 0,80 до 0,92. Вязкость нефти значительно выше, чем воды. Температура кипения составляющих нефть разных углеводородов и фракций изменяется от 40–50 до 500–600 °С. Свое название нефть получила от персидского слова «нафата», что означает «просачивающаяся, вытекающая».



Появление нефти на Земле [8] до сих пор остается темой непрекращающихся научных дискуссий (в основном двух взаимоисключающих гипотез – ее органического и неорганического происхождения). Согласно *гипотезе неорганического происхождения нефти* (абиогенная гипотеза) углеводороды образовались в результате превращения неорганических соединений. Еще в 1805 г. немецкий ученый А. Гумбольдт утверждал, что нефть происходит из примитивных горных пород, под которыми покоится энергия всех вулканических явлений. В 1876 г. французский химик М. Бертло́, искусственно синтезировав углеводороды из неорганических веществ, высказал предположение, что нефть образовалась в недрах Земли из минеральных соединений. В 1876 г. русский ученый Д. И. Менделеев изложил свою «карбидную» гипотезу образования нефти, согласно которой вода, просачиваясь в недра Земли и взаимодействуя с карбидами металлов, в частности железа, под воздействием высоких температур и давления образует углеводороды и соответствующие оксиды металлов. Подтверждением абиогенной теории служили опыты по получению водорода и ненасыщенных углеводородов при взаимодействии серной кислоты ( $H_2SO_4$ ) на чугу́н, содержащий значительные количества углерода. В 1878 г. французские ученые, обрабатывая соляной кислотой (HCl) зеркальный чугу́н и водяными парами железо при белом калении, получили водород и углеводороды, которые даже по запаху напоминали нефть.

Сущность *органической гипотезы происхождения нефти* заключается в том, что нефть и газ появились из органического вещества, которое первоначально было в рассеянном состоянии в осадочных породах. Предполагается, что таким органическим веществом были отмершие остатки микрофлоры и микрофауны (планктон и др.), развивавшиеся в морской воде, к которым примешивались остатки животного и растительного мира. Основные процессы преобразования погребенного в осадочных породах органического вещества происходили после погружения на значительные глубины, где под воздействием высоких температур и давлений, а также из-за каталитического действия горных пород органическое вещество превращалось в углеводороды нефти. На это потребовалось сотни (около 570) миллионов лет, что, однако, составляет всего около 10 % истории Земли. Еще в 1888 г. немецкие ученые Г. Гефер и К. Энглер получили предельные углеводороды, парафин и смазочные масла при перегонке рыбьего жира при температуре 400 °С и давления порядка 1 МПа. В 1919 г. русский ученый академик Н. Д. Зелинский при переработке органического ила растительного происхождения (сапропель из озера Балхаш) получил бензин, керосин, тяжелые масла, а также метан. Академик И. М. Губкин в своей книге «Учение о нефти» (1932 г.) в качестве исходного вещества для образования нефти также рассматривал сапропель – битуминозный ил растительно-животного происхождения. Пласты, обогащенные органическими остатками, перекрываются более молодыми отложениями, предохраняющими ил от окисления кислородом воздуха

с последующим его превращением под воздействием анаэробных бактерий. В пласте по мере тектонических перемещений его в глубину возрастают температура и давление, что приводит к преобразованию органики в нефть. Взгляды И. М. Губкина на образование нефти лежат в основе современной гипотезы ее биогенного происхождения, согласно которой процесс формирования нефтяных месторождений включает в качестве основных стадии осадконакопления и преобразования органических остатков в нефть.

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

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

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

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

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

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

Газы обладают многими достоинствами как горючее для двигателей внутреннего сгорания (ДВС): высокими антидетонационными свойствами, широкими пределами воспламенения (по избытку воздуха), хорошими условиями смесеобразования, приводит к меньшему, чем в ДВС на жидком горючем, износу, снижают требования к качеству горючих материалов и т. п. Однако все горючие газы имеют высокую температуру самовоспламенения и поэтому нуждаются в постороннем источнике зажигания. В Беларуси, кстати, ежегодно получают около 200 тыс. т у.т. попутного газа.

## 4.2 Теплота сгорания топлива

Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР) разных видов имеют различные качественные характеристики: теплота сгорания, сернистость, зольность, влажность и др. Важнейшей характеристикой является теплота сгорания. Этот показатель характеризует энергетическую ценность топлива.

*Количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании 1 кг твердого или жидкого топлива или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива, называют **теплотой сгорания топлива** или **теплотворной способностью топлива**. При этом 1 м<sup>3</sup> для газообразного топлива взят при нормальных условиях (0 °С и 760 мм рт. ст.). Теплоту сгорания обозначают  $Q$  и измеряют в кДж/кг или в кДж/м<sup>3</sup>.*

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

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

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

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

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

Низшей теплотой сгорания рабочего топлива  $Q_n^p$  называют теплоту, выделяемую при полном сгорании 1 кг топлива, за вычетом теплоты, затраченной на испарение как влаги, содержащейся в топливе, так и влаги, образующейся от сгорания водорода. Именно  $Q_n^p$  имеет практическое значение при использовании углеводородного топлива в тепловых машинах.

Теплоту сгорания рабочего топлива определяют в основном двумя методами:

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

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

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

Чаще всего теплоту сгорания топлива определяют по формулам, учитывающим, что углерод С, водород Н и сера S, участвующие в горении, выде-

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

$$Q_n^p = 338C^p + 1249H^p - 108,5(O^p - S_n^p). \quad (4.1)$$

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

$$Q_n^p = 338C^p + 1025H^p - 108,5(O^p - S_n^p) - 25W^p, \quad (4.2)$$

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

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

$$Q_n^c = 127CO_2 + 108H_2 + 358CH_4 + 591C_2H_6 + 911C_3H_8 + 234H_2S. \quad (4.3)$$

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

Теплота сгорания для различных видов топлива представлена ниже [12]:

- сырая нефть – 43000 кДж/кг (10260 ккал/кг);
- природный газ – 35000–37000 кДж/м<sup>3</sup> (8350–8830 ккал/м<sup>3</sup>);
- каменный уголь – 25000–28000 кДж/кг (5970–6680 ккал/кг);
- бурый уголь – 12000–15000 кДж/кг (2860–3560 ккал/кг);
- сланцы – 10000–12000 кДж/кг (2390–2860 ккал/кг);
- торф – 6000–10000 кДж/кг (1430–2400 ккал/кг);
- мазут – 38000–40000 кДж/кг;
- бензин – 45000 кДж/кг;
- дизельное топливо – 42500 кДж/кг;
- газовый конденсат – 35000 кДж/кг.

Для сопоставления энергетической ценности различных видов топлива и их суммарного учета введено понятие *условного топлива*.

### 4.3 Условное топливо

Введение понятия условного топлива позволяет сопоставить энергетические затраты различных предприятий, уточняя, какое количество тех или иных видов топлива сжигается в этих предприятиях. Этот способ применим и для перевода тепловой и электрической энергии в условное топливо. Экономии энергии также удобно представлять в тоннах условного топлива (в этом случае принято записывать т у.т.).

*Условное топливо* – условно-натуральная единица измерения количества топлива, применяемая для соизмерения топлива разных видов, теплота сгорания которого принята 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг).

Относительная ценность различных видов топлива рассматривается в сравнении с условным топливом с помощью топливных эквивалентов – калорийного и технического.

*Калорийный топливный эквивалент*  $\mathcal{E}_к$  – это отношение низшей теплоты сгорания рабочей массы реального топлива, выраженный в МДж/кг, к теплоте сгорания условного топлива, равной 29,3 МДж/кг. Определяется калорийный эквивалент по формуле

$$\mathcal{E}_к = Q_n^p / 29,3, \quad (4.4)$$

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

Калорийный топливный эквивалент применяют при планировании расхода топлива и в отчетности. Для топочного мазута он составляет 1,37, для дизельного топлива – 1,45, торфа в брикетах – 0,6, древесных обрезков, стружек и опилок – 0,36. Калорийный эквивалент не учитывает экономичности теплоиспользующих установок, которая оценивается коэффициентом использования теплоты  $\eta_t$ , различным для разных типов и марок оборудования.

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

$$\mathcal{E}_т = Q_n^p \eta_t / 29,3 = \mathcal{E}_к \eta_t. \quad (4.5)$$

Здесь  $\eta_t$  – КПД топливосжигающей установки.

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

Другой универсальной мерой потребления топлива и энергии является *нефтяной эквивалент*. Это понятие чаще встречается в зарубежной литературе. Различные марки нефти имеют различный химический состав, а следовательно, и различную теплоту сгорания, что во многом определяет их цену на мировых рынках энергоносителей. *Под нефтяным эквивалентом понимается топливо, которое имеет теплоту сгорания, равную 41900 кДж/кг (10000 ккал/кг).*

Перевод условного топлива в топливо в нефтяном эквиваленте осуществляется по формуле

$$\mathcal{E}_н = \mathcal{E}_к \frac{41900}{29300}. \quad (4.6)$$

Приведение всех видов топлива к условному или к нефтяному эквиваленту дает возможность сопоставлять технико-экономические показатели работы топливопотребляющих установок, использующие различные виды топлива. Кроме того, это дает возможность сопоставлять запасы и добычу различных видов топлива с учетом их энергетической ценности.

В мировой практике для измерения объема добычи или объема при продаже нефти широко используется такое понятие, как баррель (англ. *barrel* – бочка). Баррель равен 195,7 кг у.т. или 137 кг н.э.

#### 4.4 Горение углеводородного топлива

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

*Горение твердого топлива* состоит из ряда последовательных стадий. Сначала необходим подогрев твердого топлива до температуры, при которой начинается испарение влаги. Затем при температурах от 150–170 °С (бурые угли) до 400 °С (антрацит) происходит термическое разложение топлива с выходом летучих горючих веществ, вблизи поверхности твердого остатка, способствующее его прогреву и воспламенению. Время горения летучих веществ обычно составляет незначительную часть общего времени горения топлива. Основной стадией является горение коксового остатка (углерода). Продукты сгорания диффундируют в окружающее пространство, и наступает последняя стадия – образование шлака. Зола топлива переправляется и преобразуется, поглощая некоторую часть теплоты, уменьшая горючую часть, а в ряде случаев затрудняя доступ окислителя к коксу. При температурах горения, превышающих температуру плавления шлаком, ухудшается доступ кислорода. При пористой структуре кокса горение происходит не только на поверхности, но и в объеме частицы. Чем больше пористость, тем большая масса одновременно участвует в химической реакции окисления и тем быстрее идет процесс горения.

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

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

#### 4.5 Расход воздуха на горение

Данные для такого расчета могут быть получены в результате анализа элементарных реакций горения горючих элементов, содержащихся в топливе [5]. Горение топлива может быть полным или неполным. *Полное горение* происходит при достаточном количестве окислителя и завершается полным окислением горючих элементов топлива. Продукты сгорания при этом со-

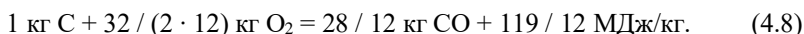
стоят из  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . При недостаточном количестве окислителя происходит *неполное сгорание* углерода с образованием окиси углерода (угарного газа)  $\text{CO}$ .

Горение углерода с образованием углекислого газа можно представить уравнением



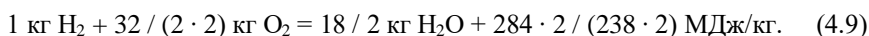
Следовательно, на 1 кг углерода приходится 2,667 кг, или 1,878 м<sup>3</sup>, кислорода (при нормальных условиях  $\rho_{\text{O}_2} = 1,429 \text{ кг/м}^3$ ) и 3,667 кг, или 1,855 м<sup>3</sup> (при нормальных условиях  $\rho_{\text{CO}_2} = 1,977 \text{ кг/м}^3$ ), диоксида углерода (углекислого газа)  $\text{CO}_2$ .

Горение углерода с образованием оксида углерода  $\text{CO}$ :



В этом случае (при недостатке кислорода) на 1 кг углерода приходится 1,333 кг, или 0,933 м<sup>3</sup>, кислорода и 2,333 кг, или 1,866 м<sup>3</sup>, оксида углерода  $\text{CO}$ . В результате почти в 3,4 раза меньше выделяется теплоты.

Горение водорода с образованием водяных паров:



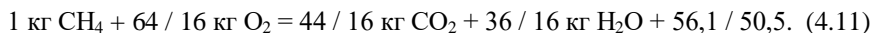
В этом уравнении тепловой эффект реакции, показанный в числителе (последнее слагаемое в уравнении), учитывает теплоту конденсации водяных паров, образующихся при сжигании водорода и охлаждении конденсата до 0 °С. В знаменателе этого слагаемого приведен тепловой эффект реакции при отсутствии конденсации паров воды. Здесь на 1 кг водорода приходится 8 кг, или 5,598 м<sup>3</sup>, кислорода и 9 кг, или 11,12 м<sup>3</sup>, водяного пара, приведенных к нормальным условиям.

Горение серы с образованием сернистого ангидрида:



Следовательно, на 1 кг серы приходится 1 кг, или 0,699 м<sup>3</sup>, кислорода и 2 кг, или 0,684 м<sup>3</sup>, сернистого ангидрида.

Горение метана  $\text{CH}_4$  с образованием диоксида углерода и водяных паров можно представить уравнением



На 1 кг метана приходится 4 кг, или 2,799 м<sup>3</sup>, кислорода, 2,75 кг, или 1,39 м<sup>3</sup>, диоксида углерода и 2,25 кг, или 2,798 м<sup>3</sup>, водяного пара, приведенных к нормальным условиям.

На основе указанных соотношений теоретически необходимое (стехиометрическое) количество кислорода для полного сгорания 1 кг твердого или жидкого топлива

$$M_{O_2} = \left( \frac{8}{3C^p} + 8H^p + S_n^p - O^p \right) / 100. \quad (4.12)$$

Так как горение происходит за счет кислорода атмосферного воздуха, необходимо знать процентное содержание кислорода в воздухе. Для технических расчетов принимают следующий состав сухого воздуха: объемная доля кислорода  $O_2 - 21 \%$ , или массовая доля  $O_2 - 23,2 \%$ ; объемная доля азота  $N_2 - 79 \%$ , или массовая доля  $N_2 - 76,8 \%$ . Тогда количество сухого воздуха, кг/кг, теоретически необходимого для полного сгорания 1 кг твердого или жидкого топлива,

$$M_{O_2} = \left( \frac{8}{3C^p} + 8H^p + S_n^p - O^p \right) / 100 \cdot 0,232. \quad (4.13)$$

Разделив уравнение (4.13) на плотность воздуха ( $\rho_{в} = 1,293 \text{ кг/м}^3$  при нормальных физических условиях), получим теоретический (стехиометрический) объемный расход воздуха при сгорании твердого или жидкого топлива:

$$V_{в3}^o = 0,0899(C^p + 0,375S_n^p) + 0,265H^p - 0,0333O^p. \quad (4.14)$$

Например, для 1 кг дизельного топлива теоретически необходимое количество воздуха составляет около 14,5 кг, или 11,2 м<sup>3</sup>, для бензина – почти 15 кг/кг, или 11,6 м<sup>3</sup>/кг, для экибастузского угля марки СС  $M_{в3}^o = 9,7 \text{ кг/кг}$ , или  $V_{в3}^o = 7,5 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

При сжигании 1 м<sup>3</sup> сухого газа стехиометрический объемный расход воздуха

$$V_{в3}^o = 0,0478 \left[ 0,5H_2 + 0,5CO + 2CH_4 + 1,5H_2S + \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right]. \quad (4.15)$$

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

Избыток воздуха характеризуется так называемым *коэффициентом избытка* (иногда называют *коэффициентом расхода*) *воздуха*. Он зависит от способа сжигания топлива, качества смесеобразования топлива с воздухом и ряда других факторов.

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

$$\alpha_T = \frac{V_{в3}^д}{V_{в3}^o}. \quad (4.16)$$

Потеря кислорода вследствие сгорания топлива становится весьма ощутимой, если учесть мощность тепловых машин, а значит, потребление топлива. Так, при эксплуатации широко известных автомобилей с дизельным двигателем (мощность 115 л. с., или 85 кВт) «Фольксваген Поло», «Фолькс-



ваген Пассат», «Ауди А4», «Форд Гелакси» за 1 час потребляется до 260 кг, или 200 м<sup>3</sup>, воздуха. При эксплуатации магистральных тепловозов серий 2ТЭ10У и 2ТЭ10М (составляющих большинство локомотивов на Белорусской железной дороге) мощностью 6000 л. с., или 4400 кВт, при работе на полной мощности всего 15 мин затрачивается воздуха на сгорание топлива около 4000 м<sup>3</sup>. При работе Лукомльской ГРЭС в Витебской области мощностью 2890 МВт ежедневно потребляется около 260 млн м<sup>3</sup> воздуха. Для сравнения отметим, что потребность человека в кислороде примерно 500 л/сут, или в атмосферном воздухе около 2,5 м<sup>3</sup>/сут. Как известно, основным производителем кислорода является растительный мир. При этом 1 га смешанного леса выделяет в атмосферный воздух около 20 м<sup>3</sup> кислорода в день. В Беларуси лесами покрыта территория, площадь которой более 6,5 млн га (около 40 % территории).

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

### ***Интересно знать!***

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

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

*По общему антропогенному потреблению кислорода первое место занимают США, на долю которых приходится более четверти мирового расхода. Они же лидируют по антропогенному потреблению кислорода на душу населения – 20 тонн в год. Следом идут Канада и Российская Федерация – 18 и 12 т на человека в год. Большие российские расходы связаны с высокой энергоемкостью внутреннего валового продукта, а также с холодным климатом. Абсолютный минимум – полтонны кислорода на человека – при-*

ходится на африканские страны. Там тепло, очень низкая плотность промышленности и нет особой необходимости жечь природное топливо.

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

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

#### 4.6 Нетрадиционные природные топлива

В начале XXI века США приняли доктрину, по которой они должны обеспечить производство энергоносителей для своих потребителей на своей территории (до этого США были главным мировым импортером природного углеводородного топлива). Дело в том, что средствами массовой информации США была запущена так называемая «сланцевая революция». США перестали импортировать природный газ, и в последние годы они усиленно удерживают первое-второе место в мире (сравнились с Российской Федерацией) по объемам добычи природного газа. Стремительно нарастает в этой стране и добыча нефти.

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

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

Вначале (с 1981 г.) стали бурить обычные вертикальные скважины, но в течение почти 18 лет ничего не получалось. Однако инженер Д. Митчелл применил новую технологию – горизонтальные скважины с гидроразрывом пласта. Для этого под землю закачивалась под давлением смесь воды, песка и разных химикатов, и газ выдавливался из пласта.

Дело имело успех, и через два года было фактически положено начало «сланцевой революции». Запасы сланца на планете огромны, а новые технологии сделали его добычу выгодной.

США из покупателя газа стремительно превращается в его продавца. Америка благодаря бурному развитию технологии добычи сланцевого газа становится его экспортером.

У добычи газа из сланцев, конечно, есть *недостатки*. К примеру, скважина дает максимальный объем газа только в первый год освоения, а через несколько лет иссякает. Кроме того, в скважину для разрыва пласта необходимо закачивать вредные химикаты. Однако недавно в Канаде была разработана новая технология добычи сланцевого газа, которая более эффективна в плане экономики и снимает многие ограничения в экологическом аспекте.

**Сланцевая нефть.** Она вырабатывается из твердых полезных ископаемых органического происхождения («горючих сланцев»), которые образовались миллионы лет назад из остатков растений и животных. Это вещество очень перспективно не только для производства топлива, но и в нефтехимической промышленности. Многие страны – импортеры нефти, образно говоря, вытянули выигрышный сланцевый билет: на их территории были обнаружены крупные месторождения горючих сланцев. Это США, Китай, Германия, Великобритания, Индия и Япония. Отметим также, что в ряде стран, и в первую очередь в США, сланцевые месторождения освободили от налогов, т. е. добытчики сланцевого газа стали получать весомую государственную поддержку. Это, естественно, явилось мощным стимулом для ускорения разработки соответствующих месторождений и повышения конкурентоспособности сланцевой нефти и газа на мировых рынках.

Справедливости ради следует указать, что помимо относительно высокой стоимости сланцевой нефти ее добыча сопряжена с двумя *экологическими рисками*: загрязнением подземных вод, которые во многих регионах мира являются единственным источником питьевой воды, и угрозой землетрясений магнитудой в 2–4 единицы по шкале Рихтера. Такие землетрясения наблюдались, например, в 2012 г. в Великобритании, в районах добычи сланцевых углеводородов. Как в России, так и в Европе запасы горючих сланцев расположены зачастую в густонаселенных районах и поэтому добывать их, может быть, не очень безопасно, считают аналитики.

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

Газогидраты представляют собой маленькие белые быстро тающие кристаллы; их упрощенная формула может быть представлена как  $x\text{CH}_4-y\text{H}_2\text{O}$ . Газогидраты содержат в себе большое количество углеводородного газа: так, 1 м<sup>3</sup> природного метангидрата содержит около 164 м<sup>3</sup> (116 кг) метана  $\text{CH}_4$  в газовой фазе и 0,87 м<sup>3</sup> воды.

Потенциальные запасы метана в газогидратах оцениваются величиной  $2 \cdot 10^{16} \text{ м}^3$ , в то время как разведанные запасы природного газа по состоянию на конец 2008 г. составили  $1,77 \cdot 10^{14} \text{ м}^3$ , т. е. в 2 раза больше, чем вместе взятые мировые запасы угля, нефти и обычного природного газа (таблица 4.1).

В 1974 г. советские ученые Б. П. Жижченко и А. Г. Ефремова, проводя натурные исследования дна Черного моря, обнаружили образцы газогидратов. В последующем они были найдены в Атлантическом и Тихом океанах, в Охотском и Каспийском морях, на Байкале и др. Исследования ученых различных стран, проведенные в последние два десятилетия, позволили сделать обоснованный вывод о практически повсеместном наличии крупных скоплений аквальных залежей газогидратов, из которых можно будет извлечь в промышленных масштабах метан.

*Таблица 4.1 – Содержание углерода в известных мировых запасах углеводородов*

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

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

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

#### **4.7 Водород как топливо**

Водород – самый простой и легкий из всех химических элементов – можно считать идеальным топливом. При сжигании водорода образуется вода, которую можно снова разложить на водород и кислород, причем этот процесс не вызывает никакого загрязнения окружающей среды. Водородное пламя не выделяет в атмосферу продуктов, которыми неизбежно сопровождаются горения любых других видов топлива: диоксида углерода, оксида уг-

лерода, диоксида серы, углеводов, золы и других органических примесей. Водород обладает очень высокой теплотой сгорания  $Q = 120$  МДж/кг, тогда как теплота сгорания бензина и дизельного топлива соответственно  $Q = 47$  МДж/кг и  $Q = 45$  МДж/кг. При сгорании водород выделяет значительно больше энергии, чем природный газ.

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

Несмотря на это, у водорода имеется ряд недостатков:

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

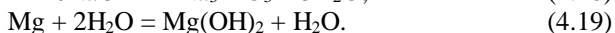
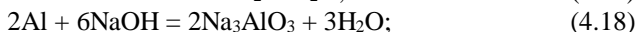
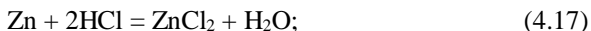
Сейчас цена 1 кг водорода значительно превышает стоимость 1 кг сжиженного газа, что делает его применение в промышленном масштабе нецелесообразным.

**Основные методы получения водорода.** Водород – синтетическое топливо. Его можно получить из угля, нефти, природного газа либо путем разложения воды. Рассмотрим подробнее методы производства водорода.

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

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

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

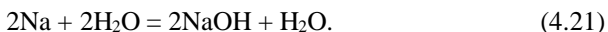


Реакция Al с NaOH применялась раньше для получения водорода в полевых условиях (для наполнения аэростатов). Так, для получения 1 м<sup>3</sup> водорода (при 0 °С и 1 атм) требуется только 0,81 кг алюминия по сравнению с 2,9 кг цинка или 2,5 кг железа.

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



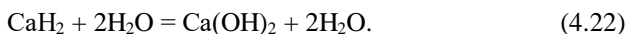
Действие натрия на воду приводит к образованию водорода:



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

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

Действие гидрида кальция CaH<sub>2</sub> на воду также дает водород:



Этот метод удобен для получения водорода в полевых условиях. Для получения 1 м<sup>3</sup> водорода теоретически необходимо 0,94 кг CaH<sub>2</sub> и кроме воды не требуется никаких других реактивов.

Для получения водорода в промышленных масштабах используются следующие технологии:

– паровая и парокислородная конверсия природного газа углеводородов нефти;

– газификация угля;

– электролиз воды и водяного пара;

– термохимическое и термоэлектрохимическое разложение воды;

– плазмохимическое разложение воды и сероводорода;

– физические методы выделения водорода из смесей.

Из таблицы 4.2 видно, что в настоящее время 96 % водорода добывается из невозобновляемых ископаемых источников, что еще более осложняет решение экологических проблем.

**Таблица 4.2 – Промышленное производство водорода**

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

Перспективные области применения водорода как топлива – это разработка легковых автомобилей и общественного транспорта. Так в Москве создан и работает на различных маршрутах гибридный водородный электробус. Такому гибриду не нужны зарядные станции, поскольку необходимую энергию он получает от водородных топливных элементов. Такой водоробус может с подзарядкой от топливных элементов пройти около 350 километров. Такой пробег и отъезда от внешней электросети делает перспективным общественный транспорт.

#### ***Вопросы и задачи для закрепления раздела 4***

- 1 Какие природные горючие ископаемые широко используются?
- 2 Какие страны являются лидерами по разведанным запасам природных топлив?
- 3 Почему природные углеводородные топлива в настоящее время широко используются?
- 4 В чем сущность происхождения природных углеводородных топлив?
- 5 Что такое теплота сгорания топлива?
- 6 В чем отличие низшей теплоты сгорания топлива от высшей теплоты сгорания?
- 7 Какие методы применяются для определения теплоты сгорания топлива?
- 8 Для чего введено понятие условного топлива?
- 9 Что понимается под нефтяным эквивалентом?
- 10 Что такое стехиометрическое количество воздуха?
- 11 От чего зависит коэффициент избытка воздуха?
- 12 Какова технология добычи сланцевого газа?
- 13 Дайте характеристику залежам газогидратов.
- 14 Почему сжигание природного газа более предпочтительно, чем сжигание нефти и угля?
- 15 Укажите достоинства и недостатки сжигания водорода.
- 16 Основные методы получения водорода.
- 17 Определите высшую и низшую теплоту сгорания мазута аналитическим методом, если известен его химический состав: углерода  $C^p = 85,4 \%$ , водорода  $H^p = 12,15 \%$ , кислорода  $O^p = 0,25 \%$ , азота  $N^p = 0,25 \%$ , серы летучей  $S_d^p = 0,8 \%$ , золы  $A^p = 1,0 \%$ , влаги  $W^p = 1,0 \%$ .
- 18 Произведите перерасчет 2 т природного газа в единицы условного топлива и нефтяного эквивалента, теплота сгорания которого 35 тыс. кДж/м<sup>3</sup>.
- 19 Определите массовый расход воздуха для бензинового ДВС на режиме потребления топлива 320 г/(кВт·ч) и коэффициенте избытка воздуха, необходимого для полного сгорания  $\alpha = 1,5$ . Мощность двигателя на режиме составляет 90 кВт, стехиометрический расход воздуха 15 кг/кг.
- 20 Определите объемный расход воздуха для дизельного ДВС на режиме потребления топлива 240 г/(кВт·ч) при мощности 400 кВт. При этом стехиометрический расход воздуха 14,5 кг/кг, а коэффициент избытка воздуха составляет  $\alpha = 2$ . Плотность воздуха принять равной  $\rho = 1,293 \text{ кг/м}^3$ .

## 5 ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Устойчивое удовлетворение растущих потребностей в различных видах топлива и энергии требует...ускоренного подъема атомной энергетики.

*Из программы СССР, 1986 год*

В марте 1896 года физик А. Беккерель на заседании Французской академии наук сделал доклад об открытии им невидимого излучения, исходящего от минералов, содержащих уран. Это явление названо *радиоактивностью*.

В феврале 1932 года английский физик Дж. Чедвик открыл новую элементарную частицу – *нейтрон*, которая при определенных условиях могла испускаться из атомного ядра.

В январе 1939 года датский ученый Н. Бор заявил о том, что при попадании нейтрона в ядро урана последний может разделиться на части с выделением энергии.

В марте 1939 года французский физик Ф. Жолио-Кьюри опубликовал заметку о том, что при делении ядер урана образуются другие свободные нейтроны, которые в свою очередь будут поражать все новые и новые цели. Таким образом, при определенном объеме (критическом) урана произойдет цепная реакция деления ядер, в результате которой всего за доли секунды из недр вещества высвободится огромная энергия, с какой человечество до сих пор никогда не сталкивалось.

В октябре 1939 года ведущие физики, нашедшие убежище от нацистов в США, среди которых Э. Ферми и А. Эйнштейн, обратились к президенту Ф. Рузвельту, желая объяснить, чем может грозить человечеству разработка атомной бомбы в Германии. В итоге в конце 1939 года в США началась работа по ядерному проекту. Здесь следует отметить, что в СССР Государственный комитет обороны (ГКО) принял 28.09.1942 г. совершенно секретное распоряжение «Об организации работ по урану». После завершения Сталинградской битвы в СССР стали форсировать исследования возможно военного применения энергии урана.

В декабре 1942 года в рамках совершенно секретного «Манхэттенского проекта» была осуществлена первая цепная реакция ядер деления урана, а 6 августа 1945 года американцами сброшена атомная бомба на японский город Хиросиму.

Открытие атомной энергии привело к созданию не только ядерного оружия, но и атомной электрической станции (АЭС). В декабре 1945 года известный советский физик, будущий нобелевский лауреат П. Капица в письме правительству СССР изложил свой взгляд на перспективы использования атомной энергии. Он писал, что «Энергетических запасов урана и тория в земной коре значительно больше, чем эквивалентных запа-



сов угля, нефти и прочих, а значит, человечеству не грозит энергетический голод». Суммарные мировые запасы урана оцениваются величинами от 5 до 11 млн т. Первое место в списке наиболее богатых ураном государств занимают Австралия, Казахстан, ЮАР. Академик Капица сравнил применение атома исключительно для военных нужд с тем, как если бы электричество использовалось не для нужд промышленности, а для создания электрического стула. Физик утверждал, что при взрыве атомной бомбы в Хиросиме лишь малая часть ядерной энергии преобразовалась во взрывную волну, а большая часть ушла в излучение.

В 1949 году советское правительство выпустило постановление о строительстве первой в мире атомной электростанции (правда, в том же 1949 году сначала была успешно испытана первая атомная бомба под Семипалатинском).

### 5.1 Общие сведения о ядерной энергии

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

*А. Эйнштейн, ученый*

При сгорании природного газа, угля, нефтепродуктов осуществляются химические реакции соединения углерода (главным образом) и водорода с кислородом воздуха. В результате образуются углекислый газ, пары воды, выделяется энергия в форме теплоты, для чего и осуществляется процесс горения. При горении в энергию превращается всего лишь одна десятиллиардная ( $10^{-10}$ ) доля массы реагирующих веществ. Выделившаяся энергия при этом составляет около двух килокалорий на грамм, хотя согласно известному соотношению Эйнштейна ( $E = mc^2$ ), энергия должна составлять в миллиарды раз больше. Перевести в энергию большую долю веществ в химических реакциях невозможно. Объясняется это тем, что в химических реакциях участвуют только молекулы, а атомы остаются целыми и не участвуют в процессе горения. А ведь именно из атома может быть извлечена энергия.

Изучение свойств атома на основе известной планетарной модели показывает, что почти всё вещество, составляющее атом, сконцентрировано в ядре атома. Вокруг ядра вращаются отрицательно заряженные электроны, образующие так называемую электронную оболочку. Взаимодействие именно электронных оболочек определяет характер химических реакций. Причем масса покоя электрона очень мала ( $m_e = 0,91 \cdot 10^{-30}$  кг). Ядро же атома состоит из двух других элементарных частиц: протонов ( $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$  кг) и нейтронов ( $m_n = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг). В атоме урана, например, содержится 92 протона, 143 нейтрона и 92 электрона. Следовательно, в ядре урана сосредоточено вещество, которое по массе значительно превышает электронную оболочку.

Содержащиеся в ядре урана-235 протоны (несут положительные электрические заряды) должны отталкиваться друг от друга, однако ядро не разваливается. Это происходит потому, что внутри него есть короткодействующие силы, которые притягивают друг к другу частицы ядра и гасят силы электрического отталкивания протонов, не давая ядру самопроизвольно распасться.

В пределах ядра составляющие его части находятся в непрерывном движении. Если же ввести в ядро некоторое избыточное количество энергии, то элементарные частицы станут двигаться быстрее и смогут преодолеть соединяющие их ядерные силы и «изнутри» взорвать, разделить ядро.

Легче всего поддаются делению тяжелые ядра. Для урана-235 величина энергии возбуждения равна всего 5 МэВ (напомним, что  $1 \text{ МэВ} \approx 4 \cdot 10^{-14} \text{ кал} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$ ). При распаде ядра урана-235 выделяется та энергия, которая была причиной образования этого элемента в процессе эволюции Вселенной. Существует концепция, согласно которой при трансформации вещества и энергии во Вселенной образование ядер элементов тяжелее железа происходит с поглощением энергии. Следовательно, значительные запасы этой энергии накоплены (скрыты) внутри атомов. Значит, нужно извлечь эту энергию и таким образом получить новый источник энергии.

## 5.2 Атомные электрические станции и Белорусская АЭС

Советские ядерщики первыми в мире создали ядерный реактор в энергетических целях. Месторасположение будущей АЭС выбрали неподалеку от лаборатории «В» (сегодня – физико-энергетический институт имени Лейпунского), расположенный в 100 км от Москвы, в Калужской области. Позднее здесь вырос город Обнинск.

В октябре 1954 года Обнинская АЭС мощностью 5 МВт была выведена на проектные нормативы. Ее энергия влилась с энергопотоком сети «Мосэнерго» и пошла на нужды потребителей. Срок эксплуатации Обнинской АЭС планировался до 30 лет. Де-факто АЭС отработала 48 лет без единой аварии. Однако в XXI веке ее эксплуатация стала экономически нецелесообразной и было принято решение вывести ее из эксплуатации. Радиоактивное топливо вывезено, реактор законсервирован. Внешне АЭС была похожа на обычный трехэтажный дом, но под землей имелось еще шесть этажей, где располагался атомный реактор. Сейчас в здании АЭС расположен музей первой в мире атомной электростанции.

В 2022 году Российская Федерация начала строить АЭС в Турции, в Египте разрабатывается проект Российской АЭС. Польша планирует построить четыре АЭС американской конструкции. Отметим, что радиоактивные отходы АЭС Российская Федерация забирает, а США нет.

В настоящее время в мире работает около 440 ядерных реакторов. Главными ядерными державами остаются США и Франция.

Для Белорусской АЭС выбран наиболее безопасный реактор ВВЭР-1000 (к сведению: на Чернобыльской АЭС были установлены ядерные реакторы другого типа – РБМК). Сегодня в мире эксплуатируется 54 энергоблока типа ВВЭР, и никаких аварий на этих блоках не происходило.

Энергоемкость урана во много раз превышает органическое топливо. Так, 1 кг низкообогащенного урана (до 4 % по урану-235), используемого в ядерном топливе, при полном расщеплении ядер урана-235 выделяет энергию, эквивалентную сжиганию 60 т мазута. В природном уране содержится только 0,71 % урана-235. Остальные 99,29 % в природном уране составляет уран-238.

Уран-235 получают из природного урана обогащением, применяя физические методы, на заводах. Такие заводы являются очень дорогими сооружениями, потребляющими огромное количество электроэнергии. Следовательно, эти заводы могут иметь только высокоиндустриальные страны. Обогащение урана сильно повышает его стоимость по сравнению со стоимостью природного урана. По данным США относительная стоимость урана изменяется в зависимости от обогащения следующим образом: уран с обогащением 2 % – 2,0; с обогащением 5 % – 5,5; с обогащением 10 % – 11,5; с обогащением 20 % – 40,0 (стоимость природного урана, содержащего 0,71 % урана-235 принята за единицу).

Тепловая мощность реактора Белорусской АЭС – 3200 МВт.

Электрическая мощность – 1200 МВт.

Габариты реактора (высота x диаметр) – 10,9 x 4,25 м.

КПД АЭС – 37 %.

Срок службы оборудования реакторной установки Белорусской АЭС – 60 лет (при превышении этого срока есть опасность снижения прочности металла реактора из-за структурных преобразований. Следовательно, это может привести к аварии).

Перегрузка ядерного топлива проводится раз в год и выполняется на остановленном реакторе. Перегрузка проходит дистанционно под защитным слоем воды. В процессе перегрузки ядерного топлива извлекаются примерно 1/3 или 1/4 часть топлива и загружается такое же количество свежего топлива.

Отработанное топливо удаляется из активной зоны в бассейн выдержки, который находится внутри гермооболочки. Эта операция выполняется с помощью специальной перегрузочной машины. Пока активность и тепловыделение отработавшего ядерного топлива высоки, они хранятся в бассейне выдержки, снижая радиоактивность. Только после выдержки в течение 3–5 лет такого хранения становится возможным его вывоз с площади АЭС.

Перевозка отработанного ядерного топлива осуществляется автомобильным и железнодорожным транспортом в специальных транспортных контейнерах.

**Аварии на АЭС.** Первая в мире крупнейшая авария на АЭС произошла на станции *Три-Майл-Айленд в США в 1979 году*. Психологический эффект, произведенный ею на население в окрестности АЭС и, как результат, на весь Запад, был просто огромен. Большой урон был нанесен самой атомной

электростанции. Однако не было жертв, облучение оказалось незначительным, так как радиоактивность (практически вся) была эффективно ограничена бетонным контейнментом станции.

26 апреля 1986 года на Чернобыльской атомной электростанции в СССР (территория нынешней Украины) произошла самая крупная и тяжелая в истории развития мировой атомной энергетики катастрофа. Чернобыльская авария на Украине имела глобальный характер: ее последствия почувствовали практически все континенты и страны. По международной шкале оценки ядерных событий (INES) взрыву на Чернобыльской АЭС была присвоена седьмая – самая высокая категория опасности.

11 марта 2011 года в результате землетрясения, и случившегося после этого цунами, в Японии из строя вышли системы охлаждения на двух крупнейших АЭС мира – «Фукусима-1» и «Фукусима-2». Наибольший ущерб был нанесен станции «Фукусима-1», на всех четырех реакторах которой произошла серия взрывов и последующие пожары. Авария привела к крупной течке радиации, в первую очередь в Тихий океан. Уровень опасности на «Фукусиме-1» был оценен в конечном итоге так же, как и авария на Чернобыльской АЭС, – в семь баллов из семи по международной шкале ядерных аварий.

Первая в Беларуси атомная электростанция расположена в Гродненской области, в г. Островце. Основным партнер Беларуси по строительству АЭС – российская компания «Атомстройэкспорт», в качестве субпоставщиков выступают белорусские производственные организации.

В январе 2008 года было подписано постановление правительства «О развитии атомной энергетики в Республике Беларусь». В соответствии с принятым решением осуществляется строительство атомной электростанции (рисунок 5.1), состоящей из двух энергоблоков с реакторами типа ВВЭР-1200 (В-491) мощностью до 1200 МВт каждый.

Проектируемая мощность АЭС составляет 2,4 тыс. МВт.



Рисунок 5.1 – Макет Белорусской АЭС в г. Островце

**Принцип действия ядерного реактора.** На рисунке 5.2 показана схема работы атомной электростанции с двухконтурным водо-водяным энергетическим реактором. Энергия, выделяемая в активной зоне реактора, передается теплоносителю первого контура. Далее теплоноситель поступает в теплообменник (парогенератор), где нагревает до кипения воду второго контура. Полученный при этом пар поступает в турбины, вращающие электрогенераторы. На выходе из турбин пар поступает в конденсатор, где охлаждается большим количеством воды, поступающим из водохранилища.

**Достоинства АЭС.** Главное преимущество – практическая независимость от источников топлива из-за небольшого объема используемого топлива.

Например, 54 тепловыделяющих сборок общей массой 41 т на один энергоблок с реактором ВВЭР-1200 работают 1–1,5 года.

Огромным преимуществом АЭС является ее относительная экологическая чистота. На ТЭС суммарные годовые выбросы вредных веществ на 1000 МВт установленной мощности составляют примерно от 13 000 т в год на газовых и до 165 000 т на пылеугольных ТЭС. Подобные выбросы на АЭС полностью отсутствуют. ТЭС мощностью 1000 МВт потребляет 8 млн т кислорода в год для окисления топлива, АЭС же не потребляет кислорода вообще. Кроме того, большой удельный (на единицу произведенной электроэнергии) выброс радиоактивных веществ дает угольная станция. В угле всегда содержатся природные радиоактивные вещества, при сжигании угля они практически полностью попадают во внешнюю среду. При этом удельная активность выбросов ТЭС в несколько раз выше, чем АЭС.

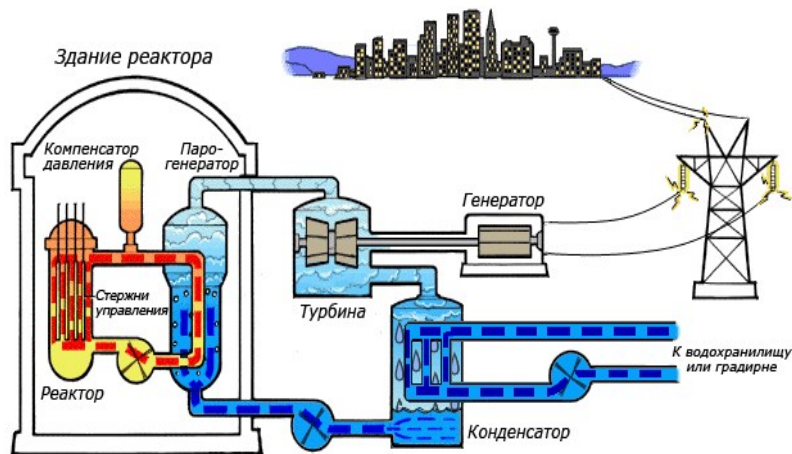


Рисунок 5.2 – Схема работы ядерного реактора ВВЭР

**Недостатки.** Единственный фактор, в котором АЭС уступают в экологическом плане традиционным КЭС, – тепловое загрязнение, вызванное большими расходами технической воды для охлаждения конденсаторов турбин, которое у АЭС несколько выше из-за более низкого КПД (не более 35 %), однако этот фактор важен для водных экосистем, а современные АЭС в основном имеют собственные, искусственно созданные водохранилища-охладители или вовсе охлаждаются градирнями.

Главный недостаток АЭС – тяжелые последствия после аварий, для исключения которых АЭС оборудуются сложнейшими системами безопасности с многократными запасами и резервированием, обеспечивающими исключение расплавления активной зоны даже в случае максимальной проектной аварии (местный полный поперечный разрыв трубопровода циркуляционного контура реактора).

Серьезной проблемой для АЭС является их ликвидация после выработки ресурса, по оценкам она может составить до 20 % от стоимости их строительства.

По ряду технических причин для АЭС крайне нежелательна работа в маневренных режимах, то есть покрытие переменной части графика электрической нагрузки.

#### **Показатели реализации проекта по строительству АЭС:**

- среднегодовой отпуск электроэнергии соответствует более 18 млрд кВт·ч, или около 40 % внутренних потребностей страны в электроэнергии;
- ежегодное замещение четверти природного газа, потребляемого в стране. Снижение выбросов парниковых газов в год – 7–10 млн т;
- в балансе электроэнергии страны будет отсутствовать импорт.

#### **Интеграция АЭС внесет следующие изменения:**

- применение электродвигателей для выработки тепловой энергии в ночные часы отопительного периода;
- организация теплоснабжения вновь вводимых жилых районов будет осуществляться за счет электрифицированного обогрева;
- организация полномасштабного перевода всех потребителей на дифференцированный по зонам суток тариф на электроэнергию;
- создание энергоемких производств, работающих в ночные часы суток (электрический железнодорожный транспорт, развитие электромобильного транспорта с аккумуляторными батареями);
- строительство тепловых комплексов в сельском хозяйстве.

### **5.3 Реакторы на быстрых нейтронах в ядерной энергетике**

В сердце ныне эксплуатируемых АЭС – ядерном реакторе – происходит процесс деления ядер урана-235. Этот радиоактивный изотоп урана испускает нейтроны, которые, врезаясь в соседние атомы, раскалывают их ядра, выбивая другие нейтроны всё в большем и большем количестве. Начинается цепная реакция деления урана, при которой выделяется энергия теплоты.

Проблема безопасности заключается в том, что цепная реакция должна быть контролируемой. Реактор не должен ни перегреваться (что неминуемо приведет к взрыву), ни слишком остывать (что приведет к неизбежной потере мощности). Для этого на АЭС используют различные способы контроля – от графитовых стержней, которые хорошо поглощают нейтроны и которые можно опускать и поднимать, до системы водяного охлаждения. Опасность взрыва и последующего многолетнего радиоактивного заражения возникает тогда, когда выходят из строя эти системы контроля.

Опыт работы АЭС продемонстрировал их хорошие экономические, технологические и экологические возможности, удобства и надежность в эксплуатации. Вопреки распространенному среди некоторой части населения недоверию к АЭС, особенно после аварий на них, можно утверждать, что они отличаются высокой степенью безопасности. Благодаря колоссальной теплотворной способности ядерного топлива (в миллионы раз больше, чем у обычного) АЭС практически не привязаны к сырьевым базам. Они уже сейчас экономически выгодны в районах, где ограничены или отсутствуют обычные энергетические ресурсы. Естественным и немаловажным представляется вопрос о ресурсах самого ядерного топлива. По оценочным данным, на всём земном шаре в месторождениях, пригодных для разработки, имеется несколько миллионов тонн урана. Учитывая, что в получивших ныне широкое распространение АЭС с реакторами на тепловых нейтронах практически лишь очень небольшая часть урана (около 1 %) может быть использована для энергии. Остальные 99 % добываемого урана должны уходить в отвал. Поэтому оказывается, что при ориентации только на реакторы на тепловых нейтронах ядерная энергетика по соотношению ресурсов не так уж много может добавить к обычной энергетике. Глобального решения надвигающейся проблемы энергетического голода не получается.

Совсем иная картина, иные перспективы появляются в случае применения АЭС с реакторами на быстрых нейтронах, в которых используется практически весь добываемый уран. Это означает, что потенциальные ресурсы ядерной энергетике с реакторами на быстрых нейтронах примерно в 10 раз выше по сравнению с традиционными (на органическом топливе).

Различие между реакторами на тепловых нейтронах и на быстрых нейтронах состоит в следующем. В реактор на тепловых нейтронах специально помещаются материалы, способствующие интенсивному замедлению нейтронов (обычная вода, тяжелая вода, графит). Деление ядер в этом реакторе вызывается сильно замедленными нейтронами, находящимися в тепловом равновесии со средой. Отсюда и название – тепловые нейтроны. В реакторе на быстрых нейтронах таких специальных замедлителей нет и деление ядер происходит при взаимодействии с ними быстрых нейтронов. В конечном счете, в силу специфики протекающей ядерной реакции, только в реакторах на быстрых нейтронах имеет место так называемое расширен-

ное воспроизводство топлива и практически всё урановое сырье может быть превращено в ядерное топливо и использовано (подробно эти ядерные процессы для разных конструкций описаны в специальной литературе). Для реакторов на тепловых нейтронах такое невозможно.

Итак, применение реакторов на быстрых нейтронах расширяет топливную базу ядерной энергетики примерно в 100 раз.

В настоящее время в Российской Федерации строится энергоблок *БРЕСТ-300-ОД* с реактором на быстрых нейтронах, использующим свинцовый теплоноситель и имеющим замкнутый цикл. Его отличие заключается в том, что вместо воды роль охладителя играет жидкий свинец. А это значит, что в случае аварии наружу вырвется не радиоактивная вода, как на Фукусиме, а свинец, который является «чистым», то есть практически не поглощает нейтроны и не набирает радиоактивность (именно поэтому свинцовые фартуки используют в качестве защиты от радиации, например, в рентгенкабинетах). Кроме того, свинец, вытекаая через отверстия, которые обычно образуются в корпусе в случае ее частичного разрушения, начнет тут же застывать и просто заткнет все отверстия своей массой.

#### 5.4 Ядерный синтез

Вышерассмотренное относится к процессу деления ядер урана-235. При ядерном синтезе происходит не распад ядер, а их слияние – ядер легких элементов ядра более тяжелых, а именно: слияние двух ядер водорода в ядро гелия. В этом случае проблема безопасности снимается. Водород – не радиоактивный элемент, гелий – тоже не радиоактивен. Следовательно, необходимо создать условия для запуска первичного этапа ядерного синтеза, а затем поддерживать начавшийся ядерный синтез. Так происходит у звезды, в том числе у нашего Солнца.

Внутри Солнца давление достигает десятка миллиардов мегапаскалей (атмосферное давление на Земле примерно 0,1 МПа). В соответствии с законами термодинамики это приводит к разогреву его недр до температуры 10 миллионов градусов и выше. При таких давлениях и температурах водород в центре Солнца представляет собой плазму, из которой и рождается новый элемент – гелий. Эта водородно-гелиевая плазма представляет собой неиссякаемый (по крайней мере в ближайшие миллиарды лет) источник солнечной энергии.

Задача человечества заключается «всего лишь» в том, чтобы создать на Земле условия для возникновения и удержания в стабильном состоянии такой водородно-гелиевой плазмы. Над этой задачей сейчас работают ученые 35 стран мира, в том числе США, Китая, России, Евросоюза, Японии, Индии и др. Работы над решением этой общечеловеческой проблемы требуют значительных капиталовложений. Но впоследствии они окупятся с лихвой.



Этот грандиозный проект ИТЭР (Международный экспериментальный термоядерный реактор) разрабатывается с середины 1980-х годов. Сооружения ИТЭР занимают 180 гектаров территории коммуны Сен-Поль-ле-Дюранс (Франция) и могут быть запущены для получения первых устойчивых «порций» плазмы уже в 2025 году, если к тому времени будет готов самый необходимый для создания и удержания плазмы элемент конструкции – сверхмощный сверхпроводящий магний. Такой сверхмощный магнит необходим для создания сверхмощного магнитного поля, чтобы смоделировать внутризвездные условия. Именно с помощью такого магнита можно превратить водород в водородную плазму и удерживать ее в вакуумной камере специальной конструкции.

Совсем недавно, в середине сентября 2021 года, ученые ИТЭР сообщили, что магнит готов уже на 75 %. Габариты этого магнита: 20 метров в высоту и 4 метра в диаметре. По утверждению его создателей он способен притянуть авианосец. Такого магнита не создавал еще никто и никогда.

В ближайшие годы мы, по-видимому, станем свидетелями первого в истории человечества управляемого термоядерного синтеза. Успешный запуск реактора будет означать, что при ядерном синтезе получим рентабельный (а в последствии и весьма выгодный) источник энергии.

Ученые утверждают, что технология управляемого ядерного синтеза является главным шансом человечества на безграничное получение «чистой» энергии, прекращающей загрязнение окружающей среды и выбросов в атмосферу, ведущих к возрастанию парникового эффекта.

### ***Вопросы и задачи для закрепления раздела 5***

- 1 Нужна ли сегодня в Беларуси атомная электростанция?
- 2 В чем энергетическое отличие ядерной реакции деления от реакции горения углеводородного топлива?
- 3 Где появилась первая АЭС?
- 4 Где произошла первая в мире авария на АЭС?
- 5 Почему именно уран-235 играет исключительную роль в ядерной энергетике?
- 6 Какие стадии уран проходит в процессе его превращения в ядерное топливо?
- 7 Укажите место расположение Белорусской АЭС.
- 8 Назовите мощность Белорусской АЭС.
- 9 Расскажите принцип действия ядерного реактора ВВЭР-1200.
- 10 Какова масса загруженного свежего топлива в энергоблок с реактором ВВЭР-1200?
- 11 Как часто осуществляется перегрузка ядерного топлива на АЭС с реактором ВВЭР-1200?

- 12 Какова энергоемкость урана по сравнению с органическим топливом?
- 13 Укажите достоинства и недостатки АЭС.
- 14 Назовите изменения, которые внесет интеграция АЭС в белорусскую энергосистему.
- 15 В чем главное отличие ядерного синтеза от процесса деления для урана-235?
- 16 Сколько кубометров природного газа понадобится в сутки для работы тепловой электростанции мощностью 2400 МВт (мощность БелАЭС)? Принять, что КПД ТЭС равен 40 %, теплота сгорания газового топлива 33,5 МДж/м<sup>3</sup>.
- 17 Сколько цистерн с мазутом понадобится в сутки для работы тепловой электростанции мощностью 2400 МВт (мощность БелАЭС)? Принять, что КПД ТЭС равен 40 %, тепловой эквивалент мазута-1,37, емкость цистерны 60 м<sup>3</sup>, плотность мазута 950 кг/м<sup>3</sup>.
- 18 На сколько меньше в сутки валовые выбросы углекислого газа Белорусской АЭС по сравнению с тепловой электростанцией той же мощности, сжигающей природный газ и имеющей выбросы CO<sub>2</sub> примерно 56 г/МДж?

## **6 ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ПЕРСПЕКТИВА ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БЕЛАРУСИ**

Возобновляемые источники энергии должны использоваться всюду, где это технически возможно и экономически оправдано.

*В. А. Легасов, ученый*

Мировое сообщество уже давно осознало ограниченность мировых запасов ископаемого топлива и отрицательное воздействие его использования в энергетике на экологию. Однако уменьшение потребления энергии, особенно электрической, в современном государстве приводит к снижению размера валового национального дохода, следовательно, ослаблению экономической и политической независимости страны.

По всему миру человечество ищет и постепенно находит частичную замену ископаемому топливу, которое, как известно, начало образовываться миллионы лет назад и считается невозобновляемым энергетическим ресурсом. Внедряются программы перехода на экологически чистые и возобновляемые источники энергии.

Но перед **альтернативной энергетикой** возникает ряд проблем.

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

2 *Нестабильность ВИЭ*. На ветряных электростанциях выработка зависит от ветра, который постоянно меняет скорость или вообще затихает. Солнечные электростанции неэффективно работают в пасмурную погоду и вообще не работают ночью. Решить проблему может только строительство огромных хранилищ энергии для аккумуляирования резерва энергии на случай низкой выработки. Однако это сильно удорожает всю систему.

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

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

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

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

Однако если в масштабах мировой экономики ВИЭ и не дают большой выгоды, то в рамках отдельных потребителей энергии они могут быть предпочтительнее невозобновляемых энергоресурсов [9].

Планируется, что в 2025 году установленная электрическая мощность возобновляемых источников энергии составит около 700 МВт. Удельный вес производства первичной энергии из ВИЭ к валовому потреблению ТЭР достигнет уровня 7–8 %. Электроэнергия от ВИЭ по-прежнему дорогостоящая. Кроме того, в Беларуси имеется потенциал увеличения местных видов топлива. Лесистость Беларуси превышает 43 %. Торфа в 2021 году в стране добыто более 1,6 млн т, что составило около 10 % мировой добычи и обеспечило Беларусь третью позицию в мировом рейтинге по данным показателям.

***Возобновляемые источники энергии*** – это источники энергии, запасы которых восполняются естественным образом. К возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) относятся: реки (гидроэнергетика), морские приливы и отливы, термальные воды Земли (геотермальная энергия), Солнце (непосредственно энергия солнечного излучения или энергия ветра, морских волн, тепловая энергия морей и океанов, биомасса). Перечисленные возобновляемые источники энергии, как утверждал академик В. А. Легасов, должны ис-

пользоваться всюду, где это технически возможно и экономически оправдано. Но их роль в топливно-энергетическом балансе не выходит за пределы добавочных вспомогательных ресурсов местного значения, и они не могут выступать в будущем в качестве крупномасштабного источника.

## 6.1 Энергия биомассы

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

В обобщенном виде эту реакцию можно представить как  $n\text{CO}_2 + n\text{H}_2\text{O} +$  + солнечная радиация =  $n\text{O}_2 + (\text{CH}_2\text{O})n$ .

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

Биомасса характеризуется способностью к возобновлению, низкой ценой, небольшим объемом выбросов, исключением повышения содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере, но в то же время и неэкономичностью транспортировки на большие расстояния и сильной тенденцией образования нагара и шлака при сжигании.

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

Выбросы углекислого газа  $\text{CO}_2$  в этом случае считают равными нулю, поскольку  $\text{CO}_2$ , поступивший в воздух при горении, ранее был потреблен из атмосферы в процессе роста растений, а при сжигании возвращается в атмосферу (образуется замкнутый круговорот, не ведущий к росту концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере).

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

Внимание, уделяемое в последние годы биомассе, связано как с постоянно растущим дефицитом ископаемых топлив (угля, нефти, природного газа), так и с поисками им замены. О том, что биомасса обладает достаточным энергетическим потенциалом, говорит хотя бы такой факт: только в континентальных лесах ее накапливается ежегодно до 70 млрд т. По энерго-содержанию это значительно превышает современное потребление энергии в мире.

С энергетической проблемой тесно связана проблема экологическая. Интенсификация промышленного и сельскохозяйственного производства, а также дальнейшая урбанизация неизбежно приведут к тому, что концен-

трация разнообразных отходов в ближайшие десятилетия резко увеличится. А это значит: нужно будет принимать неотложные меры по их утилизации. Переработка отходов, т. е. биомассы, позволит в определенной степени решить и энергетическую, и экологическую проблемы.

Энергетическое использование биомассы реализуется по трем направлениям:

1 Биомасса непосредственно используется в качестве топлива путем сжигания растений, деревьев, водорослей, произрастающих в естественных условиях или быстрорастущих видов, специально выращиваемых в искусственных условиях. Этот энерготехнический метод называется **термохимическим методом** переработки биомассы.

2 Извлечение из биомассы таких энергоносителей, как биогаз или спирты. Этот энерготехнический метод называется **биохимическим методом** переработки биомассы. Биогаз в основном получают из отходов растениеводства и животноводства. Хотя он и не является высококачественным энергоносителем, но с успехом может быть использован в небольших фермерских хозяйствах. Во многих тропических странах сооружены заводы, где из растительных отходов извлекают спирт. Добавляя его в бензин, можно экономить нефть и уменьшать токсичность выхлопных газов.

Прямое сжигание растительной биомассы, будучи древнейшим источником получения энергии для человека, интенсивно используется и сейчас.

3 Прямое получение от растений жидких или твердых топлив. Такой метод называется **агрехимическим методом** переработки биомассы.

**Термохимический метод переработки биомассы.** Прямое сжигание биомассы. Простейшим методом получения полезной энергии из сухой биомассы является ее сжигание на воздухе. Теплота реакции составляет от 16 до 24 МДж/кг абсолютно сухой биомассы, в зависимости от ее типа.

Элементарный состав горючей массы древесины различных пород примерно одинаков и содержит следующие массовые доли:  $C^r = 50,9 \%$ ;  $H^r = 6,1 \%$ ;  $O^r = 41,9 \%$ ;  $N^r = 0,8 \%$ ;  $S^r = 0,3 \%$ . Низшая теплота сгорания древесины сильно зависит от ее влажности и приближенно определяется по формуле Менделеева:

$$Q_n^p = 189 \cdot (100 - A^p - 1,13W^p). \quad (6.1)$$

Высшая теплота сгорания ствольной древесины практически не зависит от вида древесины и примерно равна 9 МДж/кг.

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

Были предложены регенеративные печи, повторно использующие тепло испарившейся воды и газообразных продуктов сгорания; в этих условиях теоретически возможно сжигание материалов, насыщенных влагой. Сжигание в

соответствующих камерах сгорания может явиться одним из наиболее эффективных методов использования энергетического потенциала биомассы.

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

Два вида топлива биологического происхождения уже используются в промышленности, и методы сжигания их являются документально обоснованными: *солома*, получаемая в сельском хозяйстве, и *древесные отходы* деревообрабатывающей промышленности.

Сжигание широко используется в целях *утилизации городских и промышленных отходов*. Несмотря на существование множества проектов по использованию полученного тепла для обогрева жилых домов, в большинстве случаев это тепло не используется. Стоимость сжигания может быть неожиданно высокой, но здесь первостепенное значение имеет борьба с загрязнением окружающей среды, а для некоторых отходов сжигание является единственно приемлемым способом их утилизации.

Одним из современных видов твердого топлива являются *пеллеты*, топливные гранулы, которые активно используются в специальных пеллетных котлах для обогрева жилых зданий, объектов коммерческого и промышленного предназначения. Длина пеллеты от 10 до 30 мм.

*Пеллеты* – это гранулированный вид твердого топлива цилиндрической формы, из спрессованных отходов сельскохозяйственного производства деревообрабатывающей промышленности. Основными материалами для изготовления топливных гранул являются:

- опилки, щепа, кора, горбыль хвойных и лиственных (оптимальный вариант) пород древесины;
- торф (напомним, что лесистость Беларуси превышает 43 % территории, а добыча торфа в 2021 году в стране составила более 1,6 млн т);
- лузга подсолнечника (наиболее распространенное решение), рапс (оптимальный вариант), солома различных зерновых культур, кукуруза, шелуха, жмых и многое другое;
- древесный уголь;
- бытовые отходы.

В качестве базового связующего вещества выступает вещество растительного происхождения – лигнин, природный полимер, содержащийся практически в любом растении, способный пластифицироваться при грануляции под воздействием достаточно высокой рабочей температуры.

Теплота сгорания пеллет 15–18 МДж/кг. Для того чтобы сделать 1 т пеллет, необходимо три – пять кубов древесных отходов. Сырье уплотняется

приблизительно в три раза. Для приготовления одной тонны пеллет необходимо от 30 до 50 кВт · ч.

*Применение газогенераторов.* Газогенератор использует простой, хорошо проверенный способ преобразования твердого топлива в газообразное. В качестве исходного энергетического продукта могут использоваться: органическое топливо (бурый уголь, сланцы, торф и др.), древесные отходы, биобрикеты, сельскохозяйственные отходы (солома, растения и т. п.). При этом горючий газ, получаемый в газогенераторе, имеет несколько меньшую, по сравнению с исходной биомассой, энергию сгорания, но отличается большей универсальностью применения. На стадии газификации топливо и кислород воздуха, подаваемого в ограниченном количестве в камеру газобразования, нагреваются раскаленным реактором и вступают между собой в реакцию. В результате нее топливо разлагается на углерод, водяной пар, смолы и масла. Дальнейшая реакция между кислородом и углеродом обеспечивает температуру, достаточную для образования окиси углерода (СО) – главного горючего компонента вырабатываемого газа.

Смолы и масла разлагаются на газы, содержащие водород и некоторое количество метана. Минимальная теплота сгорания полученного газа – 4500 кДж/м<sup>3</sup>. Газогенераторы позволяют при совместной работе с серийно выпускаемыми водогрейными или паровыми котлами, воздушными теплообменниками осуществлять теплоснабжение зданий и сооружений различного назначения, получать горячую воду, пар или горячий воздух для обеспечения технологических процессов (запарка кормов, стерилизация, сушка древесины, зерна и др.).

В качестве топлива для газогенераторов могут применяться древесная щепа, кусковой торф (объем кусков от 1 до 200 см<sup>3</sup>), смесь кускового торфа с опилками или стружками в соотношении примерно 1:1 по объему. Топливом могут быть не только опилки и стружка. Хорошим топливом для газогенераторов являются отходы гидролизной переработки древесины – лигнин, сформованный в топливный брикет (кусок).

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

**Сжигание биомассы.** Разработаны способы превращения биомассы в жидкость, напоминающую тяжелую топливную нефть. Обычно такую горючую жидкость получают путем реакции биомассы с восстанавливающими газами (оксид углерода и водород) в присутствии катализатора. Например, древесину высушивают до влажности 4 %, размалывают в муку и смешивают с частью продуцированной нефти. В качестве катализатора добавляют карбонат натрия в количестве 5 % по массе. Смесь древесины, нефти, пара и катализатора подвергают первоначальному давлению 29 бар и нагревают до 300 °С в течение часа для обеспечения 99%-го превращения

древесины и выхода нефти 56 %. Состав и свойства сжиженной нефти: углерод – 76,1 %, водород – 7,3 %, кислород – 16,6 % . Плотность – 1,1 г/см<sup>3</sup>. Энергоемкость – 31,4 ГДж/т. Схематически процесс показан на рисунке 6.1. Полученная нефть рекомендована для использования в качестве бойлерного топлива.

**Биохимический метод переработки биомассы.** Выделяют два процесса переработки (разложения) биомассы в биотопливо:

- ферментация;
- анаэробное разложение.

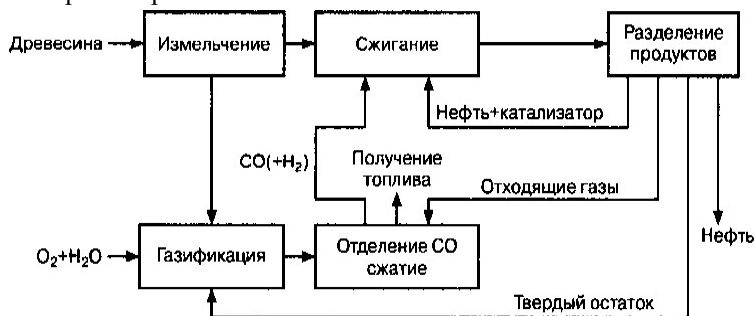


Рисунок 6.1 – Схема получения нефтяного топлива из древесины

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

В таблице 6.1 представлены некоторые виды сахаров (мономеры, олигомеры и полимеры), полученные из различных видов растений и отходов биомассы.

Таблица 6.1 – Углеводы и источники их получения

Источник	Углевод
<i>Моносахариды и олигосахариды</i>	
Сахарный тростник и сахарная свекла	Сахароза
Отходы молочной промышленности	Лактоза, галактоза
<i>Полисахариды</i>	
Древесные и пожнивные остатки	Целлюлоза, гемицеллюлоза
Городские и бумажные отходы	Целлюлоза
Кукуруза и другие зерновые	Крахмал
Картофель	Крахмал

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



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



В деятельности это сложный механизм, здесь может образовываться ряд других веществ, особенно при высоких значениях рН, как это показано в таблице 6.2.

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

Некоторые микроорганизмы могут разлагать целлюлозу. Такие реакции протекают медленно, и выход спирта является низким. Кроме спирта процессы брожения и перегонки дают остатки и смолы, которые следует удалять. Объем этих остатков в 15 раз больше объема произведенного спирта.

Таблица 6.2 – Продукты ферментации глюкозы

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

На рисунке 6.2 схематически показан типичный процесс получения топливного спирта из древесины. В литературе описано множество других вариантов с использованием иных источников углеводов, начиная от соломы и отходов бумажной промышленности, кончая городским мусором.

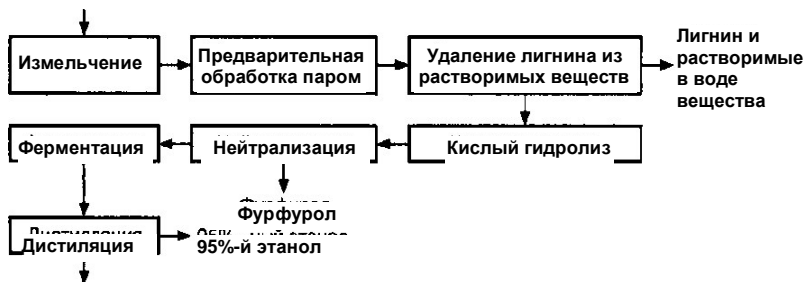


Рисунок 6.2 – Превращение древесины в спирт

**Жидкое топливо из растений.** *Алкоголь в топливных целях.* Лидером в данной энергетической отрасли является Бразилия: более половины бразильских автолюбителей ездили на безводном этаноле. Коммерческое производство этанола как вида топлива используется и в США.

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

Есть сторонники производства так называемого целлюлозного этанола – спирта, произведенного из глюкозы, образованной в результате разрушения макромолекул целлюлозы.

Сегодня зерновое земледелие доминирует во всех развитых странах, современные сорта позволяют обеспечить соотношение между зернами и тем, что остается, равное 1:1. Остатки по своей сути обладают низкой энергоемкостью, она намного ниже, чем у сельскохозяйственных культур. Остатки порой очень трудно собирать и дорого перевозить. Кроме того, разрушить в молекуле целлюлозы прочные связи между остатками молекулы глюкозы очень сложно и энергоемко. И, наконец, растительные остатки не являются бесполезными отходами. Вместе с переработанными растительными остатками возвращаются в почву химические соединения. Поступающие в почву вещества увлажняют ее и предотвращают эрозию почвы. Кроме того, в бедных густонаселенных странах до сих пор растительные остатки используются как топливо и корм для животных.

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

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

За последние годы была предложена технология удаления навоза на крупных предприятиях интенсивного животноводства; удаление стоков с предприятий, занимающихся переработкой биологических продуктов, например, переработкой продуктов питания; превращения биомассы в энергию. Эта технология – одна из наиболее простых среди технологий получения топлива из биомассы. В результате эта технология особенно пропагандировалась для использования в странах третьего мира, где устанавливается большое число реакторов.

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



В 1970-х – начале 1980-х годов в Китае были построены и введены в эксплуатацию домашние биогазовые установки.

Практика мелкомасштабной выработки биогаза была основана на применении доступного в бедных деревнях сырья: навоза, человеческих экскрементов, растительных остатков (стеблей, соломы, скошенной травы, листьев), мусора и сточных вод. Все это изолировалось в кирпичных или бетонных контейнерах (автоклавах) для дальнейшего разложения. При анаэробном разложении (в этом процессе участвуют метаногенные бактерии) вырабатывается 55–70 % метана ( $\text{CH}_4$ ) и 30–45 % углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), при этом выделяемая энергия составляет 22–26 МДж/м<sup>3</sup>.

Хотя процесс выработки биогаза на первый взгляд довольно прост, на практике тяжело управлять его протеканием. Малейшая утечка может уничтожить анаэробные условия, необходимые для метаногенных бактерий. Кроме того, низкие температуры (ниже +20 °С), некачественное сырье, неправильный процесс перемешивания, а также нехватка соответствующих субстратов могут замедлить (или вообще остановить) процесс брожения, привести к образованию нежелательных соединений углерода с азотом и высокому значению рН (высокая щелочность среды), а также нежелательному пенообразованию. Следовательно, если не управлять надлежащим образом протеканием сложных процессов анаэробного разложения, то производство биогаза может свестись к дорогостоящим технологиям по утилизации отходов, а в итоге в Китае пришлось отказаться от домашних биогазовых установок.

На рисунке 6.3 приведена схема биогазовой установки для промышленной переработки отходов животноводства.

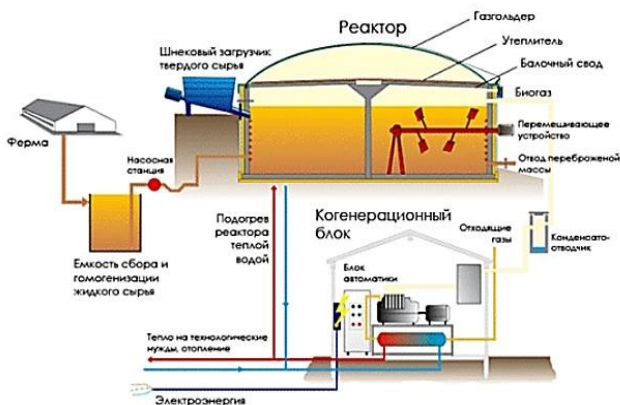


Рисунок 6.3 – Схема промышленной биогазовой установки

Современная очистная установка может быть вместимостью от 500 до 4500 м<sup>3</sup>. Крупные емкости строятся из бетона и стали. Стальные емкости покрывают изоляционным материалом, а поверхность, находящуюся в контакте с содержимым реактора, – эпоксидной смолой или аналогичным материалом. Содержимое перемешивают с помощью крыльчатки или винтового насоса, расположенных в емкости, а также путем прокачки жидкости через внешний обводной трубопровод или путем повторной циркуляции отходящих газов. Перемешивание и нагрев часто чередуются или осуществляются одновременно. Перемешивание служит в основном для предотвращения образования поверхностных корок, особенно при переработке сельскохозяйственных отходов. Нагревание необходимо потому, что при умеренной температуре окружающей среды реакция протекает слишком медленно. Нагрев до 30–45 °С одновременно обеспечивает высокую скорость реакции и в то же время позволяет избежать чрезмерных расходов.

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

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

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

Газ используется, прежде всего, для нагревания реактора до рабочей температуры. Биогаз может быть использован в силовых установках. Состав газа, выделяющегося при анаэробном разложении: метан – 20–80 %, двуокись углерода – 15–16, вода – 2–3, азот – 0,5–1, сероводород – до 1 %.

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

**Агрехимический метод переработки биомассы.** Многие растения содержат масла, а значит, жидкие энергетические продукты, которые можно

использовать как жидкое топливо для транспортных средств. Наиболее известные растения, от которых получают жидкие углеводороды (масла), это семена подсолнечника, копра кокосовых орехов (пальмовое масло), оливки, семена рапса, соевые бобы, листья эвкалипта, сок каучукового дерева.

Биотопливо не должно заменить горючее, производимое из нефти, в течение ближайших нескольких десятилетий. Некоторый интерес в настоящее время может представлять биодизельное топливо, особенно для Европы, где почти половина всех легковых автомобилей имеет дизельные двигатели.

Биотопливо на основе растительных масел для дизельных двигателей называют *биодизелем*. Нередко биодизель, или биодизельное топливо (БДТ), считают новым видом топлива, что не соответствует действительности.

Из растительных масел можно получать собственно топливо или биологические добавки к нему, при этом последние могут вырабатываться из масел более чем 50 масличных культур. К ним относятся, например, подсолнечное, рапсовое, соевое, хлопковое, льняное, пальмовое, арахисовое и другие растительные масла. По теплоте сгорания эти масла близки к дизельному топливу (таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Сравнительные свойства некоторых растительных масел

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

Анализ данных таблицы 6.3 доказывает, что физико-химические характеристики растительных масел существенно отличаются от дизельного топлива: повышенные плотность, вязкость, температура вспышки. По элементному составу растительные масла близки друг другу, а от нефтяного топлива отличаются присутствием кислорода (9,6–11,5 %). Недостатками растительных масел как топлива по сравнению с нефтепродуктами являются их меньшая теплота сгорания (на 7–10 %), более высокая вязкость (в 6 раз и более), повышенная склонность к нагарообразованию, низкая испаряемость и др. Поэтому большинство современных дизельных двигателей может работать на чистых растительных маслах непродолжительное время.

Исходя из стоимости, доступности и физико-химических характеристик, наиболее подходящим для производства БДТ является рапсовое масло. Простой и доступный способ использования рапсового масла в виде добавок – разбавление его дизельным топливом, в результате получается так называемая биодизельная смесь.

## 6.2 Гидроэнергетические ресурсы

Источником гидроэнергии является преобразованная энергия Солнца в виде запасенной потенциальной энергии воды. Примерно 23 % солнечной радиации уходит на испарение воды, выпадающей затем в виде дождя и снега. Образно говоря, Солнце действует как гигантский насос, выкачивающий воду из моря и сбрасывающий ее на сушу, с которой она снова стекает в море. Таким образом, **движение воды**, вызываемое солнечной энергией, представляет собой возобновляемый ресурс. Движущаяся вода является дешевым источником энергии. Когда вода течет или падает с определенной высоты, ее потенциальная энергия уменьшается; при этом совершается работа. Такой источник энергии выгоден тем, что он действует постоянно, не требуя топлива.

Вода была первым источником энергии, вероятно, первой машиной, в которой человек использовал энергию воды, была примитивная *водяная турбина*. Свыше 2000 лет назад горцы на Ближнем Востоке уже пользовались водяным колесом в виде вала с лопатками. Суть устройства сводилась к следующему. Поток воды, отведенный из ручья или речки, давит на лопатки, передавая им свою кинетическую энергию. Лопатки приходят в движение, а поскольку они жестко скреплены с валом, вал вращается. С ним в свою очередь скреплен мельничный жернов, который вместе с валом вращается по отношению к неподвижному нижнему жернову.

Именно так работали первые «механизированные» *мельницы для зерна*. До конца XIX века энергия вращающегося вала использовалась непосредственно, например, для размола зерна на водяных мельницах, для приведения в действие кузнечных мехов и молота. Но когда наступил золотой век электричества, произошло возрождение водяного колеса, правда, уже в другом обличье (в виде водяной турбины). Электрические генераторы, произ-

водящие энергию, необходимо было вращать, а это вполне успешно можно делать с помощью воды, благодаря многовековому опыту. Преимущества *гидроэлектростанций* очевидны:

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

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

*Максимальная мощность*, развиваемая потоком падающей воды без учета потерь напора,

$$N_T = g\rho H_T Q, \quad (6.4)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;

$\rho$  – плотность воды;

$H_T$  – теоретический напор, высота падения потока воды;

$Q$  – объемный расход потока воды.

Необходимый напор воды образуется посредством строительства плотины и, как следствие, концентрации реки в определенном месте, или деривацией – естественным током воды. В некоторых случаях для получения необходимого напора воды используют совместно и плотину, и деривацию (рисунок 6.4).

С точки зрения превращения энергии, *гидроэнергетика* – технология с очень высоким КПД, зачастую превышающем более чем в два раза КПД обычных теплоэлектростанций. Причина в том, что объем воды, падающий вертикально, несет в себе большой заряд кинетической энергии, которую можно легко преобразовать в механическую (вращательную) энергию, необходимую для производства электричества.

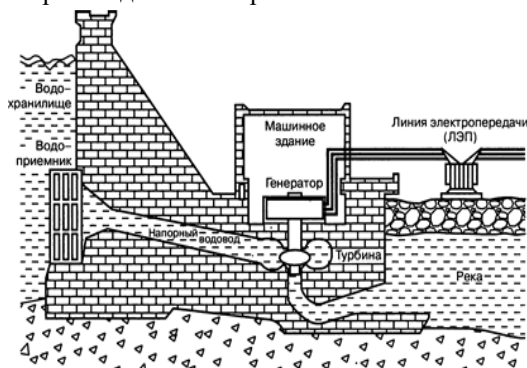


Рисунок 6.4 – Схема ГЭС

Оборудование для гидроэнергетики достаточно хорошо разработано, относительно простое и очень надежное. Поскольку никакая теплота в про-

цессе не присутствует (в отличие от процесса горения), оборудование имеет продолжительный срок службы, редко случаются сбои. Срок службы ГЭ – более 50 лет.

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

Государство Норвегия удачно географически расположена для эксплуатации ГЭС. Гидроэлектростанциями Норвегия с избытком обеспечивает электроэнергией себя и производит на экспорт. Норвегия взяла на себя обязательство полностью избавиться от автомобилей с бензиновыми и дизельными ДВС, эксплуатироваться будут только электромобили.

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

Малая энергетика позволяет каждому региону использовать собственные ресурсы. На сегодняшний день в мире эксплуатируется несколько тысяч малых гидроэлектростанций. Малые станции производят электроэнергию в тех случаях, когда уровень воды в реке достаточен для этого. Если малая гидроэлектростанция дополнена аккумуляторной системой, то существует возможность накопления полученной энергии, что помогает избежать перебоев в подаче электричества.

Анализ строительства малых ГЭС в Беларуси был проведен для притоков первого и второго порядков бассейнов рек Западная Двина, Неман, Вилия, Припять и Западный Буг. В перспективе на притоках перечисленных рек могут быть построены малые ГЭС мощностью около 50 тыс. кВт и среднегодовой выработкой электроэнергии 160 млн кВт·ч.

Наиболее значительный объем электроэнергии может быть получен при строительстве каскада ГЭС на реках Западная Двина и Неман. Эти гидроэлектростанции при относительно небольшом затоплении пойменной территории позволят получить до 800 млн кВт в год электроэнергии при установленной мощности около 240 МВт.

### 6.3 Ветроэнергетика

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

Оценка **энергии ветра** в глобальном масштабе внушительна, однако большая часть энергии сосредоточена в ветрах, дующих на заоблачных высоко-



тах, и, следовательно, недоступна для использования на поверхности суши. Устойчивые приповерхностные ветры могут быть использованы ветряками.

Скорость (сила) ветра характеризуется по шкале Бофорта и измеряется в баллах (таблица 6.4).

На суше энергию ветра не использовали так широко, как на море, хотя достоверно известно о существовании ветряных колес за тысячи лет до нашей эры. Например, в районе Александрии сохранились остатки *ветряных мельниц*, которым не меньше трех тысяч лет. В Европу первые сведения о ветряных мельницах принесли крестоносцы. Во Франции ветряные колеса впервые появились в 1105 г., в Англии – в 1143 г. В Голландии ветряки достигли наибольшего технического совершенства, где их использовали не только для помола зерна, но и для того, чтобы пилить древесину, ткать полотно, давить масло, молотить табак и пряности.

Таблица 6.4 – Градация силы ветра по шкале Бофорта

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

В начале 1970-х годов человечеству пришлось вспомнить о *ветряных двигателях*. Заставил это сделать разразившийся энергетический кризис, в результате которого взлетели вверх цены на углеводородное топливо, прежде всего нефть. Наибольший интерес к ветровой энергии как возобновляемому источнику энергии проявили Германия, США и Дания. Немцы, в частности, удачно использовали особенности климата на севере страны (побережье моря), где ветры, довольно сильные, дуют постоянно.

Как сектор энергетики, *ветроэнергетика* развивается сейчас более чем в 50 странах мира.

Прежде всего, нужно помнить, что *на скорость ветра* оказывают влияние следующие факторы.

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

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

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

*Характер земной поверхности.* Холмы или горные хребты, находящиеся на открытом ландшафте, обычно считаются превосходным местом для ветряка. На холмах скорость ветра выше по сравнению с окружающей равнинной территорией.

Целесообразность использования энергии ветра определяется его скоростью (рисунок 6.5). Средняя скорость ветра в 4 м/с характерна для большинства промышленных районов. Малая скорость ветра означает малую мощность ветрового потока. И, кроме того, в Беларуси значительное количество безветренных дней. Поэтому ВЭУ в Беларуси в основном будут работать лишь треть или половину времени.

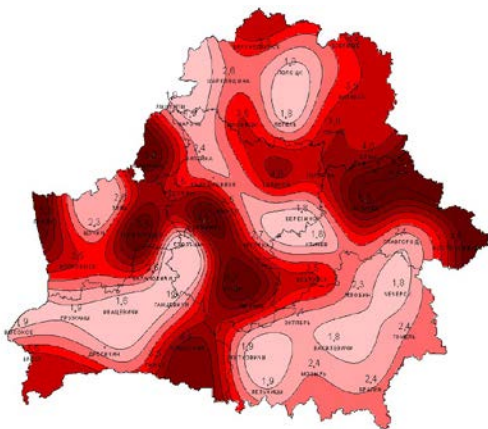


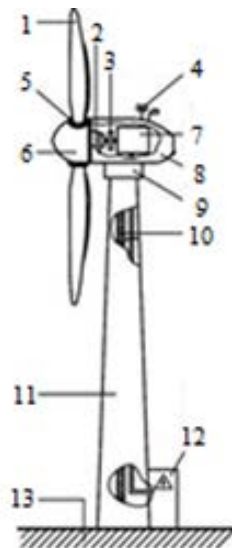
Рисунок 6.5 – Карта-схема ветроэнергетического потенциала территории Республики Беларусь на высоте установки ветротурбина 100 м от поверхности земли

Беларусь не входит в разряд зон с высоким потенциалом скоростей ветра и не обладает достаточным энергетическим потенциалом для создания мощных ветроэлектростанций.

Ветрогенерация в Беларуси не носит такого глобального масштаба как, например, в Европейском союзе. Многие страны Евросоюза омываются морями и на их территории есть горные массивы, а значит, благоприятные условия для использования энергии ветра. Тем не менее в Беларуси следует использовать это перспективное направление в энергетике. Для нашей страны целесообразнее обратить внимание на разработку и производство мини-ветроустановок, где используется не энергия больших массивов воздуха, искусственно созданные им естественные перепады атмосферного давления. Их преимущество – в сравнительно низкой стоимости, а значит, возможности разгрузить объединенную энергосистему страны за счет их использования населением на приусадебных участках, в многоквартирном жилом фонде, труднодоступной малозаселенной местности. Например, размещение систем из таких ветроустановок в чердачных помещениях или на технических этажах позволит как минимум обеспечить освещение подъездов и прилегающей к дому территории. Такие установки можно разработать и использовать не только на внутреннем рынке, но и предлагать на экспорт.

*Ветрогенератор* (ветроэлектрическая установка или ветроэлектростанция) – устройство для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую. Устройство ветроэлектрической установки в упрощенном виде представлено на рисунке 6.6.

Рисунок 6.6 – Устройство ветроэлектрической установки:  
 1 – лопасти; 2 – трансмиссия; 3 – тормозная система; 4 – система слежения за направлением и скоростью ветра (анемометр); 5 – система изменения угла атаки лопасти; 6 – колпак ротора; 7 – электрический генератор; 8 – гондола; 9 – поворотный механизм; 10 – лестница; 11 – башня; 12 – силовой шкаф, включающий силовые контакторы и цепи управления; 13 – фундамент



Основными элементами ветряной энергетической установки (СВЭУ) является: ветровое колесо, электрогенератор и система управления электрической энергией в зависимости от изменения силы ветра и скорости вращения

ветрового колеса. Система управления необходима для удовлетворения требованиям к частоте и напряжению электрической энергии. Одним из способов управления электрической ВЭУ является выпрямление переменного электрического тока ВЭУ, а затем его преобразование в переменный ток с заданными стабилизированными параметрами. Ветрогенераторы можно разделить на две категории: промышленные и домашние (для частного использования).

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

Мощность ветрового колеса можно определить по формуле

$$N_{\text{вк}} = K_{\text{м}} m_{\tau} v_{\text{в}}^2 / 2, \quad (6.5)$$

где  $K_{\text{м}}$  – коэффициент мощности, характеризующий эффективность использования энергии ветрового потока и зависящий от конструкции ветрового колеса;

$v_{\text{в}}$  – скорость ветра, м/с;

$m_{\tau}$  – массовый расход воздуха кг/с,

$$m_{\tau} = \rho \frac{\pi D_{\text{к}}^2}{4} v_{\text{в}};$$

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$D_{\text{к}}$  – диаметр колеса, м.

Мощность ветрового потока

$$N_{\text{вп}} = \frac{m_{\tau} v^2}{z} = \frac{\pi}{8} \rho v^3 D_{\text{к}}$$

Коэффициент мощности

$$K_{\text{м}} = \xi \eta_{\text{а}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{пр}}, \quad (6.6)$$

где  $\xi$  – коэффициент использования энергии ветра;

$\eta_{\text{а}}$ ,  $\eta_{\text{м}}$ ,  $\eta_{\text{пр}}$  – коэффициенты потерь соответственно аэродинамических в колесе; механических; в системе преобразования энергии после редуктора.

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

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

Важно иметь в виду, что если лопасти выполнены одинакового качества и профиля, то мощность ветродвигателя практически очень мало зависит от числа лопастей. Ведь мощность ветродвигателя, как и любого другого двигателя, определяется произведением развиваемого двигателем вращающего момента  $M$  на угловую скорость  $\omega$ . Момент, развиваемый ветродвигателем, с уменьшением числа лопастей падает, однако примерно в той же пропорции возрастает число оборотов, т. е. угловая скорость. Таким образом, произведение  $M \times \omega$  остается почти постоянным, мало зависящим от числа лопастей.

Кроме ветродвигателей крыльчатого типа, известны *карусельные, роторные и барабанные ветродвигатели*. Однако ввиду их малой эффективности и громоздкости, а также вследствие того, что они очень тихоходны, эти двигатели не нашли применения в практике.

Ветрогенераторы современного типа имеют трехлопастное ветровое колесо, направляемое на ветер с помощью специальных двигателей, управляемых компьютерами. Высота промышленного ветрогенератора – от 60 до 100 м и выше. ВЭУ оснащены системой автоматической остановки на случай слишком сильных ветров (20–25 м/с).

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

- малая автономная ветроэнергетика (с суммарной номинальной мощностью до 100 кВт на базе ВЭУ номинальной мощности 30 кВт, снабженных системами аккумулирования электроэнергии);
- автономная ветроэнергетика средней мощности (с суммарной мощностью 0,1–1 МВт на базе ВЭУ номинальной мощности 100–800 кВт, работающих параллельно с дизельными электростанциями, малыми ГЭС или в составе ветродизельных и гибридных энергетических комплексов);
- сетевая ветроэнергетика (с суммарной номинальной мощностью от 2 МВт и выше на базе ВЭУ номинальной мощности 1 МВт и более).

## 6.4 Гелиоэнергетика

Внутри Солнца происходят термоядерные реакции превращения водорода в гелий и ежесекундно 4 млрд кг материи преобразуется в энергию, излучаемую Солнцем в космическое пространство в виде электромагнитных волн различной длины. Атмосфера Земли отражает 35 % солнечной энергии обратно в космос, а остальная энергия расходуется на нагрев атмосферы земной поверхности, испарительно-осадочный цикл и образование волн в морях и океанах, воздушных и океанских течений и ветра, биосинтез.

Среднегодовое количество солнечной энергии, поступающей за 1 день на 1 м<sup>2</sup> поверхности Земли, колеблется от 7,2 МДж/м<sup>2</sup> на севере до 21,4 МДж/м<sup>2</sup> в пустынях и тропиках. Проходя через атмосферу Земли, **солнечное излучение** ослабляется вследствие отражения, рассеяния и поглощения частицами пыли и молекулами газа. Ту часть излучения, которая беспрепятственно проходит через атмосферу и попадает непосредственно на поверхность Земли, называют *прямым* солнечным излучением. Часть солнечного излучения поглощается частицами пыли и молекулами газов, а затем ими излучается и попадает на поверхность Земли, но не имеет определенного направления. Это излучение называют *рассеянным* солнечным излучением. Совокупное излучение, попадающее на поверхность Земли – это *суммарное* солнечное излучение. Использование лишь 0,01 % общего потока солнечной энергии могло бы полностью обеспечить мировые потребности в энергии. Подсчитано, что за год от Солнца на Землю поступает в 10 раз больше энергии, чем ее запасено во всех разведанных ископаемых энергоносителях.

Сегодня для преобразования солнечного излучения в полезный для нас вид энергии мы располагаем двумя возможностями: использовать солнечную энергию как источник теплоты; преобразовать непосредственно солнечную энергию в электрический ток.

**Солнечные коллекторы.** Простейшим способом утилизации солнечной энергии является использование ее для нагрева. Все знают, как нагреваются на солнце различные предметы. И чем темнее и больше шероховатая поверхность, тем больше нагрев. Именно на этом и основан принцип работы солнечного коллектора: солнечное тепло поглощается темной шероховатой поверхностью (абсорбером) и передает теплоносителю. Далее полученное тепло либо накапливается в специальном теплоаккумуляторе, либо сразу используется для нагрева.

Принципы солнечного отопления известны на протяжении тысячелетий. Люди нагревали воду при помощи Солнца до того, как ископаемое топливо заняло лидирующее место в мировой энергетике. Солнечный коллектор – наиболее известное приспособление, непосредственно использующее энергию Солнца, они были разработаны около двухсот лет назад. Можно выделить несколько основных типов солнечных коллекторов: плоские, вакуумные и концентрирующие.

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

Фронтальная часть накрывается стеклом. Солнечный свет практически беспрепятственно проходит через стекло, а вот инфракрасное излучение от нагретого абсорбера назад не проникает. Тепло «запирается» внутри кол-

лктора, работает парниковый эффект. Фронтальное стекло также в некоторой степени препятствует охлаждению коллектора за счет тепловой конвекции воздуха.

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

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

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

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

Суммарный тепловой поток, поступающий к теплоприемнику, определяется следующим уравнением теплового баланса:

$$Q = Q_{\text{погл}} - Q_{\text{пот}}, \quad (6.7)$$

где  $Q_{\text{погл}}$  – тепловой поток, поглощаемый приемником;

$Q_{\text{пот}}$  – тепловые потери приемника.

Поток солнечного излучения, поглощаемого приемником, определяется по формуле

$$Q_{\text{погл}} = D_{\text{пок}} A_{\text{пр}} FE, \quad (6.8)$$

где  $D_{\text{пок}}$  – коэффициент пропускания прозрачного покрытия, защищающего приемную поверхность ( $D_{\text{пок}} = 0,8 \dots 0,9$ );

$A_{\text{пр}}$  – коэффициент поглощения приемной поверхности;

$F$  – площадь освещенной поверхности, м<sup>2</sup>;

$E$  – плотность потока солнечного излучения, Вт/м<sup>2</sup>.

При поглощении солнечного излучения температура приемной поверхности повышается. Превышение температуры поглощающей панели  $t_n$  над температурой окружающей среды приводит к потере теплоты от приемника, которую можно определить по уравнению

$$Q_{\text{пот}} = K_n F (t_n - t_o), \quad (6.9)$$

где  $t_n$ ,  $t_o$  – температура соответственно поглощающей панели и окружающей среды;

$K_n$  – коэффициент теплопередачи от поглощающей панели к окружающей среде, Вт/(м<sup>2</sup>К).

Здесь коэффициент теплопередачи определяется по формуле

$$K_n = \frac{1}{\alpha_{вз}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_o}, \quad (6.10)$$

где  $\alpha_{вз}$  – коэффициент теплоотдачи от поглощающей панели к лучепрозрачной поверхности;

$\delta_{ст}$  – толщина лучепрозрачной поверхности;

$\lambda_{ст}$  – коэффициент теплопроводности материала лучепрозрачной поверхности;

$\alpha_o$  – коэффициент теплоотдачи от лучепрозрачной поверхности к окружающей среде.

Эффективность работы солнечного коллектора определяется его КПД по формуле

$$\eta = Q / (FE) = \eta_o - K_n (t_n - t_o) / E, \quad (6.11)$$

где  $\eta_o$  – оптический КПД коллектора.

**Преобразование в электрическую энергию.** Преобразование солнечной энергии в электрическую энергию, которая, как известно, всесторонне удобна, можно осуществить двумя способами:

– теплотехническим путем, при котором солнечная энергия передается жидкому теплоносителю, превращая его в пар, а затем по схеме, типичной для тепловой электростанции, посредством паровой турбины и связанного с ней электрического генератора получаем электрическую энергию;

– фотоэлектрическим путем, в котором преобразование солнечной энергии в электрическую энергию протекает без промежуточных этапов.

В основе действия фотоэлементов лежит явление возникновения электрического тока при попадании излучения на пластину, состоящую из двух полупроводников с различными электрическими свойствами, находящимися в контакте друг с другом.

**Электрическое преобразование.** Фотоэлектрическое, или прямое, преобразование солнечной энергии в электрическую является многообещающим для маломасштабного использования. Это преобразование осуществ-



ляется с помощью полупроводниковых фотоэлементов – солнечных батарей, или солнечных элементов (СЭ), изготавливаемых из материалов, которые напрямую преобразуют солнечный свет в электричество. Большая часть из коммерчески выпускаемых в настоящее время СЭ изготавливается из кремния (химический символ Si). Устройство солнечного элемента показано на рисунке 6.7.

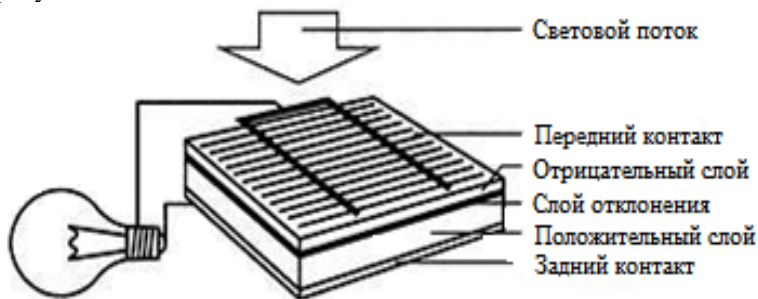


Рисунок 6.7 – Устройство солнечного элемента

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

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

В последние годы разработаны новые типы материалов для СЭ. Например, тонкопленочные СЭ из медь-индий-диселенида и из CdTe (теллурид кадмия). Эти СЭ в последнее время также коммерчески используются.

*КПД солнечных элементов:* монокристаллические – 12–15 %; поликристаллические – 11–14 %; аморфные – 6–7 %; теллурид кадмия – 7–8 %.

СЭ производит электричество, когда освещается светом. В зависимости от интенсивности света (измеряемой в Вт/м<sup>2</sup>) солнечный элемент производит больше или меньше электричества: яркий солнечный свет более предпочтителен, чем тень, и тень более предпочтительна, чем электрический свет.

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

Таким образом, можно говорить о реальном *сроке службы* солнечных монокристаллических модулей – 30 и более лет.

Поликристаллические модули обычно работают 20 и более лет. Модули из аморфного кремния (тонкопленочные, или гибкие) имеют срок службы от 7 (первое поколение тонкопленочных технологий) до 20 (второе поколение тонкопленочных технологий) лет. Более того, тонкопленочные модули обычно теряют от 10 до 40 % мощности в первые 2 года эксплуатации. Поэтому около 90 % рынка фотоэлектрических модулей в настоящее время составляют кристаллические кремниевые модули.

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

Система электроснабжения автономного дома с выходом переменного и постоянного тока на базе фотоэлектрической солнечной батареи включает в себя практически те же компоненты, что и схема на рисунке 6.8, плюс контроллер заряда аккумуляторной батареи, а именно:

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

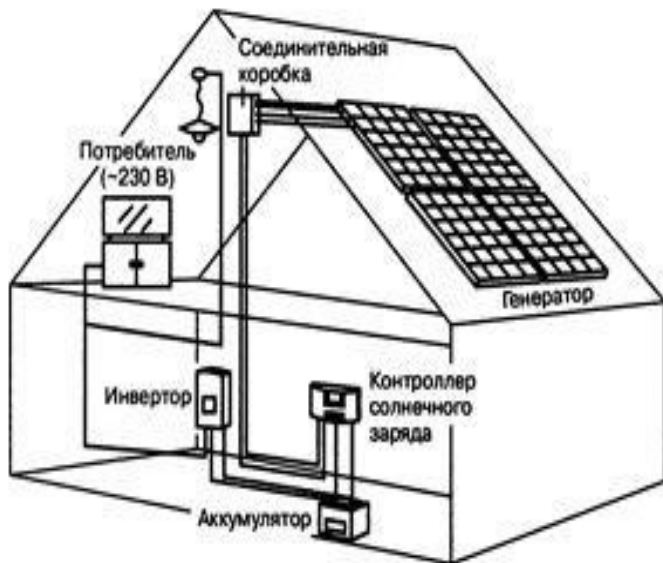


Рисунок 6.8 – Типовая схема простейшей системы

Для обеспечения надежного электроснабжения необходим резервный источник электропитания. В качестве такого источника может быть небольшой (2–6 кВт) бензо- или дизельэлектрогенератор. Введение такого резервного источника электроэнергии резко сокращает стоимость солнечной батареи.

**Солнечные энергоцентры (фермы).** За рубежом солнечная энергетика, основанная на прямом преобразовании излучения Солнца в электричество, в зависимости от мощности и предназначения включает в себя крупные солнечные энергоцентры (солнечные фермы) и малые фотоэнергетические системы. Включая в свой состав тысячи (а иногда и сотни тысяч) отдельных фотоэлектрических ячеек, соединенных в сеть модулей, батарей и решеток, такие установки могут производить от нескольких сотен до многих тысяч киловатт энергии.

Современные солнечные энергоцентры имеют панели, которые способны при помощи компьютерной техники и автоматизированной системы управления «следовать» за солнцем в течение всего дня. Через инверторы (преобразователи постоянного тока в переменный) и повышающие трансформаторы панели присоединяются к электросетям (рисунок 6.9).

Метод фотоэлектрического преобразования всё в большей степени становится в мире привлекательным для выработки электроэнергии в крупных масштабах.

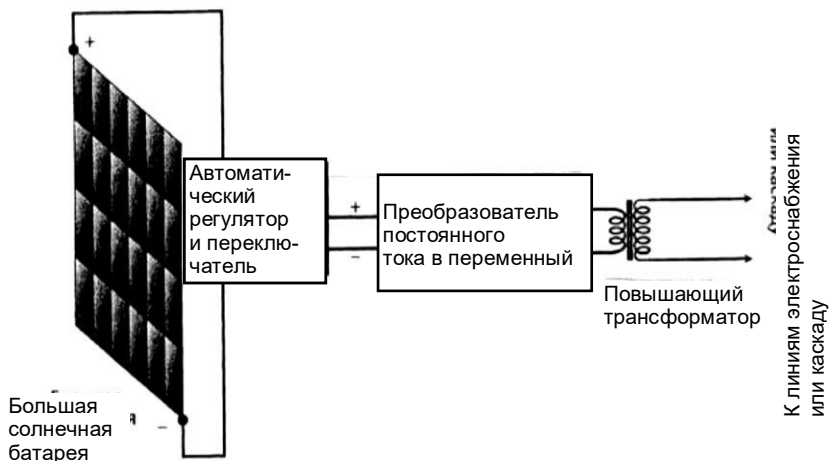


Рисунок 6.9 – Функциональная схема солнечного энергоцентра (СЭЦ)

Естественно, что крупным солнечным энергоцентрам присущи и недостатки: они нерентабельны для мест, не получающих достаточной солнечной радиации; как и энергия ветра, солнечная энергия неустойчива (её

трудно запастись в больших количествах); солнечная энергия не может сама по себе удовлетворить потребности в электричестве крупного города целиком (это, прежде всего, дополнительный источник энергии); под солнечные энергоцентры необходим отвод больших площадей земель, которые трудно использовать в других целях.

Однако есть основания считать, что солнечные ФЭС в ближайшие годы получат распространение практически во всех странах, где есть к этому надлежащая экономическая целесообразность.

### ***Интересно знать!***

*Французские изобретатели убедительно подтвердили тезис, что новое – это хорошо забытое старое. Одна французская компания предложила устанавливать парус на любом морском большегрузном судне (танкере или крупном сухогрузе), который не мешает погрузке или разгрузке.*

*По сути это даже не парус, а, скорее, гигантский – от 500 до 1000 м<sup>2</sup> – воздушный змей, который с легкостью может буксировать морское судно водоизмещением 200 000 т. Установка этого паруса полностью автоматизирована – капитану достаточно нажать кнопку «парус», и через 15 минут парус будет установлен. Использование такого паруса сокращает расход топлива примерно на 20 % и на столько же – выбросы парниковых газов в атмосферу. Это очень топливосберегающее и экономичное изобретение.*

*Выше были отмечены недостатки, присущие солнечным энергоцентрам, которые наносят существенный удар по «зеленой» солнечной энергетике. Китайская Народная Республика, которая сегодня имеет вторую экономику (после США) в мире, планирует построить гигантскую систему солнечных электростанций и разместить ее непосредственно над Землей. В 2022 году планируется начать испытания уже разработанной технологии передачи электроэнергии с геостационарной орбиты на Землю с помощью микроволн и лазеров. К 2030 должна заработать первая установка, мощность которой несколько МВт, а к 2050 году такая гелиосистема будет способна выдавать гигаватты электроэнергии.*

*Что касается другого источника «зеленой» энергии – ветра, то следует отметить следующий факт. За прошедшие 40 лет, с 1980 года по настоящее время, мощность ветров над континентами сократилась на 15 %. Поэтому стоящие по всей Англии ветряки (как известно, страна расположена на острове, а на побережье всегда дует ветер) за первую половину 2021 года сработали только на 11 % своей мощности. Разумеется, такое положение полным штилем не назовешь, кое-где дует ветер, да и ураганы наблюдаются. Но факт остается фактом.*

## 6.5 Низкопотенциальная энергия Земли и тепловые насосы

Тепло Земли очень «рассеянно», и в большинстве районов мира человек с выгодой может использовать только очень небольшую часть этой энергии. Природные геотермальные ресурсы составляют около 1 % общей теплоемкости поверхностной 10-километровой толщины земной коры.

Беларусь, как подавляющее большинство стран Европы, может использовать только низкопотенциальную энергию Земли. К ней можно отнести тепло грунта, грунтовых вод и поверхностных водоемов, а также тепло, содержащееся в воздухе. Указанная низкопотенциальная энергия используется для получения полезной работы с помощью инженерной системы, называемой теплонасосной установкой.

Идея теплового насоса высказана более полутора веков назад (1852 г.) английским физиком У. Томсоном (более известен как лорд Кельвин). Это изобретенное им устройство он назвал «умножителем тепла». В русском языке закрепилось наименование этого устройства как «теплонасосная установка», или просто «тепловой насос». Логика такова, что гидравлический насос служит для повышения давления, а тепловой насос – для повышения теплоты.

Как известно, согласно второму закону термодинамики *передачу теплоты от холодного тела к теплomu телу можно осуществить только с помощью дополнительно затраченной энергии*. Эта энергия необходима для организации обратного термодинамического цикла, который лежит в основе работы теплового насоса.

Термодинамические циклы тепловых насосов аналогичны известным холодильным машинам. В холодильной машине главная партия отводится испарителю и отбору тепла, а в тепловом насосе – конденсатору и передаче тепла (при рассмотрении парокомпрессионного обратного цикла).

Принципиальная схема работы распространенной парокомпрессионной теплонасосной установки (ТНУ) может быть описана следующим образом (рисунок 6.10):

- во внешнем теплообменнике (испарителе) тепловая энергия из окружающей среды за пределами здания или из другого доступного источника тепла передается рабочему телу ТНУ – хладагенту (как правило, фреону), циркулирующему по внутреннему контуру;

- фреон нагревается, испаряется и направляется в сторону компрессора. Компрессор сжимает фреон, при этом температура фреона возрастает;

- далее сжатый фреон проходит через внутренний теплообменник (конденсатор), где конденсируется и отдает тепло в систему потребителя (прямой нагрев воздуха или теплоносителя системы отопления или технологического объекта, или приготовление горячей воды для потребителей);

- далее фреон проходит через дросселирующий клапан, понижающий давление, что сопровождается снижением температуры. Цикл повторяется.

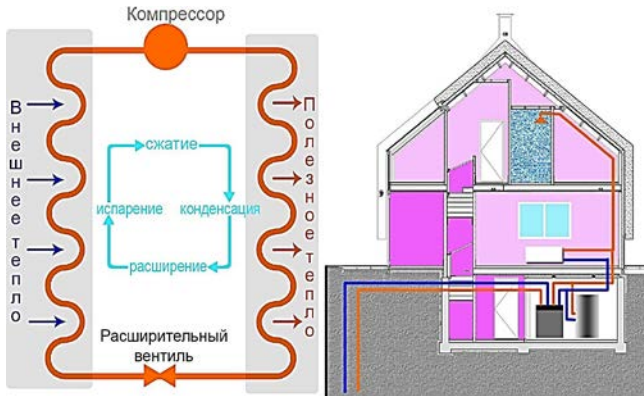


Рисунок 6.10 – Принципиальная схема парокompрессионного теплового насоса

Хладагент под высоким давлением через капиллярное отверстие попадает в испаритель, где за счет резкого уменьшения давления и подвода тепла происходит процесс испарения. При этом хладагент отбирает тепло у внутренних стенок испарителя, а испаритель, в свою очередь, отнимает тепло у земляного или водяного контура, за счет чего он постоянно охлаждается. Компрессор вбирает хладагент из испарителя, сжимает его, за счет чего температура хладагента резко повышается, и выталкивает в конденсатор. Кроме этого, в конденсаторе нагретый в результате сжатия хладагент отдает тепло (температура порядка 85–125 °С) отопительному контуру и переходит в жидкое состояние. Процесс повторяется постоянно.

Энергоэффективность ТНУ определяется соотношением вырабатываемой тепловой энергии  $|q_n|$  и потребляемой механической энергии на осуществление обратного цикла  $|l_{ц}|$ :

$$\varphi = |q_n| / |l_{ц}|. \quad (6.12)$$

Для ТНУ величина  $\varphi$  называется *коэффициентом трансформации* (или *коэффициентом преобразования теплоты*, иногда называют *отопительным коэффициентом*). В иностранной литературе коэффициент  $\varphi$  обозначает «сор», что является аббревиатурой английского выражения «*coefficient of performance*» – коэффициент совершенства.

Если учесть, что  $|q_n| = q_o + |l_{ц}|$ , то получим следующую формулу:

$$\varphi = q_o / |l_{ц}| + 1 = \varepsilon + 1. \quad (6.13)$$

Из этого выражения видно, что  $\varphi$  всегда больше единицы.

В тепловых насосах в качестве хладагентов в связи с возникшими глобальными проблемами – повышением парникового эффекта и возможным разрушением озонового слоя – с начала 90-х годов разрабатываются нового поколения холодильные агенты, разрешенные «Монреальским протоколом».

**Источники низкопотенциальной теплоты (НПИТ).** Источниками низкопотенциальной теплоты для тепловых насосов могут быть: вытяжной воздух; наружный воздух; грунт; сточные воды; подземные и поверхностные воды; дымовые газы собственной крышной котельной на природном газе; вторичные тепловые потоки промышленных предприятий и объектов коммунального хозяйства (ТВЭР); теплоноситель существующей сети теплоснабжения района от ТЭЦ.

*Вытяжной воздух* является эффективным и доступным для использования в качестве НПИТ в системах теплоснабжения отдельных жилых зданий. Температура вытяжного воздуха стабильна в течение отопительного периода и составляет в среднем около 18 °С. Объемы удаляемого воздуха, зависят от назначения и площади вентилируемых помещений. При оборудовании жилых домов централизованной системой вентиляции вытяжной воздух может рассматриваться как единственный источник низкопотенциальной теплоты, так и (при соответствующем обосновании) в комбинации с другими (сточные воды, дымовые газы, наружный воздух).

*Наружный воздух* является самым доступным НПИТ неограниченного объема. Эффективность его использования в республике определяется особенностями климата. Так, для условий г. Гродно по данным многолетних наблюдений при расчетной для отопления температуре наружного воздуха, равной минус 22 °С, продолжительность стояния температуры ниже минус 15 °С составляет только около 2 % от продолжительности отопительного периода, а ниже минус 10 °С – около 7 %. Одновременно средняя суточная амплитуда температуры воздуха (разность между суточным максимумом и минимумом температуры) составляет в самый холодный месяц (январь) 6,3 °С, а за отопительный период (ноябрь – апрель) 4,5–9,4 °С.

Учитывая технические возможности современных тепловых насосов, всё вышесказанное дает основание рассматривать наружный воздух как перспективный НПИТ, особенно при ограниченных ресурсах НПИТ других видов.

*Грунт* верхних слоев земли, так же как и наружный воздух, представляет собой тепловой аккумулятор неограниченной емкости. Эффективность использования теплоты грунта определяется, главным образом, температурным режимом грунта в годовом цикле и зависит от его состава, влажности, температуры воздуха и др. Температура грунта в зимний период на глубине 0,8 м составляет от 1–3 °С, а на глубине 1,5 м – 2–7 °С.

Технически возможны системы отбора теплоты грунта с применением теплообменников из пластиковых труб разного диаметра: горизонтального

исполнения (змейки, петли и др.), укладываемые с заглублением на 1,5–2,0 м в грунт, и вертикального (зонды) – в скважины разной глубины или в опоры фундаментов зданий.

В условиях дефицита свободной от застройки территории применение горизонтальных теплообменников имеет ограничения, поэтому отбор теплоты от грунта возможен только с применением различных конструкций вертикальных теплообменников. Для оценочных расчетов принимается значение удельного теплового потока на 1 метр длины зонда, равным 45 Вт.

*Сточные воды* очень перспективный, но пока мало используемый для теплоснабжения источник низкопотенциальной теплоты, что обусловлено их биологической и коррозионной агрессивностью, неравномерным режимом потока в канализационной сети.

Объемы и температура бытовых сточных вод зависят от уровня инженерного благоустройства, привычек жителей и температуры водопроводной воды. На выпусках домов их температура изменяется в интервале от 15 до 35 °С при среднем суточном значении 24 °С.

Проблемы утилизации частично решаются при использовании теплоты только «серых» сточных вод (от ванн, умывальников и кухонь), что возможно при создании в жилых домах двухтрубных систем отведения сточных вод: «серых» и от туалетов.

Компактные установки утилизации теплоты сточных вод, включающие герметичные резервуары-усреднители потока, могут размещаться в подвалах домов.

В настоящее время нет технических ограничений и на использование теплового потенциала городских сточных вод (хозяйственно-бытовых и производственных) для создания на основе тепловых насосов местных источников теплоснабжения, интегрируемых в действующие системы теплоснабжения планировочных районов.

На рисунке 6.11 показано оборудование для отбора теплоты городских сточных вод.



Рисунок 6.11 – Конструкции теплообменников, размещаемых в канализационных коллекторах



Как известно, тепловой баланс водных экосистем более совершенный, когда температура сточных вод равна температуре водопроводной воды, забираемой для водоснабжения из подземных источников. Однако при низкой температуре сточных вод ухудшаются процессы их биологической очистки. Поэтому минимальная температура сточных вод, до которой допустимо их понижение в теплообменниках-утилизаторах, должна быть не ниже температуры, при которой температура смешанных сточных вод при их поступлении на очистные сооружения будет не ниже установленных регламентами.

Экспериментальные исследования показали, что в условиях Республики Беларусь даже в самые холодные периоды года температура сточных вод на входе сооружений биологической очистки и очищенных сточных вод равна в среднем 10–15 °С. Поэтому очень перспективно использование теплоты биологически очищенных сточных вод, особенно при их подаче в города на не питьевые нужды и для создания условно замкнутых систем водного хозяйства городов. Такое решение имеет и экологическое обоснование по критерию теплового загрязнения поверхностных вод, т. к. температура сточных вод в местах сброса в водоток зимой не должна превышать температуру водотока более чем на 5 °С.

*Подземные воды* характеризуются относительно постоянным тепловым потенциалом. Их температура зависит от глубины залегания, расстояния от поверхностных водотоков и др. Например, температура грунтовых вод на глубине 10–15 м колеблется в пределах от 6 до 11 °С, на глубинах около 100 м температура подземных вод выше 10 °С.

Эффективность использования теплоты грунтовых вод повышается, если одновременно обеспечивается водопонижение территории.

*Поверхностные (речные и озерные) воды* являются исключительно местными источниками низкопотенциальной теплоты. При их использовании следует учитывать сезонную изменчивость объемов, чистоты и температурных режимов, а принятые решения должны подтверждаться расчетами их термического режима, учитывающего экологические ограничения. Отбор теплоты может осуществляться или непосредственно в испарителях тепловых насосов, или через промежуточный контур с теплообменниками специальных конструкций.

Общие условия использования некоторых видов НПИТ приведены в таблице 6.5.

**Характеристика тепловых насосных установок.** Самый распространенный вид тепловой насосной установки является *компрессионная ТНУ*. Такое название эти ТНУ получили, поскольку одним из основных органов является компрессор (поэтому их также называют *компрессорными*). Различают *газовые* (воздушные) компрессионные ТНУ и *паровые* компрессионные ТНУ.

Таблица 6.5 – Условия использования некоторых видов НПИТ

Вид НПИТ	Располагаемый тепловой потенциал	Температура теплоносителя на входе в испарители, °С		Способ отбора низкопотенциальной теплоты
		исходного	охлажденного	
Вытяжной воздух	Ограниченный	18–22	По расчету	Непосредственно в испарителях тепловых насосов или с промежуточным теплоносителем
Наружный (атмосферный) воздух	Неограниченный	–30 ... +35	Не нормируется	Непосредственно в испарителях тепловых насосов или с промежуточным теплоносителем
Грунт	Неограниченный	6–12	Не нормируется	С промежуточным теплоносителем в контуре испарителей
Сточные воды	Ограниченный	15–30	8–15	С промежуточным теплоносителем или непосредственно в испарителях тепловых насосов
Подземные и поверхностные воды	Ограниченный	4–25	1–8	Непосредственно в испарителях тепловых насосов или с промежуточным теплоносителем

Газовые компрессионные ТНУ практически не применяются из-за их неэкономичности и больших расходов воздуха (так как этот хладоноситель обладает малой теплоемкостью), что делает ТНУ громоздкой и дорогой.

Паровые компрессионные ТНУ являются самым распространенным типом ТНУ. Такие ТНУ имеют весьма высокую эффективность. Энергетическая эффективность парокompрессионных теплонасосных установок, как указано ранее, оценивается коэффициентом преобразования энергии и достигает шести (рисунок 6.12).

Следовательно получается, что на каждый затраченный киловатт-час энергии на работу компрессора парокompрессионная теплонасосная установка (ПКТНУ) вырабатывает 2,5–6,0 кВт·ч тепловой энергии.

Но здесь рассматривается только энергетическая сторона, т. е. получение тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение (ГВС) для населения. При этом не рассматривается такая важная сторона этой социальной проблемы, как экономическая. В настоящее время (по данным 2021 года) население фактически возмещает производство теплоэнергии всего лишь на 20 %. Субсидии из бюджета государства на данное направление составляет более 800 млн долларов США. Таким образом, переход на отопление и ГВС с помощью ТНУ потребует значительных экономических затрат, которые увеличит платежи ЖКХ для населения.

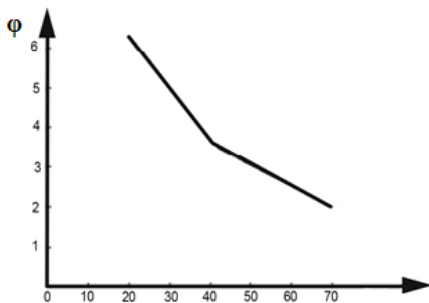


Рисунок 6.12 – Зависимость коэффициента преобразования  $\Phi$  ПКТНУ от перепада температур между нагретой водой и охлажденной водой

Рассмотренные ПКТНУ имеют ряд недостатков. Во-первых, наличие компрессора приводит к сложности конструкции ПКТНУ. Во-вторых, использование специального хладагента приводит к необходимости этого хладагента и соблюдению абсолютной герметичности на всём его жизненном цикле.

К другому типу относятся *сорбционные* теплонасосные установки. Сорбция относится к действию абсорбции или адсорбции.

**Абсорбция** (лат. *absorbere* – поглощать) – *объемное поглощение двух веществ, находящихся в разных агрегатных состояниях*. Абсорбция, как правило, означает поглощение газов в объеме жидкости.

**Адсорбция** – *физическое сцепление ионов и молекул на поверхности тела другого состояния*. Под адсорбцией в основном понимают поглощение примеси из газа или жидкости твердым веществом – адсорбентом.

В мировой практике в настоящее время применяют преимущественно абсорбционные ТНУ, в которых абсорбентом является водный раствор соли бромистого лития – АБТНУ.

Главное достоинство АБТНУ – это совокупность использовать для своей работы не только электричество (как в ПКТНУ), но и любой источник энергии с достаточной температурой и мощностью – перегретый или отработанный пар, пламя газовых, бензиновых и любых горелок – вплоть до выхлопных газов и солнечной энергии и т. д. Другое достоинство АБТНУ – практически бесшумные конструкции, не содержащие движущихся деталей.

Главный недостаток АБТНУ – весьма низкая эффективность, а также сложность конструкции. С точки зрения воздействия на окружающую среду АБТНУ имеют явное преимущество перед ПКТНУ, поскольку не использу-

ют хладоны. АБТНУ имеют значительно больший срок службы по сравнению с ПКТНУ, высокую ремонтпригодность.

Экономическая целесообразность применения определенного типа ТНУ должна определяться на основе технико-экономических расчетов, т. к. удельные капитальные затраты на определенный тип ТНУ могут быть выше затрат на отопительный водогрейный котел. Применение ПКТНУ с низким коэффициентом преобразования  $\varphi$  приводит к неоправданно высоким срокам окупаемости капитальных вложений.

На рисунке 6.13 приведены энергетические балансы различных схем производства теплоты:

- а) отопительный водогрейный котел на органическом топливе;
- б) ПКТНУ с питанием электричеством от тепловой электростанции;
- в) ПКТНУ с приводом от ДВС;
- г) АБТНУ при непосредственном сжигании топлива (газообразного или жидкого).

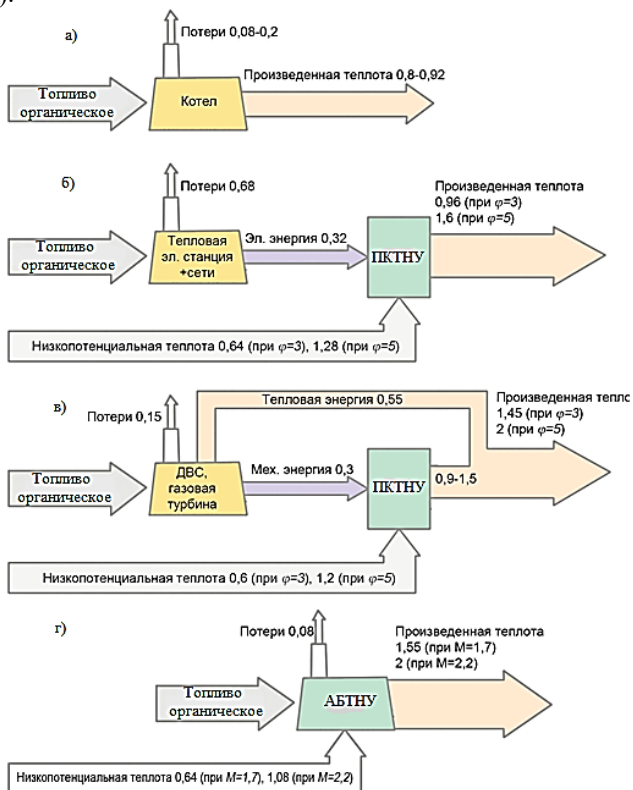


Рисунок 6.13 – Энергетические балансы различных схем производства теплоты

Из приведенных выше схем теплогенерации самой простой является первая схема. Первая схема имеет наименьшее количество составляющих её устройств. Следовательно, современные котлы являются наиболее надежными. При низких ценах на потребляемое органическое углеводородное топливо (например, природный газ) первая схема теплогенерации может быть целесообразна, но энергетически она затратна.

При выборе типа ТНУ кроме энергетической и экономической эффективности следует учитывать также особенности различных типов ТНУ (срок службы, воздействие на окружающую среду, ремонтпригодность, требуемая квалификация обслуживающего персонала, возможность регулирования мощности в широком диапазоне и т. д.).

### ***Вопросы и задачи для закрепления раздела 6***

- 1 Какие источники энергии относятся к ВИЭ?
- 2 Какие существуют методы энергетического использования биомассы?
- 3 Что такое пеллеты?
- 4 В чем заключается ферментация биомассы?
- 5 В чем заключается анаэробное разложение биомассы?
- 6 Приведите химическое уравнение анаэробного разложения биомассы.
- 7 Приведите схему биогазовой установки.
- 8 Что такое биотопливо?
- 9 Укажите основные элементы гидроэлектростанции.
- 10 Как определить мощность, развиваемую потоком падающей воды без учета потерь?
- 11 Назовите основные элементы ветроэлектрической установки.
- 12 Как определить мощность ветрового колеса?
- 13 Назовите основные элементы солнечного коллектора.
- 14 Назовите основные элементы устройства фотоэлектрического, или прямого, преобразования солнечной энергии в электрическую.
- 15 В чем назначение теплового насоса?
- 16 Что относится к низкопотенциальным источникам теплоты?
- 17 Как определяется энергоэффективность парокompрессионной теплонасосной установки (ТНУ)?
- 18 Какие преимущества абсорбционных ТНУ по сравнению с парокompрессионными ТНУ?

## **7 ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАЦИОНАРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Чтобы дойти до цели, нужно прежде всего идти.  
*О. Бальзак, писатель*

Стационарная энергетика Беларуси состоит из тепловых электростанций, атомной электростанции, гидроэлектростанций, а также электростанций,

основанных на использовании других источников возобновляемой энергии. Тепловые электрические станции (ТЭС) работают за счет энергии, получаемой при сжигании углеводородного топлива, в основном природного газа, поскольку он является более экологичным, чем мазут и уголь, а также экономически целесообразен. В 2023 году должна заработать на полную мощность первая Белорусская атомная электростанция, использующая энергию распада. Электрическая энергия в Беларуси производится также на *гидроэлектростанциях* (ГЭС), использующих энергию движущейся воды, *ветроэлектростанциях*, использующих энергию движущихся масс атмосферного воздуха, и *солнечных электростанций*, использующих энергию солнца. Географические и природные условия не позволяют широко использовать указанные возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в Беларуси.

## 7.1 Тепловые электрические станции

Тепловые электрические станции (ТЭС) вырабатывают из химической энергии органического топлива последовательно тепловую, а затем электрическую энергию. Значение тепловых электростанций в Беларуси очень велико, они вырабатывают основную долю электрической энергии страны. Именно электроэнергия, как никакой другой вид энергии, может быть легко превращена в любой другой полезный вид энергии, непосредственно используемый человеком: тепловая, механическая и световая энергия.

По энергетическому назначению тепловые электростанции различают:

– *конденсационные*, вырабатывающие только электрическую энергию (КЭС), на которых устанавливаются паровые конденсационные турбины с глубоким расширением;

– *теплофикационные*, которые кроме электрической энергии отпускают также тепловую, энергию в виде пара, предварительно отработавшего в теплофикационной турбине, или воды, нагретой этим паром (ТЭЦ).

### 7.1.1 Конденсационные электрические станции

Принципиальная технологическая схема конденсационной электростанции показана на рисунке 7.1 (при условии использования твердого топлива, если используется природный газ, то в складировании 1 и топливоприготовлении 2 нет необходимости). В парогенераторе (котле) 3 за счет теплоты сжигаемого топлива вода, нагнетаемая питательным насосом 8, превращается в водяной пар, который поступает в турбину 4, вращающую электрогенератор. Из турбины отработанный пар поступает в конденсатор (теплообменник) 5, где пар конденсируется. Насос 7 нагнетает конденсат в парогенератор и цикл замыкается.

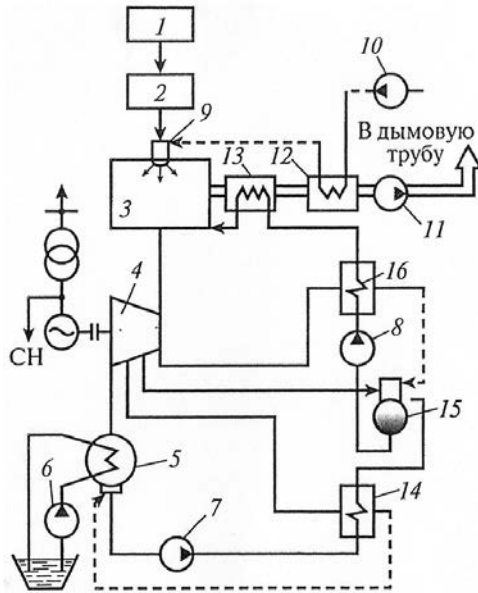


Рисунок 7.1 – Принципиальная технологическая схема КЭС:

1 – склад топлива и система топливоподдачи; 2 – система топливоприготовления; 3 – котел; 4 – турбина; 5 – конденсатор; 6 – циркуляционный насос; 7 – конденсатный насос; 8 – питательный насос; 9 – горелка котла; 10 – вентилятор; 11 – дымосос; 12 – воздухоподогреватель; 13 – водяной экономайзер; 14 – подогреватель низкого давления; 15 – деаэрактор; 16 – подогреватель высокого давления; СН – собственные нужды

Небольшие энергетические потери на КЭС имеют место в конденсаторе, где отработанный пар, содержащий ещё большое количество теплоты, затраченной при преобразовании, отдаёт его циркуляционной воде. Эта теплота с циркуляционной водой уносится в водоёмы, т. е. теряется. В результате КПД современной КЭС составляет всего 40–42 %. Применение промежуточного перегрева повышает термический КПД на 2–3 %.

В Республике Беларусь работают две конденсационные электростанции: Лукомльская ГРЭС и Березовская ГРЭС (районные, поскольку обслуживают крупные экономические районы).

Лукомльская ГРЭС – самая мощная электростанция в республике, расположена в Новолукомле. Установленная электрическая мощность 2889,5 МВт. Станция работает на природном газе. В экономическом плане для Беларуси природный газ из Российской Федерации является дешевым топливом (1 тыс. м<sup>3</sup> стоит 128 долларов США для Беларуси). Кроме того, природный газ является экологичным углеводородным топливом. Выброс

парникового углекислого газа вдвое меньше, чем при сгорании каменного угля, той же теплоты сгорания.

Березовская ГРЭС по состоянию на 2018 год имела установленную электрическую мощность, равную 1095 МВт. Топливом является природный газ.

Для повышения эффективности работы КЭС применяют увеличение начальных параметров пара на электростанциях. Температура пара достигает 570 °С перед поступлением на лопатки турбины. Ограничение определяется материалом. В настоящее время используется теплоустойчивая легированная сталь перлитного класса. Жаропрочная сталь аустенитного класса и сплавы на никелевой основе позволяют повысить температуру пара на входе в турбину, а значит, снизить себестоимость вырабатываемой электроэнергии. Однако это экономически нецелесообразно, поскольку стоимость материала соответственно в четыре и в двадцать раз дороже. Давление пара на современных КЭС достигает 23,5 МПа. Дальнейшее увеличение давления пара, как показала практика, приводит к значительному увлажнению пара на последних ступенях турбины, что снижает КПД и увеличивает эрозионное воздействие капелек влаги на рабочие лопатки турбины.

Для дополнительного повышения экономичности на мощных электростанциях применяют промежуточный (вторичный) перегрев пара. Для этого пар из промежуточной ступени турбины отводят в котельную, в один из элементов котельного агрегата, для повторного «газового» перегрева и затем возвращают в следующие ступени турбины. Промежуточный перегрев повышает надежность и экономичность работы части низкого давления турбины благодаря уменьшению влажности пара. Экономия топлива, обусловленная промежуточным газовым перегревом пара, может составить от 4 до 7 %.

Эффективность паротурбинной установки также возрастает при уменьшении давления на выходе из турбины, а значит, при уменьшении температуры воды в конденсаторе (теплообменнике). При использовании оборотного водоснабжения с охлаждением воды градирнях (смесительных теплообменниках) температура воды меняется в зависимости от времени года от +10...12 °С до +35...40 °С. Следовательно, соответствующее давление в конденсаторе лежит в пределах от 0,0035 МПа (зимой) до 0,01 МПа (летом). Таким образом, указанные значения являются нижним пределом расширения водяного пара в турбине. Причем на 1 т охлаждаемого пара в конденсаторе требуется прокачивать через него от 50 до 60 т охлаждающей воды. Следовательно, ТЭС размещают в непосредственной близости от естественного водоема (реки, озера и т. п.).

Потребление энергии различными пользователями и производство энергии – процессы взаимосвязанные. Потребителю требуется днем электроэнергии больше, чем ночью; в рабочий день недели больше, чем в выходные дни; зимой больше, чем летом. Поэтому режим потребления электрической



энергии диктует режим ее генерирования, и этот режим отражается с помощью графика нагрузки. Различают суточный, месячный и годовой графики нагрузки. На рисунке 7.2 представлен суточный график энергопотребления города зимой.

На графике имеются два характерных максимума: утром (подъем и начало рабочего дня), вечером (наступление темноты и возвращение с работы) и ночной провал. Наличие графиков нагрузки позволяет планировать оптимальную работу энергоустановок, которые, как известно, имеют наибольший КПД на номинальном режиме. Чтобы обеспечить неравномерный график нагрузки, энергетические системы должны быть маневренными. Для того, чтобы работа энергоустановок была эффективной, их разделяют на базовые, пиковые и полупиковые (см. рисунок 7.2). Базовые работают практически постоянно. Они обеспечивают покрытие части графика нагрузки с минимальным потреблением энергии. Пиковые и полупиковые энергоустановки работают периодически.

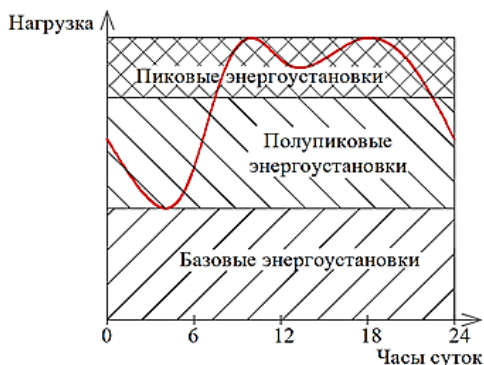


Рисунок 7.2 – Суточный график энергопотребления города зимой

Паровые котлоагрегаты и турбины допускают изменения нагрузки только на 10–15 %. Для них характерна большая продолжительность (часы) процессов включения и отключения. Кроме того, работа крупных ТЭС в резко переменном режиме нежелательна, поскольку это приводит к повышенному расходу топлива, износу теплосилового оборудования и снижению его надежности. Следовательно, задача регулирования мощности с помощью самих ТЭС не решается. Еще более нежелательны переменные режимы для атомной электрической станции (АЭС).

Пиковые и полупиковые нагрузки энергосистемы покрываются газотурбинными установками (ГТУ) или парогазовыми (ПГУ), размещенными на территории тепловой электрической станции. Простейшая газотурбинная установка состоит из воздушного компрессора, топливной системы, камеры сгорания, газовой турбины и электрического генератора. Схема ГТУ приведена на рисунке 7.3.

Принцип работы ГТУ состоит в следующем. В камеру сгорания поступает топливо газообразное или жидкое. Туда же поступает воздух из атмосферы, который предварительно сжимается в турбокомпрессоре. Образовавшаяся

яся горючая смесь при пуске воспламеняется запальным устройством, которое затем отключается. Топливо и воздух продолжают поступать в камеру сгорания при постоянно горящей горючей смеси. Образовавшиеся продукты сгорания направляются из камеры сгорания на лопатки газовой турбины, в которой получается полезная механическая работа. Отработавшие в турбине

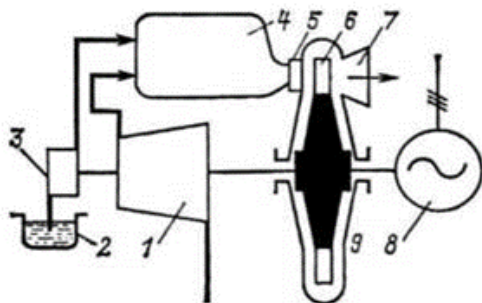


Рисунок 7.3 – Принципиальная схема газотурбинной установки со сгоранием при постоянном давлении

продукты сгорания выбрасываются в атмосферу. Большая часть мощности газовой турбины (примерно 2/3) передается электрическому генератору, который преобразует механическую энергию в электрическую. Оставшаяся часть мощности (примерно 1/3) потребляется воздушным турбокомпрессором. Температура горения топлива близка к 2000 °С, но допустимая температура стальных лопаток турбины не более

1000 °С. Поэтому для получения такой температуры необходим большой избыток воздуха в камере сгорания (коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 3$  и выше). Температура отработавших в турбине газов высокая и составляет на номинальном режиме 400–450 °С. Следовательно, велики потери теплоты с уходящими газами, и КПД газотурбинной установки не превышает 35 %. Эффективность ГТУ можно повысить, используя лопатки газовых турбин, изготовленных из материалов, выдерживающих более высокую температуру. Лопатки турбин, изготовленные из керамических материалов (например, нитридов кремния) позволяют поднять температуру газов до 1400 °С, что увеличит КПД газотурбинной установки до значения более 35 %. Однако это экспериментальные образцы ГТУ, и такие установки пока не получили широкого практического применения.

Для эффективного выполнения графика нагрузки на современных электростанциях в качестве пиковых и полупиковых установок используются парогазовые установки (ГТУ), которые являются комбинацией паросиловой и газотурбинной установок. Такая комбинация позволяет ПГУ, значительно уменьшить расход топлива и сократить вредные выбросы в окружающую среду.

### 7.1.2 Теплоэлектроцентрали

Теплофикационная электрическая станция, как указывалось ранее, служит для комбинированного производства электроэнергии и отпуска тепловой энергии в виде пара, предварительно отработавшего в теплофикацион-

ной турбине, или воды, нагретой этим паром, для отопления и горячего водоснабжения получила название *теплоэлектроцентрали* (ТЭЦ).

Схема ТЭЦ показана на рисунке 7.4.

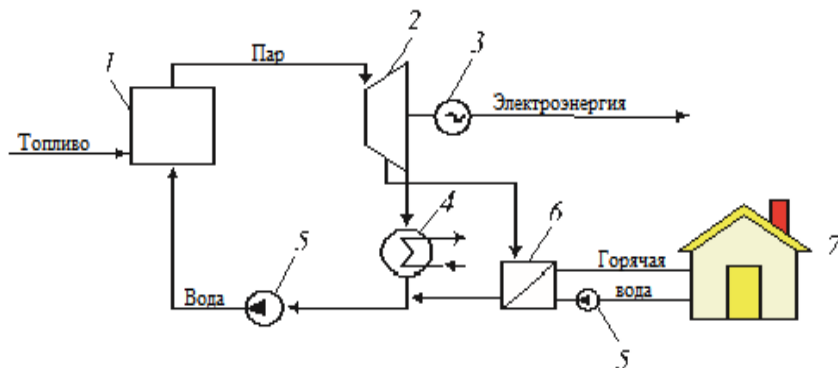


Рисунок 7.4 – Схема ТЭЦ с теплофикационным отбором:  
 1 – котел-парогенератор; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – конденсатор;  
 5 – насос; 6 – подогреватель теплообменник; 7 – потребители

Здесь следует подчеркнуть, что **теплофикация** – это *комбинированное производство теплоты и работы (в конечном счете электроэнергии)*. В результате эффективность использования топлива (КИТ) на ТЭЦ максимальна и составляет более 90 % (например,  $\eta_{\text{теп}} = 56\%$  и  $\eta_{\text{эл}} = 36\%$ , т. е.  $\eta_{\Sigma} = 92\%$ ). Такой экономичный способ, когда была осуществлена интеграция производства электроэнергии и тепловой энергии на базе паротурбинной технологии, родился в бывшем СССР в 30-е годы XX века (чем нам можно гордиться). В этих условиях температура на выходе из паровой турбины поднята на более высокий уровень (порядка  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше) по сравнению с наиболее экономичным нижним температурным уровнем паросиловой установки (порядка  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), вырабатывающей только электроэнергию. Для получения только электроэнергии при сжигании топлива применяются, как было указано ранее, тепловые конденсационные электростанции (КЭС). Эффективность современных КЭС составляет около 45 %. На получение того же количества электроэнергии сжигается больше топлива, но коэффициент использования топлива вырастает практически до единицы, и полученная теплота полезно используется на коммунальные и технологические нужды, а не просто выбрасывается в окружающую среду.

В то же время ТЭЦ в течение полугода (с апреля по октябрь) не работает на полную мощность. Следовательно, эффективность использования топлива на ТЭЦ в этот период снижается, и в основном ТЭЦ генерирует электрическую энергию с КПД  $\eta_{\text{э}} = 36\%$ , в то время как КЭС имеет  $\eta_{\text{эл}} = 45\%$ .

## 7.2 Котельные установки

*Производственно-отопительные котельные* осуществляют теплоснабжение технологических потребителей, а также предназначены для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. *Отопительные котельные* вырабатывают тепловую энергию только для нужд отопления, вентиляции и горячего водоснабжения жилых, общественных, производственных зданий и сооружений.

Повышение энергетической эффективности и экономичности котельных установок может производиться по следующим направлениям:

1 Сжигание твердого топлива в кипящем слое. Под твердым топливом понимаются низкосортные угли, торф, биомасса, древесина, а также бытовые твердые отходы.

2 Перевод котельных агрегатов с твердого топлива на газообразное. При этом возрастает КПД за счет отсутствия потерь механической и частично химической неполноты сгорания.

3 Снижение температуры уходящих газов.

Это достигается путем установки водяных экономайзеров и воздухоподогревателей, обеспечения безнакипного режима работы котлов, регулярной обдувки и других способов очистки поверхностей нагрева с газовой стороны, поддержания номинального режима работы котлов, оптимального коэффициента избытка воздуха в топках котлов.

## 7.3 Когенерационные системы

Извлечение всех преимуществ теплофикации можно получить на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС), газотурбинных установок (ГТУ) и паросиловых установок (ПСУ). В этом случае полученная система для комбинированного (когенерационного) производства энергии (тепловой и электрической) получила новое название – *когенерационная система*.

Когенерационная система на базе ДВС представляет собой стационарный ДВС, в котором механическая работа преобразуется в электрическую энергию, а теплота выхлопных газов используется для генерации водяного пара малого давления.

Когенерационная система на базе ГТУ позволяет получить электрическую энергию, а также тепловую энергию за счет использования теплоты выхлопных газов.

Когенерационная система на базе ПСУ состоит из парового котла высокого давления и температуры, а также турбины, редуктора, теплообменника пара и генератора электрической энергии.

Рассмотренная когенерационная система применяется при большой удаленности потребителей от энергопроизводителя. КПД таких установок ниже

крупномасштабных, но их применение позволяет уменьшать потери теплоты при транспортировке и использовать местные виды топлива с небольшой теплотой сгорания.

#### 7.4 Энергосбережение при транспортировке теплоносителей

Передача теплоты от источника к ее потребителям осуществляется с помощью тепловой сети, состоящей из разветвленной сети теплопроводов. При транспортировке жидких и газообразных энергоносителей необходимо учитывать гидравлические и тепловые потери.

Гидравлические потери (потери давления) определяются соотношением

$$\Delta p = \Delta p_l + \Delta p_m + \Delta p_h, \quad (7.1)$$

где  $\Delta p_l$  – потери давления за счет сопротивления трения на длине;

$\Delta p_m$  – потери давления за счет местных сопротивлений (сужений, расширений, поворотов);

$\Delta p_h$  – потери давления за счет перепада высот.

Здесь потери давления за счет сопротивления трения по длине теплопровода определяются по формуле

$$\Delta p_l = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{W^2}{2}, \quad (7.2)$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления трения по длине;

$l$  – длина участка теплопровода, м;

$d$  – внутренний диаметр трубопровода, м;

$\rho$  – средняя плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>;

$W$  – средняя скорость теплоносителя, м/с.

Напомним, что значение коэффициента  $\lambda$  существенно зависит от режима течения (ламинарного или турбулентного) и области гидравлического трения (гидравлически гладких труб, шероховатых и совершенно шероховатых труб или квадратичной области сопротивления).

Потери давления за счет местных сопротивлений рассчитываются по формуле

$$\Delta p_m = \zeta \rho \frac{W^2}{2}, \quad (7.3)$$

где  $\zeta$  – коэффициент местного сопротивления.

Для типичных геометрий коэффициент местного сопротивления  $\zeta$  определяется на основании справочных данных по гидравлике.

Потери давления за счет перепада высот

$$\Delta p_h = \rho g \Delta h, \quad (7.4)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\Delta h$  – перепад высот, м.

Затраты энергии, потребляемой приводом гидравлического насоса, на прокачку теплоносителя имеют вид

$$N = G\Delta p / (\rho\eta_n), \quad (7.5)$$

где  $G$  – массовый расход теплоносителя, кг/с;

$\eta_n$  – КПД насоса.

Современные теплопроводы изготавливаются в заводских условиях и называются предварительно изолированными трубами (ПИ-трубами). ПИ-трубы включают стальную трубу, слой теплоизоляционного материала и защитный кожух (рисунок 7.5).

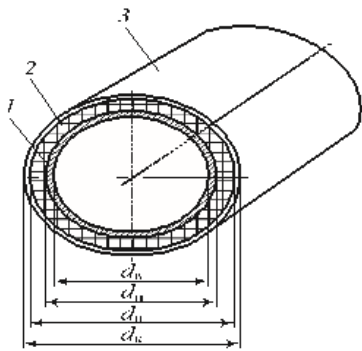


Рисунок 7.5 – Схема изолированного теплопровода (ПИ-трубы):

1 – труба; 2 – слой теплоизоляционного материала; 3 – кожух;

$d_n$  – диаметр внутренний;

$d_n$  – диаметр наружный;

$d_и$  – диаметр изоляции;

$d_к$  – диаметр защитного кожуха

К теплоизоляционным материалам относятся полиуретан и производные на его основе, минеральная вата и др. Основной характеристикой теплоизоляции является коэффициент теплопроводности, который зависит от свойств применяемого материала и его влажности. Тепловые потери ПИ-труб не превышают 5 % транспортируемого тепла.

Прокладка трубопроводов производится надземным и подземным способами. При подземной прокладке трубопроводы размещаются либо непосредственно в грунте (бесканальная прокладка), либо в каналах.

При транспортировке потери теплоты обусловлены охлаждением теплоносителя, а при использовании пара появляются дополнительные потери, связанные с конденсацией.

Потери тепловой энергии (рассеяние) теплопроводом в окружающую среду можно оценить на основании уравнения теплопередачи

$$Q_{\text{рас}} = k_l \pi \Delta t l, \quad (7.6)$$

где  $k_l$  – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(мК);

$\Delta t$  – температурный напор, причем  $\Delta t$  (°C) =  $\Delta T$ (K);

$l$  – длина теплопровода, м.

Линейный коэффициент теплопередачи через многослойную стенку теплопровода определяется следующим теплотехническим соотношением:

$$k_l = \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_r} + \frac{1}{2\lambda_{тр}} \ln \frac{d_{н}}{d_{в}} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_{из}}{d_{н}} + \frac{1}{2\lambda_{кз}} \ln \frac{d_{кз}}{d_{из}} + \frac{1}{\alpha_o d_{кз}} \right)}, \quad (7.7)$$

где  $\alpha_r$  – коэффициент теплоотдачи со стороны теплоносителя, Вт/(м<sup>2</sup>К);  
 $\lambda_{тр}$ ,  $\lambda_{из}$ ,  $\lambda_{кз}$  – коэффициенты теплопроводности соответственно трубы, изоляции и кожуха защитного, Вт/(мК);  
 $d_{в}$ ,  $d_{н}$ ,  $d_{из}$ ,  $d_{кз}$  – диаметры соответственно внутренней и наружной стальной трубы, изоляции, кожуха защитного, м;  
 $\alpha_o$  – коэффициент теплоотдачи от кожуха к окружающей среде, Вт/(м<sup>2</sup>К).

В уравнении (7.7) первый член выражает термическое сопротивление теплоотдачи со стороны теплоносителя, второй, третий и четвертый – термическое сопротивление соответственно трубы, слоя изоляции и кожуха защитного, пятый – теплоотдачи со стороны окружающей среды.

## 7.5 Энергоэффективность электрической энергии на производстве

Ранее было показано, что электрическая энергия вырабатывается на тепловых электростанциях (конденсационных и тепловых электроцентралях), атомной электростанции, гидро-, ветро- и гелиостанциях Беларуси. Произведенная электроэнергия по электрической сети передается потребителям на производстве, транспорте, в быту, где она преобразуется в любой вид полезной энергии: тепловую, механическую и световую.

Электрическая энергия на железнодорожном транспорте используется как в ситуациях нетягового электроснабжения, так и тягового подвижного состава.

### 7.5.1 Передача электрической энергии

Электрическую энергию производят на электрических станциях, а характерными приемниками электрической энергии на предприятиях железнодорожного транспорта являются электродвигатели производственных механизмов, силовые установки (насосы, вентиляторы, компрессоры, подъемно-транспортные устройства), преобразовательные установки, электрические печи и электротермические установки, переносный электроинструмент, осветительные установки, устройства автоблокировки и др. Следовательно, электрическую энергию необходимо передать потребителям. Транспортирование электрической энергии осуществляется по линиям электропередач (ЛЭП).

При прохождении электрического тока провода нагреваются, т. е. часть электрической энергии превращается в тепловую и рассеивается в окружающую среду. В результате эта часть электрической энергии теряется, причем величина тепловых потерь определяется по закону Джоуля – Ленца

$$Q = J^2 R, \quad (7.8)$$

где  $Q$  – количество теплоты, выделяемое в проводнике в единицу времени, Вт;  
 $J$  – сила тока в проводнике, А;  
 $R$  – электрическое сопротивление провода, Ом.

Величину электрического сопротивления провода можно определить по формуле

$$R = \rho l / S, \quad (7.9)$$

где  $\rho$  – удельное активное электрическое сопротивление провода, Ом·м (причем,  $1 \text{ Ом}\cdot\text{м} = 1 \cdot 10^6 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ );

$l$  – длина провода, м;

$S$  – площадь поперечного сечения провода, м<sup>2</sup>.

Следовательно, для уменьшения потерь электрического тока при передаче необходимо уменьшить электрическое сопротивление  $R$  или силу тока  $J$ . Величина сопротивления проводов  $R$  будет меньше, если уменьшить их длину. Но длина  $l$  определяется расстоянием, на которое надо передавать электрическую энергию потребителям. Можно увеличить сечение проводов  $S$ , но это приведет к увеличению массы их, что вызывает трудности при закреплении на столбах. Кроме того, это ведет к перерасходу дорогостоящего цветного металла. Другой путь заключается в уменьшении силы тока в линии электропередачи. Передаваемая электрическая мощность  $P$  определяется формулой

$$P = UJ. \quad (7.10)$$

Поэтому при сохранении передаваемой мощности  $P$  необходимо увеличить напряжение и уменьшить ток в сети. При этом получим

$$J_1 = P / U_1 \text{ и } J_2 = P / U_2,$$

где  $J_2 < J_1$ , а  $U_2 > U_1$ .

В итоге получим

$$Q_2 / Q_1 = P^2 R U_1^2 / U_2^2 P^2 R = U_1^2 / U_2^2. \quad (7.11)$$

Таким образом, потери при передаче электрической энергии обратно пропорциональны квадрату напряжения.

По этой причине в линиях электропередачи используются высокие напряжения, которые достигают в настоящее время 750–1150 кВ.

### 7.5.2 Потери электроэнергии и реактивная мощность

Для непосредственного использования в двигателях электропривода различных механизмов, в осветительной сети и других целей напряжение на концах линии нужно понизить. Это достигается с помощью понижающих трансформаторов, что приводит к паразитной реактивной мощности.



Известно, что в цепях переменного тока при присутствии индуктивной или емкостной нагрузки возникает реактивная составляющая мощности. *Реактивная электроэнергия – это часть полной поступающей мощности, которая не расходуется на полезную работу.*

В случае присутствия в электрической цепи индуктивной или емкостной нагрузки наблюдается несоответствие фазы тока с фазой напряжения. Данный сдвиг фаз между напряжением и током обозначается символом «φ». При индуктивной нагрузке в цепи наблюдается отставание фазы, при емкостной – ее опережение. Поэтому потребителю приходит только часть полной мощности, а основные потери происходят из-за бесполезного нагревания устройств и приборов в процессе эксплуатации.

К приборам, в составе потребляемой мощности которых имеется реактивная составляющая электроэнергии, относятся электродвигатели, электроинструменты, трансформаторы, сварочные аппараты, индукционные электроплиты и др., поскольку в них будет индуктивное сопротивление  $X_L$ . Наличие индуктивного сопротивления  $X_L$  приводит к дополнительным потерям за счет реактивной мощности в цепи переменного тока. Эту реактивную мощность можно уменьшить, последовательно включив в электрическую цепь емкостное сопротивление  $X_C$  в виде батареи конденсаторов. При индуктивной нагрузке в цепи наблюдается отставание фазы, при емкостной – ее опережение. Следовательно, реактивное сопротивление

$$X = X_L - X_C. \quad (7.12)$$

В результате полное сопротивление  $Z$  цепи

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}. \quad (7.13)$$

Здесь  $R$  – активное сопротивление электрической цепи.

Для наглядной интерпретации в электротехнике вводят понятие треугольника сопротивлений (рисунок 7.6, а), в котором катеты равны соответственно активному и реактивному сопротивлению цепи, а гипотенуза этого треугольника равна полному сопротивлению цепи, или импедансу. В общем случае импеданс представляет собой комплексное число, действительная часть которого описывает активное сопротивление  $R$ , а мнимая часть – реактивное сопротивление цепи  $X$ :  $Z = R + jX$ , где  $j$  – мнимая единица.

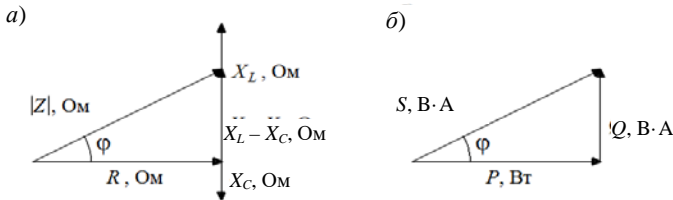


Рисунок 7.6 – Векторные диаграммы:  
а – для сопротивлений; б – для мощностей

Аналогичным образом можно ввести понятие полной мощности  $S$ , активной мощности  $P$  и реактивной мощности  $Q$  (рисунок 7.6, б). Из рисунка 7.6 видно, что реактивное сопротивление и реактивная мощность будут тем меньше, чем меньше будет угол  $\varphi$  в треугольнике сопротивлений или в треугольнике мощностей. Косинус этого угла называют коэффициентом мощности, по определению

$$\cos \varphi = \frac{R}{|Z|} = \frac{P}{S}. \quad (7.14)$$

Чем меньше  $\cos \varphi$  тем больше потребляемая реактивная мощность устройствами. Потребителями реактивной мощности, как указано выше, являются электродвигатели, сварочные аппараты, индукционные электроплиты и другое электротехническое оборудование. Реактивная мощность таких устройств может быть уменьшена за счет введения различных компенсаторов.

### 7.5.3 Энергоэффективность электропривода

В состав электропривода входят следующие основные элементы:

- полупроводниковый преобразователь частоты, который включается между питающей трехфазной сетью и асинхронным электродвигателем;
- электродвигатель, осуществляющий непосредственное преобразование электрической энергии в механическую (наибольшее применение нашли трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, благодаря их экономичности и надежности);
- механическая передача, осуществляющая приведение параметров на выходе электродвигателя к параметрам, которые требуются по технологическому процессу.

Многие технологические установки требуют регулирования выходных параметров. Примером может служить регулирование потока жидкости или газа в насосах и вентиляторах. Часто регулирование выполняется с помощью дроссельных заслонок в трубопроводах или воздуховодах. При необходимости можно снизить расход жидкости или газа заслонки частично или полностью, но скорость электродвигателя при этом остается практически неизменной.

Это приводит к неоправданному энергопотреблению, поскольку электропривод потребляет из сети значительную энергию, испытывая дополнительное гидравлическое или аэродинамическое сопротивление.

Наиболее современным и экономичным способом регулирования асинхронного электропривода является *частотное регулирование*. Из дисциплины «Электротехника» известно, что изменение частоты вращения электрического двигателя постоянного тока легко регулируется потенциометром. Что касается электрического двигателя переменного тока, в основном ис-

пользуемого на производстве, регулирование может осуществляться изменением частоты переменного тока. Следовательно, для повышения энергоэффективности электропривода необходимо дополнительное устройство – частотно-регулируемый привод. При этом изменение скорости вращения двигателя достигается за счет изменения величины и частоты напряжения, которое осуществляется полупроводниковым преобразователем частоты.

На рисунке 7.7 приведено потребление электроэнергии при регулировании дроссельной заслонкой 1 и частотой электрического тока 2, подаваемого на асинхронный электродвигатель.

Преобразователи частоты, кроме функции регулирования производительности электропривода, выполняют также функции плавного пуска, торможения, контроля защиты. Плавный пуск и торможение позволяют значительно (по сравнению с прямым пуском и торможением противовключением) – в несколько раз сократить потери энергии видов механизмов, работающих длительное время с переменной нагрузкой.

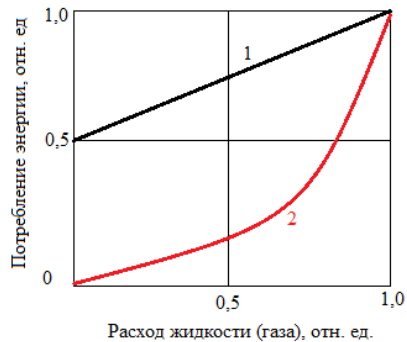


Рисунок 7.7 – Потребление электроэнергии при регулировании дроссельной заслонкой (1) и при частотном регулировании асинхронного двигателя (2)

При электропотреблении привода большое значение имеет *выбор мощности электродвигателя*.

Из теории электрических машин известно, что КПД  $\eta$  и коэффициент мощности  $\lambda$  зависят от нагрузки двигателя. Типичный вид этих зависимостей представлен на рисунке 7.8.

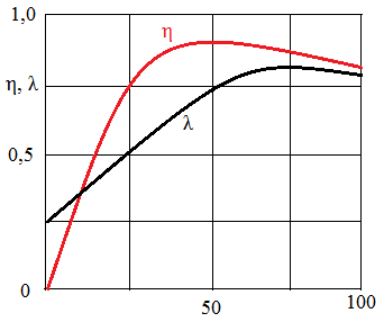


Рисунок 7.8 – Вид зависимостей КПД  $\eta$  и коэффициент мощности  $\lambda$  от нагрузки асинхронного двигателя

Обычно электрические машины проектируются так, чтобы максимальные значения КПД  $\eta$  и коэффициент мощности  $\lambda$  имели место при нагрузке 60–80 % от номинальной, которая наиболее часто встречается в эксплуатации.

С уменьшением нагрузки магнитные и механические потери в двигателе остаются неизменными, а мощность на валу уменьшается. Уменьшается также и активная мощность, потребляемая двигателем из сети, в то время как реактивная мощность не уменьшается, а остается неизменной.

Это приводит к тому, что при малых нагрузках КПД  $\eta$  и коэффициент мощности  $\lambda$  электродвигателя резко снижаются. Из этого следует, что номинальная мощность двигателя в электроприводе должна незначительно превышать мощность, необходимую для исполнительного механизма. Если двигатель постоянно работает с существенной недогрузкой, развивая 50 % номинальной мощности и менее, его следует заменить на двигатель меньшей мощности.

#### 7.5.4 Энергоэффективность сварки

*Сварка – технологический процесс получения неразъемного соединения посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, или пластическом деформировании, или совместном действии того и другого.* На промышленных предприятиях наибольшее распространение получила электродуговая сварка благодаря ее простоте, доступности и универсальности.

Независимо от степени автоматизации процесса сварки (наплавки) и способов защиты металла сварочной ванны любой процесс дуговой сварки требует наличия источника питания. Традиционно используемые источники сварочной дуги (трансформаторы, выпрямители, генераторы) имеют невысокий КПД, что обусловлено магнитным рассеянием (особенно при крутопадающей внешней характеристике). Кроме этого, традиционные источники имеют большой вес и габариты. Сварочные выпрямители и трансформаторы на холостом ходу потребляют значительное количество электроэнергии. Это приводит к неоправданным энергетическим затратам. Поэтому необходимо отключать источники питания от сети при некотором перерыве в процессе сварки.

В настоящее время всё чаще используются *инверторные источники питания*. Принципиально они отличаются от классических трансформаторов и выпрямителей тем, что преобразование напряжения осуществляется на высокой частоте. Благодаря этому габаритные размеры и масса оборудования снижаются в несколько раз, а КПД увеличивается примерно в 2 раза. На холостом ходу потребление электроэнергии сварочным инвертором на порядок ниже по сравнению с традиционными сварочными аппаратами. Следует отметить, что использование инверторных сварочных аппаратов повышает качество сварочного шва и снижает требования к квалификации сварщика. Пульсирующая высокочастотная составляющая внешней характеристики аппарата облегчает зажигание электрической дуги, стабилизирует ее горение, препятствует «примерзанию» электрода, улучшает формирование сварочного шва.

Из существующих в настоящее время наивысшая концентрация энергии в зоне сварочного шва проявляется у *лазерной и электронно-лучевой сварки*. Это играет важную роль для уменьшения энергозатрат энергии при сварке,

поскольку чем выше концентрация энергии, вводимой в зону сварки, тем ниже потери на прогрев околошовной зоны.

Применение электронно-лучевой сварки требует применения вакуумной среды, что приводит к ограничению использования этого способа сварки. Поэтому лазерная сварка является более универсальным способом. Она может производиться как на воздухе, так и в среде защитных газов. Лазерная сварка обеспечивает «кинжальную» форму шва – глубокое проплавление в совокупности с малой шириной. При этом практически отсутствует зона термического влияния и снижаются затраты энергии на прогрев металла.

### 7.5.5 Эффективность использования электроосвещения

Чем ярче свет за спиной, тем светлее впереди.  
*О. Хайям, поэт*

Электрическая энергия для освещения помещений используется при недостатке естественного света. В промышленности на электрическое освещение в среднем расходуется до 10 % потребляемой электроэнергии.

Основным элементом системы искусственного освещения служат лампы. Среди видов ламп можно выделить следующие: лампы накаливания, галогенные лампы, люминесцентные лампы (газоразрядные лампы низкого давления), светодиоды и газоразрядные лампы.

В современной развивающейся светотехнике приоритетные направления связаны с приборами и устройствами, основанными на использовании излучающих свойств специальных полупроводниковых диодов – светоизлучающих диодов, которые работают на принципе использования спонтанной инжекционной электролюминесценции.

Световая отдача различных видов ламп представлена в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Характеристики источников освещения

Тип источника света	Маркировка	Светоотдача, лм/Вт	Коэффициент запаса, $K_{зд}$	Срок службы, ч
Лампа накаливания	ЛН	12	1,1	1 000
Галогенные лампы накаливания	КГ	18	1,1	2 000
Люминесцентные лампы	ЛБ	70	1,3	12 000
Светодиоды	LED	90	1,1	50 000
Ртутные лампы высокого давления	ДРЛ	50	1,3	12 000
Металлогалогенные лампы высокого давления	ДРИ	80	1,3	12 000
Натриевые лампы высокого давления	ДНаТ	100	1,3	12 000

Здесь указана энергетическая эффективность работы светильников – светоотдача, которая равна отношению светового тока (лм) к потребляемой мощности (Вт). Из таблицы 7.1 видно, что наибольшей световой отдачей обладают натриевые лампы высокого давления, но эти лампы применяются в основном для освещения больших территорий (например, уличное освещение). Светодиоды тоже имеют высокую светоотдачу (90 лм/Вт) и широко применяются на предприятиях как в производственных, так и административных помещениях (например, широкоприменяемые ранее на предприятиях ртутные лампы ДРЛ характеризуются светоотдачей 50 лм/Вт, т. е. почти в 2 раза хуже).

*Срок службы* – важнейший эксплуатационный параметр источников света, отражающий две принципиальных позиции: полный (пока прибор не перегрет) и полезный (пока световой поток не упадет ниже определенного предела) сроки службы. Теоретически срок службы светодиодов очень большой, в реальности срок деградации большинства светодиодов может быть значительно меньше. Основной причиной деградации является неправильная эксплуатация светодиодов (скачки тока выше номинального, превышение рабочих температур) и как следствие – быстрое старение и выгорание люминоора.

В отличие от газоразрядных светильников светодиодные позволяют регулировать освещенность за счет снижения питающего напряжения. За счет снижения потребляемого тока потери электроэнергии в соединительных проводах светодиодных светильников в 4–9 раз ниже по сравнению с газоразрядными.

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение оказывает положительное психофизическое воздействие на работающих людей, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, позволяет сохранить высокую работоспособность. Светодиодные светильники создают освещенность с контрастностью, в 400 раз превышающей контрастность газоразрядных светильников, что улучшает качество освещения объектов. Светодиоды являются экологически чистыми и, в отличие от газоразрядных ламп, не требуют специальных условий по обслуживанию и утилизации.

Имеются и экономические выгоды. В отличие от газоразрядных светильников светодиодные позволяют регулировать освещенность за счет снижения питающего напряжения, что позволяет без затруднений получить экономию электроэнергии в ночное время. За счет снижения потребляемого тока потери электроэнергии в соединительных проводах светодиодных светильников в 4–9 раз ниже по сравнению с газоразрядными. Кроме того, как показывают результаты исследований, проводившихся во многих странах мира, использование светодиодных светильников при освещении автомобильных дорог и прилегающих территорий снижает количество ДТП со

смертельным исходом на 65 %, с травматизмом – на 30 %, а материальный ущерб от ДТП в темноте снижается на 15 % [30].

Разнообразные светодиодные осветительные устройства за последние годы стали неотъемлемой частью нашей жизни. В жилых и офисных помещениях, на промышленных и торговых объектах, а также в административных зданиях в Беларуси широко используются светодиодные светильники.

Для повышения эффективности работы и большей экономии средств к светильникам и прожекторам часто подключается датчик движения. Это подъезды, лестничные клетки, коридоры и др., требующие освещения в течение небольшого периода времени. Подобные конструкции позволяют экономить до 30 % электроэнергии.

### ***Вопросы и задачи для закрепления раздела 7***

- 1 Что является источником теплоснабжения?
- 2 В чем отличие ТЭЦ от ТЭС?
- 3 Что такое когенеративная установка?
- 4 Как уменьшить потери теплоты при передаче по трубопроводу?
- 5 Укажите схему ПИ-трубы.
- 6 Что такое реактивная мощность и как она возникает?
- 7 Что осуществляется для уменьшения реактивной мощности?
- 8 Как осуществляется регулирование асинхронных электродвигателей, которые являются приводом насосов или вентиляторов?
- 9 Почему номинальная мощность электродвигателя привода должна только незначительно превышать мощность, необходимую для исполнительного механизма?
- 10 В чем преимущества инверторных источников питания, используемых при электрической сварке?
- 11 Назовите приоритетные направления современного электроосвещения.
- 12 Почему срок службы светодиодов в реальности может быть меньше?

## **8 ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ**

Если бы Господу было угодно, чтобы летали на самолетах, он бы не создал железных дорог.

*М. Фландерс, ученый*

Энергетическая эффективность производства определяется не только собственным потреблением энергии, но и использованием этой энергии для обеспечения соответствующих транспортных связей.

### **8.1 Тяговый подвижной состав железнодорожного транспорта**

Железнодорожный транспорт является крупным потребителем энергетических ресурсов. Оценка энергетического уровня разных видов наземного

транспорта показывает, что железнодорожный транспорт является наиболее энергоэффективным. Но при этом возникают сложные научно-методические вопросы, поскольку резкопеременные нагрузки и частота вращения валов локомотивных двигателей, большая относительная продолжительность их работы на холостом ходу, небольшой коэффициент использования установленной мощности локомотива и ограниченные возможности при выборе энергетического оборудования обуславливают свои особенности в методах решения.

Принципиально рассмотрены два основных вида локомотивов: электровазы и тепловозы.

### 8.1.1 Электрическая тяга

Электрическая тяга является прогрессивным видом тяги на железных дорогах. Источником централизованного энергоснабжения электровазов служит энергосистема Беларуси, объединяющая тепловые, гидростанции и атомную электростанцию. Для обеспечения экономической эффективности электрической тяги большое значение имеет снижение расхода электрической энергии на единицу перевозочной работы и стоимости ее, так как известно, что значительная доля себестоимости перевозок приходится на стоимость электроэнергии. Схема питания электровазов электрической энергией показана на рисунке 8.1.

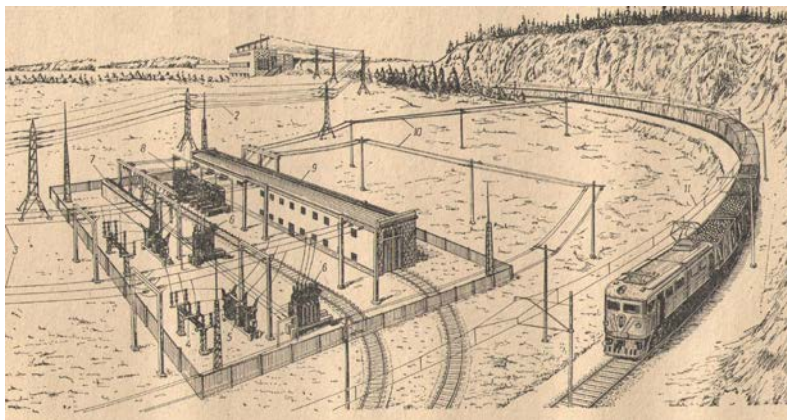


Рисунок 8.1 – Схема электроснабжения электрифицированного участка железной дороги от электростанции:

1 – электростанция; 2 – линия электропередач 110 кВ; 3 – вводы 110 кВ на тяговую подстанцию; 4 – разъединитель; 5 – выключатель; 6 – понижающий трансформатор; 7 – распределительное устройство 10 кВ; 8 – трансформаторы выпрямителей; 9 – здание тяговой подстанции и дистанции контактной сети; 10 – питающие и отсасывающие линии; 11 – контактная сеть

Принципиальная схема электроваза представлена на рисунке 8.2





Рисунок 8.2 – Схематический вид электровоза

Для оценки энергетической эффективности электрической тяги применяют два показателя: КПД электрической тяги и удельный расход энергии, отнесенный к единице перевозочной работы (принято  $10^4$  т·км брутто).

КПД электрической тяги можно определить из выражения

$$\eta_{эв} = \eta_{эл} \eta_{пер} \eta_c^H, \quad (8.1)$$

где  $\eta_{эл}$  – КПД электровоза (нетто) на ободе движущихся колес, учитывающий потери в контактной сети и на тяговых подстанциях;

$\eta_{пер}$  – КПД передачи электроэнергии;

$\eta_c^H$  – КПД электростанции нетто при выработке электроэнергии.

Значение коэффициента  $\eta_{эл}$  определяется следующей зависимостью:

$$\eta_{эл} = \eta_э \eta_{кc} \eta_T, \quad (8.2)$$

где  $\eta_э$  – КПД электровоза;

$\eta_{кc}$  – КПД контактной сети;

$\eta_T$  – КПД линии электропередачи от шин электростанции до места присоединения электрофицированного участка.

Коэффициент, учитывающий потери энергии при выработке на электростанции с учетом собственных нужд, можно определить по формуле

$$\eta_c^H = \eta_c \eta_{с.н}, \quad (8.3)$$

где  $\eta_c$  – КПД электростанции без учета затрат энергии на собственные нужды;

$\eta_{с.н}$  – коэффициент, учитывающий затраты мощности на собственные нужды.

Процесс передачи и распределения электрической энергии неразрывно связан с процессом на производстве. Совершенство этого процесса влияет на экономичность электрической тяги. КПД линии передачи электроэнергии обычно принимается как средняя величина независимо от расстояния без учета распределения потерь в отдельных звеньях энергосистемы.

Применение вышеприведенных формул затруднено и возможно только для номинального режима локомотива, который составляет 3–5 % времени магистрального локомотива. Главным образом локомотив в эксплуатации работает на частичных нагрузках и в холостом режиме. Это специфика ра-

боты локомотива. В каждом конкретном случае с учетом местных условий можно оценить эффективность электрической тяги. При этом следует отметить, что повышение ее, естественно, связано с совершенствованием энергетического хозяйства страны.

Современный энергетический уровень электрической тяги на расчетном режиме оценивается величиной КПД  $\eta_{эв}$ , равной 0,32–0,33. На железнодорожном транспорте практически удобен и принят как нормативный показатель удельный расход электроэнергии электровозом. При этом в качестве единицы работы принята величина  $10^4$  т·км брутто, поскольку учитывается масса вагона. Исследования Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ), выполненные на Белорусской железной дороге в период 2020–2022 годы, показали, что удельный расход электроэнергии в среднем составил:

- в грузовом движении – 90 кВт·ч/ $10^4$  т·км брутто;
- в пассажирском движении – 177,5 кВт·ч/ $10^4$  т·км брутто;
- в пригородном движении – 244 кВт·ч/ $10^4$  т·км брутто.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что наиболее энергоэффективные перевозки на электрифицированных участках железной дороги являются перевозки в грузовом движении, которые на осуществление работы  $10^4$  т·км брутто затрачивают почти в 2 раза меньше электроэнергии по сравнению с пассажирским движением и на 170 % меньше, чем в пригородном движении. Полученные результаты энергоемкости перевозок хорошо согласуются с теорией локомотивной тяги, учитывая массу поезда, скорость движения, число остановок и др.

### 8.1.2 Тепловозная тяга

Тепловоз, в отличие от электровоза, является автономным локомотивом, который по сути является электростанцией на колесах и не зависит от электрической сети, питающей локомотив. На тепловозе, принципиальная схема которого представлена на рисунке 8.3, установлен двигатель внутреннего сгорания.

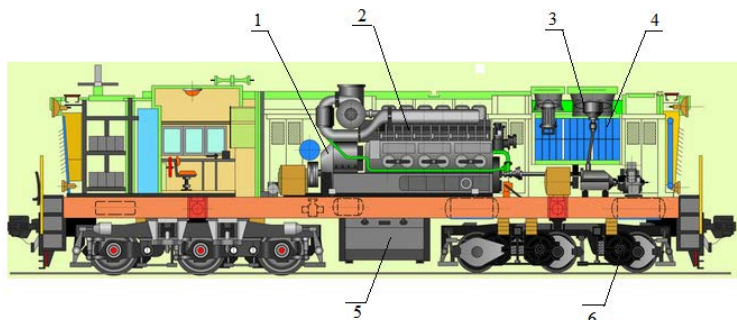


Рисунок 8.3 – Схематический вид тепловоза:

- 1 – электрогенератор; 2 – дизель; 3 – мотор-вентилятор холодильника;  
4 – секции холодильника; 5 – аккумуляторная батарея; 6 – тяговый электродвигатель

Основное термодинамическое преимущество ДВС, как известно, перед другими тепловыми двигателями состоит в высоком уровне температур в процессе подвода теплоты. Кроме того, тепловозный дизель обладает преимуществом работы поршневого ДВС на частичных, нерасчетных режимах. Эффективный КПД современного тепловозного дизеля на расчетном, номинальном режиме достиг 42 %, а расход топлива на холостом ходу (собственно дизеля) при минимально-устойчивой частоте вращения вала составляет примерно от 3 до 8 %.

Для оценки энергетической эффективности тепловозной тяги, как и для электрической тяги, пользуются коэффициентом полезного действия и удельным расходом топлива (на измеритель  $10^4$  т·км брутто).

**КПД тепловозной тяги** – это отношение полезной работы тепловоза, отнесенной к ободу колеса, к теплу, подведенному с топливом.

Значение КПД тепловозной тяги можно выразить в виде произведения составляющих КПД:

$$\eta_{тв} = \eta_c \eta_{п} \eta_{с.н} \eta_{в.н}, \quad (8.4)$$

где  $\eta_c$  – эффективный КПД тепловозного дизеля;

$\eta_{п}$  – КПД передачи тепловоза (применяется в основном электрическая передача, но может быть и гидравлическая);

$\eta_{с.н}$  – коэффициент, учитывающий затраты мощности на собственные нужды;

$\eta_{в.н}$  – коэффициент, учитывающий расход мощности на привод вспомогательных устройств тепловоза.

При высоком значении КПД современного дизеля тепловоза энергетический уровень тепловозной тяги оценивается величиной  $\eta_{тв}$ , равной 0,33–0,34.

*Удельный расход топлива тепловозом, отнесенный к измерителю  $10^4$  т·км брутто, является показателем тепловой (энергетической) экономичности локомотива.* Используя его, можно сравнивать по экономичности различные виды автономной тяги.

Исследования Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ), выполненные на Белорусской железной дороге в период 2020–2021 годы, показали следующие результаты потребления дизельного топлива на тягу поездов тепловозами. Удельный расход дизельного топлива по видам движения в среднем составил:

– в грузовом движении –  $20 \text{ кг}/10^4 \text{ т·км брутто}$ ;

– в пассажирском движении –  $48 \text{ кг}/10^4 \text{ т·км брутто}$ ;

– в пригородном движении –  $48,4 \text{ кг}/10^4 \text{ т·км брутто}$ .

Анализ приведенных данных показывает, что наиболее эффективное потребление дизельного топлива приходится на тепловозы, осуществляющие грузовые перевозки. Использование тепловозной тяги как в пассажирском, так и в пригородном движении гораздо менее эффективно, примерно в 2,4 раза.

### 8.1.3 Сравнительная оценка электрической и тепловозной тяги

Сравнивая КПД тепловозной тяги согласно формуле (8.4) со значением КПД электрической тяги (8.1), необходимо отметить, что по расчетному энергетическому уровню генерации отпускаемой энергии, отнесенной к шинам электростанции для электрической тяги и дизелю для тепловозной тяги, и с учетом КПД использования этой энергии локомотивами, оба названных вида тяги почти идентичны. Действительно, для тепловозной тяги при расчетных условиях имеем  $\eta_{гв}$ , равный 0,33–0,34 (подразд. 8.1.2). Для электрической тяги при расчетных условиях КПД составит  $\eta_{эв}$ , равный 0,32–0,33 (подразд. 8.1.1). При этом потенциальные возможности цикла электростанций, входящих в энергосеть, обеспечивают дальнейший рост КПД электрической тяги, в то время как такие возможности у тепловозного дизеля ограничены.

Сопоставление дизельных затрат при осуществлении электрической и тепловозной тяги на Белорусской железной дороге свидетельствует совершенно о других результатах. Рассмотрим энергопотребление в грузовом движении, как требующее наибольших затрат энергии на тягу поездов, которое составляет для электрической тяги на Белорусской железной дороге около 70 %, а для тепловозной – около 65 %.

Удельный расход электроэнергии при грузовом движении электровозов в 2020–2021 гг. составил  $90 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/10^4 \text{ т}\cdot\text{км}$  брутто. Тариф для Белорусской железной дороги составляет 0,3854 рубля за  $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ . Следовательно, стоимость удельного расхода электроэнергии в наиболее энергозатратном грузовом движении 34,69 рубля.

Удельный расход дизельного топлива в грузовом движении тепловозов в 2020–2021 гг. составил  $20 \text{ кг}/10^4 \text{ т}\cdot\text{км}$  брутто. При тарифе 2736,32 рубля за 1 тонну стоимость удельного расхода составит 54,73 рубля. В результате получаем, что удельный расход энергии в грузовом движении при электрификации дешевле на 36,6 %, чем на тепловозной тяге.

Полученный результат можно объяснить тем, что электростанции в качестве топлива используют главным образом природный газ, стоимость которого для Минэнерго Беларуси 413,14 рубля за  $1000 \text{ м}^3$  (постановление Министерства антимонопольного регулирования и торговли от 29.07.2022 № 49) или 590,2 рубля за 1 тонну при плотности газа  $0,7 \text{ кг}/\text{м}^3$  (при более высокой теплоте сгорания  $47,857 \text{ МДж}/\text{кг}$  против  $42,5 \text{ МДж}/\text{кг}$  дизельного топлива). Сравнивая стоимости 1 т дизельного топлива и природного газа, можно заключить, что последний значительно дешевле.

Однако здесь не учтено дополнительное обустройство железной дороги при электрификации, которое весьма дорого и составляет на практике один миллион долларов США на один километр железнодорожного пути. В результате срок окупаемости электрификации Белорусской железной дороги, несмотря на ее выгодность, становится большим.

## 8.2 Автотракторная техника предприятий

На предприятиях страны эксплуатируется большое количество единиц автотракторной техники. Для работы парка автомобилей и тракторов нужно топливо (бензин, дизельное топливо) и смазочные материалы. Расчет горюче-смазочных материалов осуществляется по методическим рекомендациям. В этих рекомендациях приведена базовая норма расхода топлива, которая зависит от конструкции автомобиля, его агрегатов и систем, категории, типа и назначения автомобильного подвижного состава (легковые, автобусы, грузовые и т. д.), от вида используемого топлива, учитывает массу автомобиля в снаряженном состоянии, типизированный маршрут и режим движения в условиях эксплуатации.

Учет дорожно-транспортных, климатических, по сроку службы и других эксплуатационных факторов производится с помощью поправочных коэффициентов (надбавок), регламентированных в виде процентов повышения или снижения исходного значения нормы (их значения устанавливаются распоряжением руководства предприятия, на основе результатов аккредитованной организации в Белорусском государственном центре аккредитации (БГЦА).

Типовыми мероприятиями по повышению энергоэффективности автотракторной техники могут быть нижеследующие.

1 *Перевод автотракторной техники на более дешевый и экологичный вид топлива (газовое топливо).*

Эксплуатация автотранспортной техники на газовом топливе показала, что двигатель становится более выносливым, срок его работы без капитального ремонта увеличивается в 1,5–2 раза. Газ не содержит вредных примесей как в бензине, поэтому не образуется нагар на поршнях. В отличие от бензина газовое топливо не смывает масляную пленку с цилиндра поршневой группы – в результате реже требуется менять масло.

Использование пропана, точнее смеси пропана и бутана (СНГ или СУГ), позволяет получить следующие преимущества:

- исключение несанкционированного слива топлива;
- распространенность и доступность газовых заправок;
- большой пробег на одной заправке, т. к. газовое топливо хранится на борту автомобиля в сжиженном виде;
- газовые баллоны не занимают много места на борту, серийно выпускаются и имеют низкую стоимость;
- невысокие первоначальные затраты на переоборудование автомобиля.

Срок окупаемости составляет 1,0–1,5 года.

2 *Оптимизация маршрутов движения транспортных средств.*

Осуществляется анализ транспортной схемы районов эксплуатации автотранспорта и ее характеристик, определяющих скорость преодоления отдельных участков, учет временных окон, и характеристик используемых

транспортных средств. Это позволяет определить стоимость километра и в результате выполнить оптимизацию маршрутов движения транспорта для выполнения различных задач (перевозка грузов, людей).

*3 Комплекс организационно-технических мероприятий по контролю за расходом и экономией моторного топлива.*

Этот комплекс содержит следующее:

– контроль за достоверностью и правильностью заполнения маршрутных листов и форм отчетности;

– моральное и материальное стимулирование работников, осуществляющих экономию топлива;

– проведение занятия с водителями по методам экономии топлива.

*4 Замена изношенной и нефункциональной автотракторной техники.*

Замена устаревшей автотракторной техники позволит более эффективно решать предприятиям производственные задачи, значительно снизить затраты на приобретение моторного топлива, техническое обслуживание и ремонт.

### **8.2.1 Белорусское электромобилестроение**

В Республике Беларусь принята государственная программа инновационного развития на 2021–2025 годы, которая предусматривает реализацию около 80 инновационных программ по созданию высокотехнологичных производств. Одна из самых заметных программ посвящена национальному электротранспорту. Выполнение подготовленной комплексной программы развития данной отрасли в 2021–2025 годах позволит создать в Беларуси новый сектор машиностроения – электромобилестроение.

Использование электрического транспорта – одно из направлений грамотного повышения потребления электроэнергии, в связи с вводом в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции. Согласно программе, к 2025 году около 40 % имеющихся в Беларуси автомобилей с двигателем внутреннего сгорания можно будет заменить на электрический транспорт.

Национальная академия наук Беларуси участвует в создании экспериментального производства белорусских электромобилей. Отечественные ученые работают над созданием моделей среднего класса, предназначенных для широкого круга потребителей. Это грузовой, легковой, минивэн и спортивный электромобили. Причем это не Geely, это принципиально другой электромобиль с полностью белорусской начинкой. Для белорусского электромобиля отрабатывается несколько моделей батарей: литийионных, графеновых и графеносвинцовых – с таким счетом, чтобы запас хода у них составил 500 километров.

Объединенный институт машиностроения НАН уже реализует ряд совместных проектов с несколькими белорусскими предприятиями. Так, вместе

с МАЗом разрабатывается электрогрузовик, который будет оснащен разработанной в институте электрической силовой установкой. А результатом работы с Минским тракторным заводом станет электрический комбайн для заливки льда на катках.

В Республике Беларусь принята Комплексная программа развития электротранспорта на 2021–2025 годы, которая направлена на достижение следующих основных целей:

- создание новой отрасли машиностроения – производства электро-транспорта;
- обеспечение условий для увеличения количества используемых транспорт-ных средств на электрической тяге;
- расширение инфраструктуры электротранспорта;
- минимализация негативных влияний на экологию.

Указанная Комплексная программа предполагает решение следующих задач:

- организация производства электротранспорта, его базовых компонен-тов и элементов инфраструктуры и их максимальной локализации;
- создание инфраструктуры электротранспорта, в том числе электроза-правочных станций (ЭЗС), с ее оптимальным пространственным размеще-нием и учетом специфики потребителей (общественный пассажирский и грузовой, персональный электротранспорт);
- координация действий государственных органов по развитию электро-транспорта и его инфраструктуры в общенациональном и региональном масштабе;
- оптимизация инвестиций в создание производств и приобретение элект-ротранспорта;
- формирование и реализация мер по стимулированию развития элект-ротранспорта от научного обеспечения, приобретения и эксплуатации до утилизации и вторичного использования, в том числе для привлечения ин-вестиций в целях ускоренного развития электротранспорта.

Предусмотрено создать научные заделы и производственную базу для увеличения количества используемых транспортных средств на электриче-ской тяге, а также развитую сеть ЭЗС, которая обеспечит беспрепятственное передвижение электромобилей по территории всей Беларуси.

Следовательно, расширение использования электромобилей в Беларуси уже в ближайшие годы должно стать одним из наиболее перспективных направлений развития, которое будет способствовать не только снижению использования импортируемых энергоносителей, обеспечит использование мощностей белорусской энергосистемы, а также улучшит экологическую обстановку.

### **8.3 Основные положения стратегии повышения энергоэффективности Белорусской железной дороги**

В складывающейся экономической ситуации необходимо активизировать работу по повышению энергетической эффективности, предусматривающую жесткую экономию ТЭР, снижение затрат на единицу производимой продукции. Это обусловило необходимость разработки стратегий повышения энергоэффективности Белорусской железной дороги до 2030 года на основе инновационных средств и технологий, а также использования потенциала повышения энергетической эффективности технологических процессов железнодорожного транспорта.

Основными мероприятиями Стратегии Белорусской железной дороги на период до 2030 года являются:

- совершенствование системы организации и управления перевозочным процессом, на основе проведенных тяговых расчетов, с целью оптимизации расхода ТЭР;
- дальнейшая модернизация подвижного состава;
- дальнейшая электрификация обслуживаемых участков Белорусской железной дороги;
- модернизация электросетевого комплекса;
- модернизация котельных с целью вывода из эксплуатации объектов с низкой энергоэффективностью и оптимизации состава котельного оборудования под имеющиеся нагрузки;
- модернизация тепловых сетей с целью ликвидации протяженных сетей, а также применения современных материалов, обеспечивающих низкий уровень потерь тепловой энергии;
- совершенствование систем отопления и освещения;
- совершенствование технологии эксплуатации и ремонта инфраструктуры железнодорожного транспорта и подвижного состава с использованием современного энергосберегающего оборудования;
- автоматизация учета, анализа, планирования и нормирования расхода ТЭР.

Конкретными мероприятиями по реализации энергосберегающих мероприятий на Белорусской железной дороге являются следующие:

- замена неэкономичных котлов и печей с низким коэффициентом полезного действия на более эффективные;
- замена газогорелочных устройств на энергоэффективные;
- внедрение устройств предотвращения накипеобразования на поверхностях нагрева котлов и другого оборудования (магнитно-импульсные и другие);
- другие мероприятия по повышению эффективности работы котельных и технологических печей;



- внедрение частотно-регулируемых электроприводов на механизмах с переменной нагрузкой;
- замена морально устаревших теплообменников на более эффективные;
- децентрализация теплоснабжения с ликвидацией длинных и незагруженных паро- и теплотрасс;
- замена изношенных теплотрасс с внедрением эффективных трубопроводов (предварительно изолированных труб);
- другие мероприятия по оптимизации теплоснабжения;
- внедрение приборов группового, индивидуального учета и автоматического регулирования в системах тепло-, газо- и водоснабжения;
- децентрализация воздухоснабжения с установкой локальных компрессоров;
- внедрение в производство современных энергоэффективных и повышение энергоэффективности действующих технологий, процессов, оборудования и материалов в производстве;
- автоматизация технологических процессов, внедрение автоматизированной системы управления «Энергоэффективность»;
- увеличение термосопротивления ограждающих конструкций зданий, сооружений, жилищного фонда;
- внедрение инфракрасных излучателей для локального обогрева рабочих мест и в технологических процессах;
- внедрение автоматических систем управления освещением;
- внедрение энергоэффективных осветительных устройств, секционного разделения освещения;
- перевод котлов и другого топливоиспользующего оборудования на использование местных топливно-энергетических ресурсов;
- внедрение мероприятий по увеличению использования энергии воды, ветра, солнца, геотермальных источников;
- другие мероприятия по увеличению использования местных ТЭР;
- замена насосного оборудования более энергоэффективным;
- утилизация тепловых вторичных энергетических ресурсов.

В настоящее время наиболее перспективными направлениями по повышению энергетической эффективности в тяге железнодорожных поездов являются:

- модульный принцип построения локомотивов с системой распределенной тяги;
- адаптация локомотивов к изменяющимся условиям работы за счет дооборудования эксплуатируемых серий дополнительными системами и устройствами;
- повышение коэффициента полезного действия локомотивов во всем диапазоне мощности;

- ремоторизация и использование на тепловозах и дизель-поездах двигателей с улучшенными технико-экономическими характеристиками;
- снижение сопротивления движению за счет улучшения характеристик подвижного состава и состояния пути;
- снижение неподрессоренных масс и улучшение ходовых характеристик при прохождении кривых участков пути;
- повышение эффективности применения рекуперативного торможения и использования энергии рекуперации;
- оптимизация режимов ведения поезда, в основе которых заложен принцип минимума потребляемой энергии при выполнении графика движения и ограничения величин продольных динамических сил в составе поезда;
- внедрение систем автоведения с регистраторами параметров движения;
- использование бортовых систем диагностики для предотвращения критических ошибок локомотивных бригад и сокращения времени простоя локомотивов на ремонте;
- развитие автоматизированных систем регистрации и анализа параметров работы и учета электрической энергии и дизельного топлива;
- создание программно-аппаратного комплекса оперативного контроля энергетической эффективности использования тягового подвижного состава с техническим прогнозированием расходования энергоресурсов и выдачей рекомендаций по снижению энергоемкости по каждой поездке;
- внедрение автоматизированных систем прогрева маневровых и магистральных тепловозов.

На Белорусской железной дороге возможна реализация следующих мероприятий по повышению энергоэффективности в тяге поездов:

- сокращение доли локомотивов и моторвагонного подвижного состава с истекшим нормативным сроком службы и низкой энергоэффективностью (вывод из эксплуатации тепловозов серий М62 и ЧМЭЗ);
- модернизация тепловозов и дизель-поездов с использованием современных двигателей внутреннего сгорания (модернизация дизель-поездов серии ДР1Б, тепловозов ДМ62);
- электрификация участков обращения и переход на электрическую тягу (переход на электрическую тягу участков Жлобин – Калинковичи – Барбаров);
- использование автоматизированных систем регистрации и анализа параметров работы и учета расхода ТЭР подвижным составом с передачей информации на аналитический (АСКУЭ) и навигационный сервера Белорусской железной дороги;
- совершенствование системы прогнозирования расхода топлива и электрической энергии на тягу поездов;
- повышение эффективности организации перевозочного процесса (автоматизация процессов управления перевозками, увеличение коэффициента

участковой скорости, уменьшение доли порожнего пробега грузовых вагонов, сокращение времени горячего простоя локомотивов, времени нагона опоздания пассажирских поездов).

В качестве перспективных мероприятий при благоприятных экономических условиях возможна электрификация участков обращения и переход на электрическую тягу (переход на электрическую тягу участков Жлобин – Калинковичи – Барбаров; Барановичи – Лунинец – Калинковичи), (переход на электрическую тягу участков Жлобин – Могилев – Орша – Витебск; Гомель – Калинковичи, Михалки – Словечно – гос. граница).

Основными направлениями работы вагонного хозяйства в области повышения энергоэффективности Белорусской железной дороги являются:

- внедрение подвижного состава с улучшенными технико-экономическими характеристиками;
- внедрение инновационных технических и технологических решений и материалов при ремонте вагонов, направленных на повышение энергоэффективности подвижного состава в эксплуатации;
- использование энергоэффективных систем в производственных помещениях.

Основные затраты на ТЭР в вагонном хозяйстве связаны с электрической энергией на технологические ремонтные процессы. Эти затраты зависят от количества и объема выполняемых ремонтов и включают в себя обработку металлов резанием, сварку металлов, штамповку, технологическую транспортировку ремонтируемых узлов (работу подъемно-транспортного оборудования), работу испытательного и диагностического оборудования, мойку ремонтируемых узлов.

К мероприятиям вагонного хозяйства в части снижения затрат на ТЭР относятся:

- применение сварочных аппаратов на основе инверторных преобразователей;
- замена оборудования избыточной мощности на более экономичное;
- развитие методов и средств технической диагностики подвижного состава;
- отопление цехов на основе лучистого отопления с электрическими инфракрасными обогревателями;
- внедрение интеллектуальных систем управления освещением.

Развитие электросетевого комплекса Белорусской железной дороги в части повышения ее энергоэффективности связано с совершенствованием процессов преобразования, передачи и потребления электрической энергии.

Приоритетными направлениями работы хозяйства электрификации и электроснабжения в области энергосбережения являются:

- расширение полигона электрифицированных участков и модернизация существующих устройств;

– обновление распределительных электрических сетей железнодорожных узлов;

– совершенствование систем учета потребляемой электроэнергии.

Основными мероприятиями в области повышения энергоэффективности электросетевого комплекса являются:

– модернизация контактной сети, в том числе с целью снятия ограничений по пропуску поездов и организации тяжеловесного движения;

– реконструкция и модернизация существующих, а также строительство новых энергоэффективных тяговых подстанций;

– внедрение инновационных устройств поперечной и продольной компенсации реактивной мощности;

– дальнейшее развитие аналитического сервера АСКУЭ Белорусской железной дороги в части обеспечения передачи информации о потребляемой электроэнергии электроподвижным составом с привязкой к границам участков движения и фидерных зон тяговых подстанций.

Источниками финансирования мероприятий по повышению энергоэффективности Белорусской железной дороги могут быть:

– бюджетные средства (другие виды государственной поддержки);

– средства государственных целевых внебюджетных фондов;

– собственные средства;

– внешние и внутренние кредитные ресурсы.

### ***Вопросы для закрепления раздела 8***

1 Назовите основные элементы электровоза.

2 Приведите выражение для определения КПД электрической тяги.

3 Что такое удельный расход электроэнергии для оценки энергетической эффективности электрической тяги?

4 Назовите основные элементы тепловоза.

5 Приведите выражение для определения КПД тепловой тяги.

6 Что такое удельный расход дизельного топлива для оценки энергетической эффективности тепловозной тяги?

7 Назовите численные значения удельных расходов электроэнергии и дизельного топлива соответственно при электрической и тепловозной тяге в грузовом движении, характерные для Белорусской железной дороги.

8 Чем объяснить большое расхождение значений удельных расходов при электрической и тепловозной тяге?

9 Назовите виды электромобилей, которые запланировано производить в Беларуси в ближайшие 5–10 лет.

10 Какой запас хода намечен для легкового электромобиля?

11 Назовите основные положения стратегии повышения энергоэффективности Белорусской железной дороги до 2030 года.

## 9 ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Приобретение любого познания всегда полезно для ума, ибо он сможет отвергнуть бесполезное и сохранить хорошее.

*Л. да Винчи, ученый, художник*

В настоящее время на отопление и горячее водоснабжение в Республике Беларусь ежегодно приходится свыше трети расходуемых ресурсов. С учетом этого энергосбережение в зданиях и сооружениях становится стратегическим условием дальнейшего роста экономики страны.

Следует иметь в виду, что под *зданием* понимается постройка или конструкция, предназначенная для пребывания или проживания людей, функционирования технологических систем и проведения технологических процессов. *Сооружения* – это постройки или конструкции, выполняющие технические функции и не связанные с постоянным пребыванием людей.

Нужно отметить, что через конструктивные элементы здания осуществляются следующие потери теплоты: крыша – 15–20 %, стены – 20–25 %, окна – 20–25 %, пол – 5–10 %. Тепловая защита зданий позволит значительно повысить энергоэффективность всей организации, поскольку в этом случае можно обеспечить снижение первичных энергоресурсов на системы климатизации зданий. Потери теплоты в зданиях обусловлены теплопередачей и инфильтрацией, т. е. проникновением холодного наружного воздуха в помещение через неплотности ограждения.

Основная часть эксплуатируемых зданий производственного и административного назначения была построена в период 1961–1995 гг., когда уровень требований по теплозащитным свойствам наружных ограждений зданий был в 2–4 раза ниже уровня, устанавливаемого ныне действующими нормативными документами. В процессе эксплуатации зданий происходило дальнейшее естественное снижение теплозащитных свойств наружных ограждений, которое не компенсировалось достаточным объемом капитального ремонта. В результате основная часть зданий отрасли может быть обоснованно отнесена к разряду энерасточительных.

В начале 70-х годов XX в. в зарубежную практику проектирования и строительства зданий было введено понятие «энергоэффективное здание». Энергопотребление зданий, которое раньше не было определяющим показателем, стало доминирующим критерием качества проекта. При проектировании энергоэффективных зданий должны использоваться только такие решения, которые осуществимы технически, обоснованы экономически и приемлемы с экологической и социальной точек зрения. Логическим продолжением идеологии энергоэффективных зданий стала разработка концеп-

ции здания с нулевым потреблением энергии (passive house). Для систем климатизации таких зданий используется теплота, выделяемая людьми и оборудованием, а также возобновляемые источники энергии (солнечная энергия, энергия ветра, теплота источников и верхних слоев грунта).

Теплообмен может осуществляться, как известно, тремя элементарными видами: теплопроводностью, конвекцией и излучением.

В реальности указанные процессы передачи теплоты протекают одновременно и влияют друг на друга. Обычно результат одновременного действия отдельных элементарных процессов приписывается одному из них, который считается главным. Влияние же остальных (второстепенных) явлений сказывается лишь на количественной характеристике основного процесса.

Уравнение теплопроводности через однослойную плоскую стенку (рисунок 9.1) имеет вид

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) F = R^{-1} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) F, \quad (9.1)$$

где  $t_{\text{в}}$  и  $t_{\text{н}}$  – температуры внутренней и наружной поверхности стенки, °С;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности стенки (зависит от материала и его температуры, характеризует его способность проводить тепло, Вт/(м·К);

$\delta$  – толщина стенки, м;

$R$  – термическое сопротивление стенки, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;  $R = \delta / \lambda$ ;

$F$  – площадь стенки, м<sup>2</sup>.

Для многослойной стенки термическое сопротивление вычисляется по формуле

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (9.2)$$

где  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя, Вт/(м·К);

$\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя, м;

$n$  – количество слоев стенки.

Уравнение теплопередачи через многослойную плоскую стенку (рисунок 9.2) имеет вид

$$Q_T = k \Delta t F = \left( \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right)^{-1} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) F, \quad (9.3)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\Delta t$  – температурный напор;

$F$  – площадь поверхности стенки, м<sup>2</sup>;

$\alpha_{\text{в}}$  – коэффициент теплоотдачи воздуха со стороны помещения;

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружного воздуха, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $R$  – термическое сопротивление многослойного ограждения, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;  
 $t_n$  – температура наружного воздуха, °С;  
 $t_b$  – температура воздуха внутри помещения, °С.

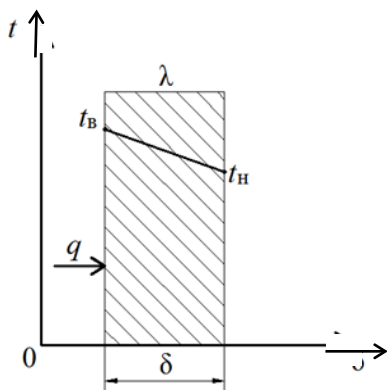


Рисунок 9.1 – Теплопроводность через однослойную плоскую стенку

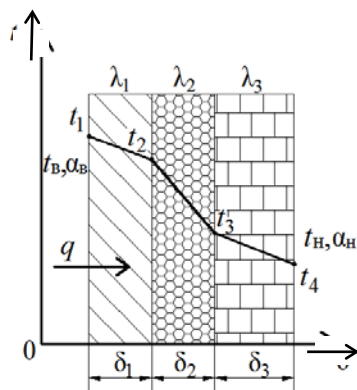


Рисунок 9.2 – Теплопередача через многослойную плоскую стенку

### 9.1 Повышение теплозащитных свойств стен

Для лучшего понимания требований по теплозащитным свойствам наружных ограждений рассмотрим следующий пример. Для наружных стен рекомендуемое термическое сопротивление равно 1,5142 м<sup>2</sup>·°С/Вт. Термическое сопротивление стены можно определить по формуле

$$R = 1/\alpha_b + \sum \delta_i / \lambda_i + 1/\alpha_n, \quad (9.4)$$

где  $\alpha_b$  и  $\alpha_n$  – коэффициенты теплоотдачи на внутренней и наружной поверхности ограждения, принимаемые  $\alpha_b = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С),  $\alpha_n = 23$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$\sum \delta_i / \lambda_i$  – суммарное термическое сопротивление теплопередачи конструктивных слоев ограждения.

Если принять, что стена однослойная и выполнена из керамического кирпича (коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,81$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С), то необходимую толщину такой стены можно определить по формуле

$$\delta = \lambda(R_{\text{req}} - 1/\alpha_b - 1/\alpha_n) = 0,81(1,5142 - 1/8,7 - 1/23) = 1,1, \quad (9.5)$$

т. е. такая стена должна иметь толщину 4,5 кирпича.

Подобная конструкция не только нерациональна с точки зрения технологии строительства, но и весьма затратна. Отсюда можно сделать вывод, что при строительстве энергоэффективных зданий необходимо использовать многослойные конструкции стен и покрытий, обязательно включающие в себя эффективный утеплитель.

В таких конструкциях две основные функции ограждения (несущая и теплоизолирующая) разделены. Несущую функцию обеспечивает железобетонная или кирпичная стена, толщина которой выбирается из условия прочности, теплоизолирующую обеспечивает эффективный утеплитель с коэффициентом  $\lambda = 0,040,08 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Для утепления наружных стен разработаны системы со штукатурными слоями и системы с защитно-декоративными экранами (вентилируемые фасады). Системы со штукатурными слоями предусматривают клеевое или механическое закрепление утеплителя с последующим оштукатуриванием. Клеевое закрепление применяют при высоте стены не более 8 м, для более высоких зданий используют механическое крепление плит утеплителя к несущей части стены с помощью анкеров, дюбелей и т. п. В системах с навесными вентилируемыми фасадами утеплитель фиксируется на наружной поверхности несущей части стены, выполненной из кирпича или бетона, с помощью дюбелей или анкеров. Затем на стене крепятся несущие кронштейны, на которых монтируются специальные профили, образующие единый каркас, на котором создается экран из облицовочных плит. Летом вентилируемый фасад служит солнцезащитным экраном, зимой – защищает конструкцию от осадков и ветра, уменьшает диапазон колебаний температуры несущей стены и защищает ее от периодических процессов замерзания и оттаивания. Точка росы сдвигается в наружный теплоизоляционный слой, поэтому внутренняя часть стены остается сухой.

## 9.2 Улучшение теплозащитных свойств окон

Для современных зданий характерны большие площади остекления. Это способствует сокращению потребления электрической энергии за счет улучшения естественной освещенности помещений. Однако в холодный период года окна являются источником дополнительных потерь, а в теплый период – причиной избыточных теплопоступлений. Для того чтобы этому препятствовать, необходимо использовать светопрозрачные конструкции с улучшенными теплотехническими характеристиками.

Поток солнечного излучения состоит примерно из 52 % видимого света и 48 % инфракрасного и ультрафиолетового излучения [30]. Основная часть потока солнечного излучения (до 80 %), попадающего на поверхность обычного оконного стекла, беспрепятственно пройдет в помещение и будет поглощена внутренней поверхностью помещения и поверхностью массивных предметов (например, оборудования и мебели). Часть солнечного излучения (до 10 %) будет поглощена самим стеклом и в виде теплового излуче-



ния распространится в обе стороны от него (наружу и вовнутрь помещения). Оставшаяся часть (примерно 10 %) солнечного излучения будет отражена наружу. Интенсивность процесса теплопередачи через окно определяется разностью температур внутреннего и наружного воздуха, а также термическим сопротивлением теплопередачи. Термическое сопротивление теплопередачи окна из однослойного стекла мало, и поэтому в холодный период года характерны большие потери теплоты, а в теплый период – большие теплопоступления в помещении.

Увеличение термического сопротивления окон возможно за счет использования многослойных стеклопакетов. Для уменьшения интенсивности теплопередачи стеклопакетов камеры между стеклами заполняются инертными газами (аргон, криптон, ксенон), коэффициент теплопроводности которых меньше, чем у воздуха. Для достижения этой цели можно вакуумировать межстекольное пространство стеклопакета.

В настоящее время активно разрабатываются оконные конструкции с изменяющейся светопропускной способностью. Они снабжены эффективными средствами управления светопропускной способностью для обеспечения оптимального соотношения уровня естественного освещения и величины теплопоступлений в помещение от солнечного излучения как в холодный, так и в теплый период года.

Наибольшее распространение получили две технологии.

#### *1 Электрохромная технология с использованием оксидов металлов.*

Данная технология предусматривает пятислойное покрытие поверхности стекла, наносимое методом вакуумного осаждения (напыления). После нанесения покрытия поверхность закрывается вторым стеклом и обеспечивается герметичность соединения стекол. При подаче управляющего электрического сигнала стекло темнеет и приобретает способность поглощать солнечный свет. Поглощенный в наружном стекле лучистый поток превращается в теплоту и передается преимущественно наружному воздуху. При смене полярности управляющего сигнала стекло возвращается в прозрачное состояние. Как правило, система управления позволяет реализовать только два пограничных состояния: прозрачное и полностью затемненное. Конструкция, выполненная на основе электрохромной технологии, пропускает в прозрачном состоянии примерно 62 % видимой части спектра солнечного излучения, а в полностью затемненном – 3,5 %.

#### *2 Светопрозрачные конструкции с технологией изменения ориентации взвешенных частиц.*

Данная светопрозрачная конструкция состоит из двух слоев стекла (или прозрачного пластика) с электропроводящим покрытием внутренних поверхностей. Покрытие представляет собой ламинированный пленочный слой, содержащий малые взвешенные частицы специально разработанного химического состава. Обычное распределение этих частиц таково, что они ориентированы разнонаправлено и блокируют до 99,75 % падающего на

стекло солнечного света. При подаче на проводящие слои переменного тока частицы ориентируются по силовым линиям электрического поля и пропускают солнечный свет. За счет изменения электрического напряжения можно плавно изменять состояние стекла от прозрачного до практически полностью затемненного.

Существенным преимуществом данной технологии является то, что светопропускная способность изменяется очень быстро. Поэтому продолжительность перехода конструкции из прозрачного состояния в затемненное не зависит от ее размеров и температуры наружного воздуха. Обычно стекло переходит от затемненного состояния к прозрачному приблизительно за одну секунду, а в обратном направлении – менее чем за три секунды. Появление стекла, светопропускной способностью которого можно управлять, позволяет говорить о возможности создания «умных» («интеллектуальных») окон. Система управления такими окнами может быть запрограммирована на оптимальный уровень освещения и энергопотребления с поминутной разбивкой по времени суток, а также на учет наличия людей в помещении и наружных климатических условий. Затраты энергии на такую систему управления крайне незначительны.

### **9.3 Повышение энергоэффективности в системах отопления**

Выбор системы климатизации (отопления, вентиляции, кондиционирования) здания должен выполняться с учетом определенных норм по расходу на них тепловой и электрической энергии.

Основные направления повышения энергоэффективности систем климатизации следующие:

- оптимизация гидравлических (аэродинамических) характеристик системы с целью снижения потерь давления;
- использование эффективного насосного, компрессорного и вентиляторного оборудования;
- использование автоматизированных узлов управления, обеспечивающих эффективную работу системе климатизации;
- снижение потерь теплоты в системах подачи теплоносителей;
- рациональное использование различных возобновляемых источников энергии и низкопотенциальных вторичных энергоресурсов.

Системы отопления классифицируются прежде всего по виду теплоносителя, в зданиях различного назначения используются системы водяного, парового и воздушного отопления. Кроме того, необходимо отметить активно развивающиеся в настоящее время системы лучистого отопления. С точки зрения регулируемости наихудшими являются системы парового отопления, применение таких систем в энергоэффективных зданиях не рационально. Все другие из указанных выше систем отопления вполне могут быть использованы при условии правильного подхода к выбору схемы, структуры и оборудования.

### 9.3.1 Водяные системы отопления

Этот вид систем отопления наиболее распространен в Беларуси из-за явного преобладания централизованного теплоснабжения от ТЭЦ и крупных центральных котельных.

В то же время водяные системы отличаются довольно низкой степенью управляемости. Поэтому без определенной доработки использовать такую систему отопления в современных энергоэффективных зданиях невозможно. Структура современной системы водяного отопления должна обязательно предусматривать эффективное центральное регулирование, а также возможность местного автоматического регулирования.

Местное автоматическое регулирование наиболее просто может быть выполнено на основе применения термостатических клапанов. Клапан может настроить на температуру воздуха от 6 до 26 °С и он будет автоматически поддерживать заданную температуру, изменяя количество теплоносителя, проходящего через отопительный прибор. В результате снижения теплоотдачи отопительного прибора хотя бы в одном из помещений повышается температура воды в обратном трубопроводе. Использование традиционной схемы со смешением в элеваторе приводит к повышению температуры воды за элеватором и увеличению теплоотдачи отопительных приборов в других помещениях здания. Поэтому для достижения суммарного энергосберегающего эффекта необходимо использовать более современные тепловые пункты, схемы которых представлены на рисунке 9.3. В них предусматривается поддержание заданной температуры воды в обратном трубопроводе за счет уменьшения расхода воды из подающего трубопровода. Это обеспечивает реальное снижение расхода теплоты на отопление.

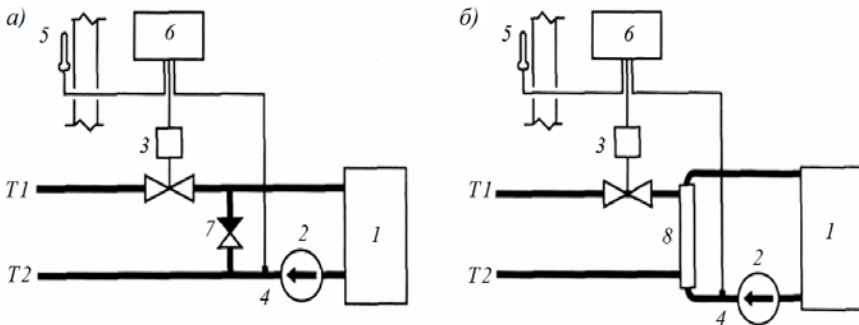


Рисунок 9.3 – Схемы центрального теплового пункта при зависимом (а) и независимом (б) присоединении к тепловой сети:

1 – система отопления; 2 – циркуляционный насос; 3 – регулирующий клапан; 4 – датчик температуры обратной воды; 5 – датчик температуры наружного воздуха; 6 – регулятор; 7 – обратный клапан; 8 – теплообменник

### 9.3.2 Системы воздушного отопления

В производственных зданиях большого объема в основном проектировались одновременно система водяного отопления с местными отопительными приборами и система воздушного отопления, совмещенная с приточной вентиляцией. При работе системы воздушного отопления воздух предварительно подогревается горячей водой и паром, после чего с температурой более высокой, чем температура воздуха в помещении поступает по воздуховодам в приточные воздухораспределительные устройства и через них выпускается в отапливаемое помещение. Совмещение систем водяного и воздушного отопления имеет как определенные достоинства, так и недостатки. С точки зрения энергоэффективности недостатки явно преобладают:

- большой расход электроэнергии на привод вентиляторов;
- увеличенные теплопотери через верхнюю часть наружных стен и покрытие (вследствие увеличения температуры воздуха по высоте здания);
- сложность обеспечения согласованной работы двух систем отопления в условиях изменения теплопоступлений в помещения от солнечного излучения, оборудования и людей (система регулирования еще более усложняется, если в помещении необходимо создать несколько зон с различными условиями микроклимата).

Вышеперечисленные недостатки могут быть в значительной степени устранены при обустройстве в здании только системы воздушного отопления с теплогенераторами, работающими на природном газе или дизельном топливе. Возможно размещение теплогенератора на крыше здания.

Если обобщить достоинства воздушного отопления на основе воздухонагревателей, то можно отметить следующее:

- появляется возможность объединения отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в одной системе, отличающейся малой металлоемкостью и стоимостью;
- повышается надежность и экономичность за счет отсутствия промежуточного теплоносителя – воды (исключается возможность «разморозки» системы и теплопотерь в тепловых сетях);
- за счет малой инерционности системы обеспечивается возможность автоматического регулирования температуры воздуха в помещении по временному графику, т. е. реализуется возможность полноценного «дежурного» отопления;
- за счет использования современного горелочного оборудования обеспечивается высокий (91–95 %) КПД теплогенератора на всех режимах работы (вплоть до минимальной теплопроизводительности); возможна также работа теплообменника в конденсационном режиме, при котором используется теплота конденсации водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания;

– появляется возможность оптимального размещения теплогенераторов при отоплении производственных зданий большой площади без устройства системы трубопроводов для подвода и отвода теплоносителя (транспортировка первичного топлива всегда более рациональна, чем транспортировка теплоносителя); при таком размещении теплогенераторов возможно оптимизировать расход электроэнергии на транспорт воздуха.

### 9.3.3 Системы лучистого отопления

При лучистом отоплении обогрев помещения происходит, главным образом, за счет лучистого теплообмена между источниками теплоты – лучистыми обогревателями и поверхностями строительных конструкций, различных объектов, а также одеждой и кожей людей, находящихся в зоне обогрева. К тепловому излучению относится инфракрасное излучение с длиной волны  $\lambda = 0,8 \dots 800$  мкм, поэтому это отопление называют также инфракрасным отоплением. Попадая на поверхность ограждений и предметов, излучение частично поглощается и частично отражается ими.

За счет поглощенного теплового излучения пол и строительные конструкции нагреваются, а затем отдают аккумулированную теплоту в основном за счет конвективного теплообмена воздуха в помещении. Такой характер теплообмена способствует более равномерному распределению температуры по высоте здания и не приводит к дополнительным потерям теплоты через покрытие и верхнюю часть наружных стен.

Другой важной особенностью, характерной только для помещений, оборудованных лучистой системой отопления, являются закономерности теплообмена находящиеся в рабочей зоне людей. В помещениях, оборудованных традиционными системами отопления (водяной или воздушной), человек отдает основную часть теплоты, продуцируемой в его организме, за счет конвективного и лучистого теплообмена. В помещении, оборудованном системой лучистого отопления, имеются относительно небольшие по площади высокотемпературные поверхности излучающих панелей, а также значительные по площади поверхности пола, стен, других строительных конструкций и оборудования, температура которых несколько выше, чем при традиционных системах отопления. Это приводит к значительному уменьшению теплоты, отдаваемой человеком в окружающее пространство за счет лучистого теплообмена, и позволяет увеличить теплоту, отдаваемую конвекцией за счет некоторого снижения температуры воздуха в рабочей зоне, т. е. при лучистом отоплении тепловой комфорт может быть обеспечен при температуре воздуха в рабочей зоне более низкой, чем при традиционных системах отопления. Инфракрасное отопление является энергосберегающим, поскольку даже снижение температуры воз-

духа в рабочей зоне на 1–2 °С обеспечивает снижение расхода теплоты на отопление на 10–12 %.

Лучистое отопление может быть реализовано в нескольких вариантах. Наиболее простым из них является вариант, предусматривающий использование электрических инфракрасных («светлых») излучателей. К светлым относят также газовые инфракрасные излучатели (ГИИ) с открытой атмосферной горелкой, не имеющей организованного отвода продуктов сгорания. Они имеют температуру излучающей поверхности более 600 °С и могут использоваться для обогрева открытых и полуоткрытых производственных площадок, складских помещений и т. п.

Другой вариант организации лучистого отопления предусматривает использование ГИИ с вентиляторным газогорелочным блоком, отводом продуктов сгорания за пределы обслуживаемого помещения («темных» излучателей). Они имеют температуру излучающей поверхности менее 600 °С.

«Темные» излучатели представляют собой конструкцию, состоящую из нескольких труб, помещенных в несущий стальной каркас, полностью изолированный с трех сторон плоскими панелями. Панели выполнены из стекловолокна повышенной плотности и отделаны алюминием для лучшего отражения теплового излучения. Продукты сгорания газообразного топлива, движущиеся внутри труб, нагревают их и способствуют созданию лучистого теплового потока величиной 1,6–3,3 кВт на 1 м длины панели. Охлажденные продукты сгорания выбрасываются в атмосферу. Обогрев панелей продуктами сгорания с точки зрения эксплуатационных затрат является гораздо более выгодным по сравнению с электрическим обогревом. Так как при этом сохраняются все преимущества лучистого отопления, то использование «темных» излучателей для отопления производственных зданий и сооружений следует признать гораздо более предпочтительным по сравнению с применением «светлых» излучателей.

Газовые инфракрасные излучатели характеризуются малой инертностью, хорошей управляемостью и высоким (не менее 92 %) общим КПД. В результате их применения стоимость энергоресурсов, используемых для отопления производственных помещений, может быть снижена в 2,5–3 раза.

Системы лучистого отопления позволяют получить ощутимую экономию энергии за счет возможности зонального обогрева, управления температурным режимом в зависимости от температуры наружного воздуха, снижения температуры в помещениях в нерабочее время.

#### **9.4 Повышение энергоэффективности систем вентиляции**

Вентиляция (воздухообмен) является основным способом обеспечения чистоты воздуха в помещениях зданий различного назначения. От качества и надежности работы вентиляции зависит здоровье людей, сохранность

и долговечность строительных конструкций, а также качество выпускаемой продукции. По способу перемещения воздуха системы вентиляции разделяются на системы с естественным побуждением движения воздуха и системы с искусственным побуждением. В системах с естественным побуждением воздух перемещается за счет гравитационных сил и ветрового давления. В системах с искусственным побуждением воздух перемещается с помощью вентиляторов, поэтому такие системы называются *системами механической вентиляции*.

Основным достоинством естественной вентиляции являются простота и невысокая стоимость эксплуатации, а также практически полное отсутствие необходимости обслуживания. Недостатки – неустойчивый воздушный режим помещений, вызываемый значительным влиянием температуры наружного воздуха и направления ветра, дискомфорт от проветривания при низких температурах наружного воздуха, высокая вероятность проникновения в помещения уличного шума и пыли.

Открытые вентиляционные системы обеспечивают замену загрязненного воздуха в помещениях чистым, но не предусматривают возможности использования теплоты удаляемого из помещений воздуха. При использовании системы рекуперации большая часть этой теплоты может быть передана приточному воздуху, в результате чего возможно существенное (20–35 %) снижение расхода теплоты на системы вентиляции и отопления.

В качестве важнейших факторов, влияющих на эффективность использования рекуперации, следует отметить:

- герметичность наружных ограждающих конструкций;
- оптимальную разводку приточных и вытяжных воздуховодов, обеспечивающую в них минимальные потери давления;
- использование энергоэффективного оборудования (вентиляторов, теплообменников);
- регулировку системы при вводе ее в эксплуатацию и обязательное профилактическое обслуживание в процессе эксплуатации.

Схема вентиляции с рекуперацией теплоты вытяжного воздуха из помещения изображена на рисунке 9.4. Рекуператор состоит из двух теплообменных аппаратов: один (7) находится в вытяжном канале и служит для нагрева теплоносителя загрязненным (теплым) воздухом в рабочем помещении, другой (6) служит для передачи полученной теплоты приточному (холодному) воздуху. Между теплообменниками циркулирует незамерзающий теплоноситель по трубопроводу 8. Такая схема особенно целесообразна в зданиях, где места забора приточного воздуха и выброса удаляемого воздуха находятся на значительном расстоянии друг от друга.

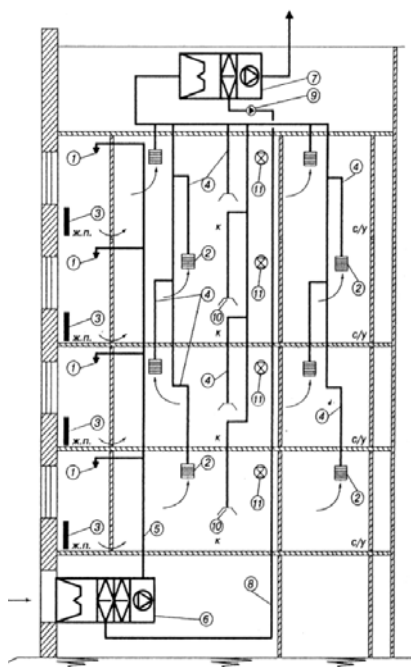


Рисунок 9.4 – Схема системы механической приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха:

*ж. п.* – жилое (офисное) помещение;  
*к, с/у* – вспомогательные помещения;  
 1 – приточное устройство; 2 – вытяжное устройство; 3 – отопительный прибор;  
 4 – вытяжные каналы; 5 – приточные каналы; 6 – приточная камера с утилизатором теплоты; 7 – вытяжная камера с утилизатором теплоты; 8 – трубопровод промежуточного теплоносителя; 9 – циркуляционный насос; 10 – местное вытяжное устройство; 11 – уравнивающий клапан

Негерметичность ограждающих конструкций, прежде всего окон и входных дверей, приводит к появлению неорганизованных поступлений и утечек воздуха, и, следовательно, к повышению кратности воздухообмена. В результате уменьшается доля теплоты, возвращаемой в помещение за счет рекуперации. Так как приточно-вытяжная система вентиляции требует дополнительных расходов электроэнергии на привод вентиляторов, важной частью ее проектирования должно быть разумное ограничение объемов перемещаемого воздуха, минимизация потерь давления в воздуховодах и других элементах системы, а также использование энергоэффективных вентиляторов. Как подсказывает опыт проектирования энергоэффективных зданий, при грамотно выполненном проекте экономия теплоты за счет рекуперации в течение года может более чем в 5 раз превышать дополнительный расход электрической энергии.

## 9.5 Энергоэффективность систем водоснабжения и водоотведения

Обеспечение природной водой и снижение уровня загрязнения окружающей среды от сброса неочищенных стоков приобретает особую актуальность. Данные вопросы тесно связаны со степенью применения современных технологий в подаче и очистке воды, а значит, с энергоэффективностью этих процессов.



Забор воды может осуществляться из открытых источников, если есть возможность свободного доступа к водным объектам, или из подземных источников (артезианских скважин, шахтных колодцев). В последнем случае забор является менее затратным, поскольку подземная вода характеризуется постоянством химического и бактериального состава в течение года, что уменьшает перечень технологических операций, направленных на доведение воды до требуемого качества. Воду из открытых источников, как правило, можно использовать лишь для технических целей.

Системы водоснабжения включают насосную станцию, которая предназначена для подачи воды на очистные сооружения или в водонапорную башню (в случае отсутствия очистки воды), а также для подачи очищенной воды из резервуаров в распределительную сеть.

Системы водоотведения включают инженерные сооружения для сброса сточных, а также очистки и обеззараживания стоков и их остатков.

Канализация может быть общесплавная, полураздельная и раздельная. При общесплавной канализации осуществляется сбор и отведение всех видов сточных вод, включая бытовые, производственные, поверхностные и поливомоечные сточные воды.

При полураздельной канализации одна сеть служит для отведения хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, другая – для отведения дождевого, талого и поливомоечного стока.

При раздельной системе канализации создаются несколько самостоятельных канализационных сетей: сеть для отведения хозяйственно-бытовых и малозагрязненных производственных сточных вод; сеть для отведения загрязненных производственных сточных вод; сеть для отведения дождевого, талого и поливомоечного стока с площадок предприятий и городских территорий.

Для хозяйства водоотведения основные технические, экономические и экологические проблемы во многом аналогичны.

Основной из главных целей технического перевооружения систем водоснабжения и водоотведения является повышение их энергетической эффективности. Основным видом энергоресурса, потребляемого в этих системах, является электроэнергия.

Работы по повышению энергоэффективности систем водоснабжения и водоотведения можно сгруппировать по двум основным направлениям.

1 Экономия электроэнергии при перекачке воды и стоков:

- использование частотно-регулируемых приводов на насосных станциях (экономия 40–45 %);
- установка на ответвлениях сети датчиков и регуляторов сетевого давления (7–10 %).

2 Сокращение расхода воды на собственные нужды и утечки, что в свою очередь приведет и к экономии электроэнергии на перекачку:

- сокращение использование воды на собственные нужды в водозаборных станциях (до 5 %);
- оптимизация режимов промывки фильтров (2–3 %);
- применение технологии водовоздушной промывки (3–5 %);
- замена металлических труб на полимерные (3–5 %);
- применение систем электрохимической защиты стальных трубопроводов (до 6 %);
- установка счетчиков расхода воды на входах объектов водопотребления (до 3 %).

При этом в каждом конкретном случае необходимо выполнение технико-экономического обоснования для реализации предложенных мероприятий. Главным техническим мероприятием по реализации повышения энергоэффективности является применение в системах водоснабжения и водоотведения насосных агрегатов, укомплектованных асинхронными электродвигателями с частотно-регулируемыми приводами (ЧРП).

Применение ЧРП позволяет регулировать насосные агрегаты не дроссельной заслонкой, а частотой вращения электродвигателя, что позволяет получить в сжатые сроки значительный экономический эффект за счет снижения потребления электроэнергии.

Ниже (рисунок 9.5) представлен график зависимости относительного потребления приводом электроэнергии от расхода. Экономия электроэнергии может составлять до 60 %.

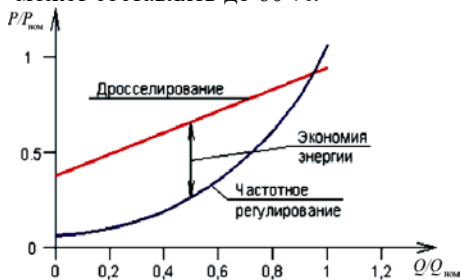


Рисунок 9.5 – Снижение расхода электроэнергии при применении ЧРП

Кроме того, применение ЧРП позволяет иметь ряд дополнительных технических преимуществ:

- устранение гидравлического удара при плавном пуске, что предотвращает аварийные ситуации в трубопроводах;
- возможность дистанционного управления одним или несколькими агрегатами по заданной программе;
- снижение нагрузки на электросеть при пуске двигателя, что продлевает срок эксплуатации не только сети, но и привода;
- увеличенное количество функций защиты – от перегрева двигателя, «сухого хода», пуска двигателя с заклиненным ротором, пониженного или повышенного напряжения.

При использовании ЧРП достигается также экономия перекачиваемой воды. При ручном регулировании давления задвижками на напорной линии насоса операторы корректируют давление периодически, через определен-

ные промежутки времени, а расход изменяется постоянно. Поэтому при уменьшении расхода возможно повышение давления, а при повышении – снижение давления относительно требуемого. В результате увеличиваются потери воды с утечками и расход воды потребителями. При применении частотного регулирования требуемое давление поддерживается стабильно на заданном уровне, что приводит к уменьшению расхода воды. Уровень экономии может составлять до 5–7 % общего расхода.

Применение преобразователей частоты позволяет осуществлять плавный запуск и остановку насосов. Благодаря этому исключаются механические перегрузки насосных агрегатов при пуске, минимизируются пусковые токи. Всё это положительно влияет на ресурс как механической, так и электрической части. Также отсутствие пусковых токов приводит к повышению качества электроэнергии, что благотворно влияет на другие электроприемники. Стабильно поддерживаемое давление положительно влияет на срок службы трубопроводов.

Кроме того, применение преобразователей частоты на насосах дает значительное повышение надежности работы агрегатов, что зачастую является основным фактором в пользу их применения.

### ***Вопросы и задачи для закрепления раздела 9***

1 Приведите уравнение теплопроводности через однослойную плоскую стенку.

2 Приведите уравнение теплопередачи через многослойную плоскую стенку.

3 Назовите способы повышения теплозащитных свойств стен.

4 Какой способ утепления наружных стен лучше: а) с внутренней стороны; б) с наружной стороны?

5 Что такое вентилируемый фасад здания и каково назначение воздушной прослойки утеплителем и облицовкой фасада?

6 Производственное помещение имеет стены из строительного кирпича ( $\lambda = 0,7 \text{ Вт/(м·К)}$ ). Температура внутренней поверхности стены  $+16 \text{ }^\circ\text{C}$ , наружной  $-7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определите толщину стены при температуре воздуха  $t_0 = -24 \text{ }^\circ\text{C}$  и ее коэффициенте теплоотдачи  $a_{\text{нс}} = 1,6 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . Изобразите схему расчета.

7 В пассажирском вагоне при температуре атмосферного воздуха  $t_0 = -10 \text{ }^\circ\text{C}$  поддерживается температура внутри  $t_{\text{в}} = +20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определите термосопротивление теплопроводности многослойного кузова вагона, если коэффициент теплопередачи стенки вагона  $K = 0,85 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ , а температура стенки вагона с внутренней и наружной сторон соответственно равна  $+16 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $-7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Изобразите схему расчета.

8 Назовите способы улучшения теплозащитных свойств окон.

9 Какой газ предпочтителен для заполнения стеклопакетов: воздух, аргон, ксенон?

10 В чем отличие распределения температур по высоте здания при традиционной (радиаторной) водяной системе отопления и при лучистом отоплении?

11 Назовите особенности инфракрасного (лучистого) отопления.

12 Назовите различия между естественной и принудительной вентиляцией.

13 Приведите схему утилизации теплоты вытяжного воздуха при вентиляции.

14 Назовите основные мероприятия по повышению энергоэффективности систем водоснабжения и водоотведения.

15 Почему применение ЧРП в системе водоснабжения приводит к значительной экономии ТЭР?

## 10 ОСНОВЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА

В этом мире наша первая обязанность состоит в том, чтобы устраивать производные островки порядка и системы.

*Н. Винер, кибернетик*

*Управление энергоснабжением и энергопотреблением (энергоменеджмент) – это совокупность организационных и технических мероприятий, направленных на повышение эффективности использования ТЭР. Энергетическому менеджменту свойственны общие функции управления (менеджмента): планирование, организация, мотивация, контроль и координация.*

### 10.1 Цель и задачи энергоменеджмента

Цель энергоменеджмента предприятия – уменьшить энергетическую составляющую в общей структуре затрат предприятия и, следовательно, обеспечить конкурентоспособность выпускаемой продукции на внутреннем и внешнем рынках.

Задачами энергетического менеджмента являются:

- выявление дефектов, сбоев и фактов нерационального использования ТЭР в энергопотребляющих системах;
- оперативное принятие управленческих решений в случае возникновения тенденций к увеличению использования энергоресурсов;
- определение перечня мероприятий по совершенствованию производственной деятельности и приоритета их реализации;
- увеличение значимости критериев энергетической эффективности (и экономической) безопасности при управлении деятельностью предприятия.

Энергоменеджмент включает в себя организацию оптимального функционирования развития энергетической части производства на основе достижений науки, техники, технологии.

Для обеспечения вышеуказанного необходима систематическая работа по следующим направлениям:

- систематическое проведение энергообследования основного и вспомогательного производств для получения своевременной информации о положении с общим потоком энергии в пределах исследуемой системы (технологической линии и предприятия в целом);

- разработка конкретных мероприятий по экономии энергии с определением ожидаемых (в результате внедрения) и требуемых для внедрения средств;

- обеспечение необходимой ответственности за проведение политики энергоэффективности и энергосбережения на предприятии;

- изучение достижений в области энергоэффективной техники и технологий;

- разработка программ внедрения энергоэффективной техники и технологий на производстве с обоснованием экономической целесообразности предлагаемых мероприятий энергетической эффективности;

- изучение и оценка достигнутых результатов.

## 10.2 Система энергоменеджмента

Человек должен верить, что непонятое можно понять.

*Гете, поэт*

Вопросы энергоэффективности в настоящее время рассматриваются как первоочередные. Актуальность энергобезопасности усиливается в связи с быстрым возрастанием цен на традиционное углеводородное топливо (например, в феврале 2022 года на международном рынке стоимость 1 барреля нефти составила около 100 дол., цена 1 тыс. м<sup>3</sup> природного газа – около 1000 дол.), недостаточной эффективностью, нетрадиционной, дорогостоящей «зеленой» энергетики ВИЭ, производствами новых средств и оборудования для обеспечения комфортной (соответствующей XXI веку) жизнедеятельности, которые требуют значительного потребления энергоресурсов, и т. д. Перечень можно продолжать, чтобы обосновать актуальность энергобезопасности страны, но ограничимся перечисленным.

Внимание любого предприятия сосредоточено на стремлении повысить его энергоэффективность, снизить энергоемкость продукции, обеспечить конкурентоспособность ее на рынке. Следовательно, закономерным решением становится применение энергоменеджмента.

В настоящее время во всём мире «принят на вооружение» стандарт ISO 50001. Этот стандарт развивает и выводит на международный уровень

методологию системы энергоменеджмента, которая ранее была представлена национальными стандартами Южной Кореи (2007 г.), США (2008 г.), ЮАР (2009 г.), Китая (2009 г.) и Республики Беларусь (2009 г.)

В объединенной Европе принят общеевропейский стандарт EN 16001:2009 (июль 2009 г.), которым руководствуются тридцать европейских стран. Главное предназначение стандарта ISO 50001 – помочь организациям интегрировать энергоэффективность в их текущую управленческую практику.

Стандарт ISO 50001 является универсальным, т. к. использует подход «один размер, пригодный для всех» (*one-size-fits-all*), и поэтому он применим любой организацией независимо от ее размеров и отраслевой принадлежности. Его требования сформулированы как предписывающие. Метод достижения каждого из этих требований предприятие определяет само, исходя из собственных нужд и потребностей, опираясь на собственный опыт. Такой гибкий подход требует от предприятия, применяющего этот стандарт, самому учитывать специфику, связанную с такими аспектами, как характер выпускаемой продукции, сложность производственных (технологических) процессов, компетентность своего персонала и т. д. В результате у различных предприятий, в зависимости от их размера, структуры и вида деятельности, могут быть различные способы и пути выполнения требований стандарта ISO 50001.

Например, следует разработать четкие должностные инструкции, которые направлены на обеспечение качества продукции, отсутствие нанесения ущерба окружающей среде и жесткого соблюдения правил техники безопасности и охраны труда. Особое внимание при экономии энергии на предприятии необходимо уделять компетентности персонала.

К системе менеджмента высшее руководство организации должно постоянно демонстрировать свою приверженность. Систематически поддерживать систему менеджмента в рабочем состоянии: проводить внутренние аудиты, анализировать результаты и принимать корректирующие действия. Каждый руководитель на своём уровне должен демонстрировать своё лидерство: мастер – рабочий, начальник цеха – мастер, директор – заместитель.

Вся система должна иметь рычаги воздействия на работающих, прежде всего экономические: соответствие требованиям – норма; превышение – премия, увеличение зарплаты; понижение – штраф, уменьшение зарплаты.

Внедряя систему энергетического менеджмента, предприятие может ограничиться лишь использованием сэкономленной энергии в рамках отдельных подразделений и (или) улучшать выполнение операций в рамках функционирования отдельных технологических систем, процессов или оборудования.

В современном мире энергоэффективность любой организации рассматривается как часть ее социальной ответственности перед обществом. Внедрение системы энергоменеджмента – это один из инструментов повышения энергоэффективности и энергосбережения на предприятии.

## **Вопросы для закрепления раздела 10**

- 1 Что такое энергоменеджмент на предприятии?
- 2 Назовите цель и задачи энергоменеджмента на предприятии.
- 3 Чем обеспечивается работа энергоменеджмента на предприятии?
- 4 Почему проблема энергоэффективности в настоящее время очень актуальна?
- 5 Какие аспекты работы предприятия учитываются стандартом ISO 50001?

## **11 ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Если вы не думаете о будущем, его у вас не будет.  
*Дж. Голсуорси, писатель*

При развитии топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Беларуси необходимо обеспечить надежность и безопасность государства при потреблении топливно-энергетических ресурсов с учетом их рационального использования.

### **Основные направления развития ТЭК**

1 Обеспечение энергетической безопасности и усиление энергетической независимости Беларуси. С этой целью увеличивается доля вторичных энергетических ресурсов (горючих, тепловых и избыточного давления). Шире вовлекаются в топливно-энергетический баланс местные виды топлива (дрова, топливная щепка, древесные отходы, солома и прочие виды). Увеличивается доля возобновляемых источников энергии (гидроэлектростанции, ветроэнергетические установки, тепловые насосы, фотоэлектрические станции, гелиоводонагревательные и биогазовые установки). Диверсифицируются импортируемые первичные топливно-энергетические ресурсы. Создаются стратегические запасы основных видов энергоносителей (подземные газовые хранилища, нефте- и мазутохранилища).

2 Расширение электрификации. Электрическая энергия является наиболее удобным видом энергии и по праву может считаться основой современной цивилизации, обеспечивающей большинство технических средств механизации и автоматизации производственных процессов (оборудование, приборы, IT-технологии), замену человеческого труда машинным. Здесь необходимо отметить, что в 2023 году завершается строительство АЭС, которая значительно уменьшит энергетическую зависимость от других стран и повысит энергетическую безопасность Республики Беларусь.

Широкое использование электрической энергии, как известно, обусловлено следующими факторами:

- возможностью выработки электроэнергии в больших количествах на одном генерирующем предприятии и транспортировки ее на дальние расстояния при сравнительно небольших потерях;
- возможностью трансформации в другие виды энергии: механическую, химическую, тепловую, световую;
- отсутствием загрязнения окружающей среды при использовании;
- возможностью применения на ее основе принципиально новых прогрессирующих технологических процессов с высокой степенью автоматизации.

Реконструкция и модернизация действующих, а также замена выработавших срок энергетических мощностей с использованием новых технологий. Так, на тепловых электростанциях широкое применение получили парогазовые установки. В них объединены общим технологическим циклом паротурбинная и газотурбинная установки. В результате КПД парогазовой установки выше по сравнению с отдельно взятыми паротурбинной и газотурбинной установками.

Применение парогазовой установки, имеющей КПД, равный 44–46 %, позволяет повысить общий КПД тепловой электростанции, а значит, эффективный расход топлива.

4 Развитие прогрессивных технологий в нефтепереработке, повышающих ее глубину и качество нефтепродуктов. Как известно, в Беларуси два современных нефтеперерабатывающих предприятия: Новополоцкий («Нафтан») и Мозырский. Их продукты нефтепереработки являются весомой долей в экспорте страны. Увеличить эту долю можно, либо повысив общий объем переработки нефти (она ограничена импортером, т. е. внешним государством), либо при прежнем объеме переработки улучшить технологию, увеличив глубину переработки сырой нефти (зависит только от Беларуси).

5 Увеличение объема транзитных услуг при передаче энергетических ресурсов и самой энергии. Это транзит сырой нефти и продуктов нефтепереработки, природного газа и электрической энергии.

6 Снижение энергоемкости внутреннего валового продукта (ВВП) на основе реализации передовых мировых достижений в области технологического, структурного и организационных потенциалов энергосбережения. При этом снижение ВВП предусматривается осуществить прежде всего за счет реализации технологического потенциала энергосбережения. Проблеме энергосбережения посвящены основополагающие нормативные правовые документы, принятые в Республике Беларусь. Среди них необходимо особо выделить Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» с изменениями и дополнениями от 24.05.2021 № III-3. В законе указывается, что регу-



лирование вопросов энергосбережения, учитывая первостепенную важность этой проблемы, осуществляется Президентом Республики Беларусь, Советом Министров Республики Беларусь, республиканскими органами государственного управления, местными исполнительными и распорядительными органами. Уполномоченным Республиканским органом государственного управления в сфере энергосбережения является Департамент по энергоэффективности. Он проводит единую государственную политику, обеспечивает экспертизу энергоэффективности, разрабатывает республиканские программы энергосбережения, согласовывает отраслевые и региональные программы, организует пропагандистскую работу по энергосбережению.

Для осуществления политики энергосбережения и энергоэффективности следует в организациях, потребляющих ТЭР, регулярно проводить энергетическое обследование (энергоаудит). Причем в обязательном порядке ему подлежат организации с годовым потреблением ТЭР 1,5 тыс. т у.т. и более. Этот энергоаудит должен проводиться не реже одного раза в 5 лет. В отношении организаций, годовое потребление которых менее 1,5 тыс. т у.т., энергоаудит может проводиться в добровольном порядке.

Энергоаудит в праве оказывать только те внешние организации, которые имеют сертификат соответствия на оказание услуг по энергетическому обследованию, подтверждающий их компетентность.

При планировании производства продукции необходимо осуществлять нормирование расхода ТЭР. Причем нормирование должно основываться на современных достижениях науки и техники в сфере энергосбережения и систематически пересматриваться с учетом планируемого развития производства и достижения наиболее экономичных показателей использования ТЭР.

Надзор и оценку деятельности каждой организация в сфере энергоэффективности осуществляют территориальные органы (областные управления и Минское городское управление) по надзору за рациональным использованием топлива, электрической и тепловой энергии, реализацией мер по экономии и соблюдению норм расхода ТЭР.

### ***Вопросы для закрепления раздела 11***

- 1 Назовите местные виды топлива в Беларуси.
- 2 Какие ВИЭ вовлекаются в энергосистему Беларуси?
- 3 Какие виды топлива создают стратегические запасы Беларуси?
- 4 Назовите крупные тепловые энергостанции (ГРЭС) в Беларуси.
- 5 В чём отличия по назначению ТЭЦ от конденсационной электростанции?
- 6 Какие достоинства вводимой в эксплуатацию Белорусской АЭС?
- 7 Назовите преимущества электроэнергии в сравнении с тепловой энергией.

- 8 Назовите годовой объём добычи нефти в Беларуси.
- 9 Какие нефтеперерабатывающие заводы в Беларуси?
- 10 Основные положения Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении».
- 11 Структура государственных органов Беларуси по энергосбережению.
- 12 Назначение энергетических обследований организаций.
- 13 Какие организации могут осуществлять энергетическое обследование?
- 14 В чём заключается нормирование ТЭР?
- 15 Кто осуществляет надзор и оценку энергоэффективности каждой организации?

## 12 БИОСФЕРА И ЕЁ КОМПОНЕНТЫ

Человек не может стихийно строить свою историю, а должен согласовать её с законами биосферы, от которой человек неотделим.

*В. И. Вернадский, учёный*

*Биосфера – сфера (или оболочка) жизни определяет ту часть планеты Земля, где обитает жизнь (включая сюда также и сами живые организмы).*

Основными составляющими биосферы являются четыре главных компонента: земля, вода, воздух и населяющие их живые организмы. По научной терминологии вышеуказанные компоненты соответственно называются: литосфера, гидросфера, атмосфера и живое вещество планеты. Их взаимодействие примерно определяет состояние нашей планеты.

По современным представлениям наше Солнце образовалось 5 млрд лет назад. Затем облако космической пыли и газа, попавшее в поле притяжения Солнца, под действием сил гравитации постепенно сгустилось, преобразовавшись в планеты, астероиды и метеориты Солнечной системы. Поверхность Земли скорее напоминала лунную или марсианскую, так как вся была изрыта метеоритными кратерами. Постепенно масса Земли за счет осаждающейся космической пыли и града метеоритов увеличилась, а следовательно, увеличились гравитационные силы, которые позволили Земле удерживать газы, выделявшиеся из недр. В результате Земля облеклась в прозрачную оболочку, которую еще нельзя было назвать воздухом (состав ее был совершенно иным, и она была совершенно непригодна для дыхания), но это была первая атмосфера Земли. Так образовались два компонента биосферы: *литосфера и атмосфера.*

Третий компонент биосферы – *гидросфера* – образовался постепенно из первых двух: влага гейзерами выбивалась из земных недр и выпадала дождями из атмосферы.

Перемещение магматических продуктов из глубин на поверхность и обратно (минеральный круговорот), циркуляция воздушных масс, периодически разогреваемых Солнцем (газовый круговорот), и миграция воды – всё это составило большой, или геологический, круговорот веществ. Указанная эволюция материи (в силу пока еще не до конца изученных причин) привела к созданию жизни.

Сначала образовались *полимерные молекулы – предклеточные образования в виде небольших капель и микросфер*. Затем появились *простейшие организмы – хемосинтетики*, использовавшие в качестве источника жизненной энергии те самые образования, из которых сами возникли. Одновременно появились новые формы жизни – *фотосинтетики*, которые использовали уже энергию солнечного света для получения своей жизненной силы.

С появлением жизни механизм биосферы усложнился и процессы активизировались. К газовому, водному и минеральному круговороту элементов добавился *биотический* (от греч. *био* – жизнь). Этот последний процесс наполнил все предыдущие процессы новым содержанием и значительно их интенсифицировал. Особенностью всех частей биосферы является то, что они населены живыми организмами.

Биотический процесс стал постепенно определяющим в жизни биосферы. Как известно, основой всякой жизнедеятельности является обмен веществ между организмами и окружающей средой, в процессе которого организм потребляет и усваивает необходимые полезные вещества и отдает вещества ненужные, бесполезные отбросы.

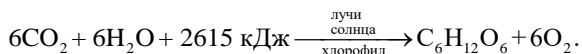
Изобретательная природа кроме организмов, умеющих строить живое вещество из мертвой материи, создала еще и другие, умеющие разобрать отбросы на простые элементы, которые готовы к новому употреблению. Таким образом образовался замкнутый цикл. Теперь вещество нашей планеты не тратилось безвозвратно, а, совершив круг превращений, возвращалось к своему первоначальному, исходному виду, которое готово служить строительным материалом новому циклу жизни.

Живые организмы построены из тех же химических элементов, что и неживая природа. Следовательно, механизм взаимодействия живого и неживого состоит в вовлечении мертвой материи в сферу жизни и (после ряда превращений) возврате ее в прежнее, абиотическое (неживое) состояние.

## 12.1 Круговорот химических элементов в окружающей среде

Химические элементы в природе находятся в постоянном круговороте. Сначала они попадают из окружающей среды в организмы, а затем из организмов – в окружающую среду. При этом минеральные элементы проникают в ткани растений и животных в процессе их роста и там входят в состав органических веществ. После смерти организма эти элементы вновь попа-

дают в окружающую среду, перераспределяются и затем попадают в новые организмы. Таким образом, биохимические циклы (круговороты) обусловлены деятельностью всех живых компонентов экосистемы: зеленых растений и животных. При этом неорганические вещества, из которых состоят воздух, вода, почва и минералы горных пород, превращаются в сложные соединения – белки, жиры, углеводы, называемые органическими. Непрерывность круговорота веществ поддерживается солнечной энергией. Зелёные растения осуществляют фотосинтез, суммарная реакция которого выражается следующей схемой [21]:



Углекислота может находиться в газообразном состоянии в атмосферном воздухе или в растворенном состоянии в воде и служит основой для переработки в органическое вещество.

Все живые организмы дышат и выбрасывают в атмосферу вещество в форме углекислого газа, а при их гибели трупы разлагаются и в конце концов вновь в окружающую среду поступает углекислота.

Необходимо отметить, что растительность суши и моря использует для фотосинтеза очень малую долю солнечной радиации 0,5–1,0 %. При этом растительность ежегодно создаёт огромное количество фитомассы (около 100 млрд т), которая на суше в 100 раз превосходит массу животных. В биосфере происходит и противоположный процесс. За этот промежуток времени приблизительно такое же количество живого вещества превращается в  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Эти процессы образования и накопления живого существа, его последующего отмирания и превращения в простые соединения, доступные растениям, составляют биологический круговорот элементов. Происходит баланс процессов синтеза и распада.

Однако в масштабах геологического времени указанный баланс не всегда соблюдался и был идеален. Примерно 300 млн лет назад существовал большой избыток органической продукции, что в конечном счёте привело к образованию угля, нефти, газа. Эти углеводородные топлива позволили совершить техническую революцию.

Но не следует забывать, что в состав белков, а значит, и в состав органических веществ, из которых состоят природные ископаемые топлива, входят шесть элементов: углерод, водород, кислород, азот, фосфор и сера. При сжигании горючих элементов природного топлива, т. е. окислении углерода, водорода и серы, происходит экзотермическая химическая реакция. Выделяемая теплота широко используется человеком непосредственно, а также для преобразования в механическую, световую энергию.

При экзотермическом сжигании топлив образуются такие продукты окисления, как углекислый газ  $\text{CO}_2$  и сернистый ангидрид  $\text{SO}_2$ . Эти газы,

получаемые человеком в большом количестве, уже наносят существенный вред окружающей среде! Но при сжигании топлива происходят эндотермические реакции с образованием различных оксидов азота. Кроме того, образуется целый ряд побочных продуктов горения, среди которых есть высокотоксичные. Это указывает на то, что любое решение имеет как положительную сторону, так и отрицательную.

Таким образом, эстафету жизни на Земле начинают зеленые растения. Затем ее подхватывают животные, а к финишу доносят бактерии, где снова её подбирают растения. Круг замыкается, чтобы дать начало новому обороту, и так далее, и так далее.

Человеку как биологическому виду необходимы строго определённые эволюцией условия (факторы): газовый состав воздуха, температура окружающей среды, режим освещенности, влажности, набор ассимилируемых с пищей веществ и многое другое. При отклонении факторов окружающей среды от нормы возможны нарушения жизнедеятельности, вплоть до несовместимости с жизнью.

## 12.2 Человек и природное окружение

Примерно 150 тыс. лет назад [13] на Земле возникли прародители человека – *homo sapiens*, которые появились на восточном побережье Африки. Появление первого человека не внесло никаких заметных изменений в сложившуюся к тому времени на Земле ситуацию.

Никакие особые достоинства или заслуги не позволяли ему тогда претендовать, рассчитывать на какое-то исключительное место и положение в этом мире. По природе своей человек не был ни самым сильным, ни самым быстрым, ни самым ловким среди земных обитателей. Подобно своим ближайшим родственникам, древним обезьянам, первые люди жили небольшими группами по 20–30 человек, постоянно кочующими с места на место в поисках пищи. Основой их существования было собирательство. Они собирали плоды деревьев и кустарников, грибы, мед диких пчел, съедобные корни. В пищу шли также некоторые насекомые, улитки и мелкие грызуны. Такая полувегетарианская пища при ее малой калорийности требовала от человека значительных затрат времени и энергии. Поэтому постепенно предпочтение все больше отдавалось более калорийной животной пище.

Но прежде чем превратить животное в пищу, его надо поймать, одолеть, а человек, как указано выше, по природе своей не был ни самым сильным, ни самым быстрым, ни самым ловким среди земных обитателей. Однако природа наградила человека когнитивными способностями: умением узнавать новое, запоминать, общаться, сочинять, т. е. воображать вещи, которых в реальности не существует [13]. Именно по этой причине природа выделила человека среди других земных существ, и эти качества получили дальнейшее развитие.

Эволюция самого человека постепенно сменяется эволюцией создаваемых им орудий, биологическая эволюция – эволюцией технической.

По отношению ко всей истории планеты и истории биосферы человеческое общество возникло довольно недавно. Однако в последние 100 лет оно стало оказывать серьезнейшее воздействие на функционирование биосферы. Это связано с тем, что на рубеже XIX–XX вв. началось активное развитие техногенеза. Учитывая масштабность, глубину и сверхинтенсивное по отношению ко времени существования планеты нарастание антропогенного воздействия, можно утверждать, что результаты техногенеза еще в целом не проявились. Нынешние проявления реакции Земли на действия человека – это лишь первые провозвестники грядущих геологических потрясений, которые повлекут за собой перестройку структуры планеты, направленную на уравнивание нового фактора, воздействующего за счет техногенеза.

В предысторической фазе люди жили в условиях энергетической недостаточности и вынуждены были охранять огромную кормовую территорию, в пределах которой периодически или постоянно кочевали. Несмотря на это, они долгое время находились в рамках весьма скромного энергетического баланса.

Расход энергии на одного человека, кДж/сут, в каменном веке был около 15 тыс., в аграрном обществе – 50 тыс., в индустриальную эпоху – 300 тыс., а в передовых развитых странах конца XX столетия – 1 млн, т. е. в 65 раз больше, чем у наших далеких предков [25].

Рост народонаселения требует увеличения количества продуктов питания, создания новых рабочих мест и расширения промышленного производства. На первых этапах человек взаимодействовал с природной средой, как обычный биологический вид, как животное, и в целом входил в экосистему как ее составной элемент. В основном он использовал окружавшие его ресурсы, практически не влияя ни на их количество, ни на их качество, и не мог оказать ощутимое воздействие на природу в силу как своей малочисленности, так и отсутствия какого-либо значимого средства влияния на компоненты среды.

Сформировавшись, человеческое общество прошло следующие этапы взаимодействия с природой:

- производство и применение орудий труда;
- искусственное производство энергии, расширившее возможности в преобразовании природы;
- промышленная и научно-техническая революция;
- искусственное воспроизводство и сохранение окружающей среды (протоноосфера).

Антропогенное воздействие на окружающую среду можно подразделить на следующие типы:

– загрязнения – внесение в среду нехарактерных для нее новых физических, химических или биологических агентов (элементов, соединений, веществ, объектов) или превышение имеющегося естественного уровня этих агентов;

– технические преобразования и разрушения природных систем и ландшафтов в процессе добычи природных ресурсов, при сельскохозяйственных работах, строительстве и т. д.;

– истощение природных ресурсов (полезных ископаемых, воды, воздуха, биологических компонентов экосистем);

– глобальные климатические воздействия – изменение климата в связи с хозяйственной деятельностью человека;

– эстетические нарушения – неблагоприятное для визуального и иного восприятия изменение природных форм, разрушение историко-культурных ценностей и т. д.

В результате человек воздействует на биосферу и изменяет состав, круговорот и баланс веществ; тепловой баланс приповерхностной части Земли; структуру земной поверхности (при сельскохозяйственных работах, перемещении вскрытых пород, проходке карьеров, в результате застройки городов, при дорожном строительстве, сооружении искусственных водоемов – каналов, водохранилищ, мелиорации и т. д.); истребляет, а также перемещает в новые места обитания ряд видов животных и сортов растений.

В условиях антропогенных нагрузок для устойчивого функционирования экосистем **человек в настоящее время должен играть роль компенсаторного регулятора**, озеленяя землю в местах вырубленных лесов, очищая воду, воздух и т. д.

В 1992 г. в Рио-де-Жанейро состоялась Конференция ООН по окружающей среде и развитию, известная как «Саммит Земли». В рамках этого глобального экологического форума были сформулированы основные принципы неразрывности эколого-экономических связей, несоблюдение которых приведет к углублению неравенства между богатыми и бедными, к борьбе за выживание и обострению социальных конфликтов. В конечном счете экономическое развитие в отрыве от экологии ведет к превращению планеты в пустыню. В то же время упор на экологию без экономического развития закрепляет нищету и несправедливость.

В декабре 1997 года принят Киотский протокол – международный политико-правовой документ по охране окружающей среды. В декабре 2015 года на сессии ООН было принято Парижское соглашение, цель которого удержать рост глобальной средней температуры и ограничить ее рост величиной 1,5 °С.

Указанные международные совещания подчеркивают озабоченность глобальными экологическими изменениями и поиском выхода из создавшегося ухудшающегося положения человеческого общества. Необходимо

обеспечить переход к устойчивому развитию (термин «концепция устойчивого развития» вошел в природоохранный лексикон), при котором достигается удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения без лишения такой возможности будущих поколений. Это длительный процесс, который требует решения огромных по масштабу эколого-экономических и социальных задач. Необходима существенная организация всего процесса экономического развития и гармонизация взаимодействия с природой мирового сообщества.

В борьбу за изменение климата, за снижение парникового эффекта, за уменьшение углеродного следа, оставленного деятельностью человека, включились не только специалисты, но и дилетанты, недоучки. Всё началось с 15-летней шведской школьницы Греты Тунберг (полное имя Грета Тинтин Элеонора Эрнман Тунберг). Она отказалась посещать по пятницам школу до тех пор, пока Швеция не станет в полной мере соблюдать условия Парижского соглашения по климату. Затем её требования распространились на всех подписавших (около ста государств) соглашение. Несмотря на явный инфантилизм протеста, благодаря социальным сетям к нему присоединились более полутора миллионов подростков. Грета успела выступить на сессии ООН и даже номинировалась на Нобелевскую премию мира. У неё появились взрослые друзья – анархисты-экологи.

Под влиянием новых знакомых Грета развязала «эко-террор» против собственной семьи. Тунберги вынуждены были установить солнечные батареи, выращивать овощи в теплице, передвигаться на велосипедах и приобрести электромобиль. Всё это практически разорило семью, а мать Греты, известная оперная певица Малена Эрнман, потеряла работу из-за семейного запрета использования неэкологичного авиатранспорта.

Как показало журналистское расследование, врачи диагностировали у Греты синдром Аспергера, СДВГ (синдром дефицита внимания и гиперактивность) и избирательный мутизм, проявляющийся в неадекватной оценке социальной ситуации. Этим воспользовались некие транснациональные корпорации и начали активно использовать активистов-дилетантов для дальнейшей пропаганды ужасов глобального потепления и, естественно, получения своих экономических выгод.

Ещё один пример дилетантского подхода к решению экологических проблем можно привести на примере государства Шри-Ланка, более известного как Цейлон.

В 2019 году Готабая Раджапакса в результате выборов стал президентом Шри-Ланки (на санскрите это название звучит как «благословенная Земля»). Страна входила в число лидеров среди государств южноазиатского региона по ВВП на душу населения. Основой благосостояния было сильное хозяйство, прежде всего, производство чая – на острове выращивали 10 % всего чая на планете. В благодатном климате продовольственные товары занимали 26 % экспорта (это в 2,5 раза больше, чем доля газа в экспорте России).



Широкое применение искусственных удобрений и пестицидов, не увеличивая при этом площади сельскохозяйственных угодий, позволило гарантировать увеличение темпов производства продовольствия во многих странах и в том числе в Шри-Ланке. Однако пришедший к власти президент Шри-Ланки объявил синтетические удобрения и пестициды «военными химикатами», запретил их использовать и затеял свой «зелёный эксперимент». Президент решил сделать свою сельхозпродукцию экологически чистой. Одним росчерком пера ввоз на остров любых удобрений и пестицидов был запрещен. Но это непродуманное, дилетантское решение обернулось для страны катастрофой.

Заменить запрещённые синтетические удобрения дозволённым навозом (органическим удобрением) не вышло. Животноводство на Шри-Ланке не является профильной отраслью, поэтому местные сельскохозяйственные животные физически не могли произвести нужного количества органики. Импортировать навоз баснословно дорого. В результате ланкийские поля остались вообще без какой-либо подкормки.

Следующей проблемой стали сорняки. Реальной альтернативой пестицидам (химическим соединениям) могла стать только ручная прополка, но фермеров на Шри-Ланке всего 10 % населения. Так что сорняки, объединившись с вредителями, победили людей. Урожай риса оказался меньше почти в половину. Об экспорте пришлось забыть, наоборот, рис пришлось импортировать, поскольку это основной продукт питания, потратив на это в 2 раза больше валюты, чем уходило на приобретение удобрений. Ситуация с другими культурами оказалась ещё хуже. Беда не обошла и символ Цейлона чай: убытки отрасли оцениваются в полмиллиарда долларов. Процветающая экономика Шри-Ланки рассыпалась, страна переживает крупномасштабный кризис. Описанная ситуация указывает на то, что дилетантская решительность в решении вопросов, связанных с экологическими проблемами, становится просто опасной.

В заключение следует отметить, что переход к устойчивому развитию потребует безусловного искоренения стереотипов мышления, связанных с пренебрежением возможностями биосферы, но обязательно грамотного, научного подхода к решению экологических проблем, чтобы избежать безответственного отношения к обеспечению экономической безопасности.

### *Вопросы для закрепления раздела 12*

- 1 Что включает в себя биосфера Земли?
- 2 В чем отличительная особенность биосферы Земли?
- 3 Какую энергию преобразует биосфера Земли?
- 4 В какие виды энергии живые существа преобразуют свою химическую энергию?

5 Какие подсистемы участвуют в круговороте химических веществ между органической природой и неорганической?

6 Назовите главные химические элементы живого вещества?

7 Чем характерны природные ресурсные циклы?

8 В чем особенность техногенных ресурсных циклов?

9 Какие отрасли народного хозяйства вносят основной вклад в загрязнение техносферы?

### 13 СТРУКТУРА СОВРЕМЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Мы не наследуем Землю у своих предков,  
а берём её взаймы у своих детей.

*А. де Сент-Экзюпери, писатель*

Термин «экология» предложен в 1866 году немецким биологом Эрнстом Геккелем (от греч. «экос» – дом, жилище, местообитание и «логос» – наука, изучение). Образно говоря, экология – это наука о том, как жить и хозяйствовать в собственном доме. Для современного человека – это вся планета Земля и околоземное космическое пространство.

Ещё на заре развития цивилизации экология приобрела практическое значение; по-видимому, она одна из древнейших наук. Целенаправленное преобразование природной среды уходит в глубокую древность, например:

- подсечное земледелие, т. е. вырубка лесов и использование освободившихся земель для выращивания культурных растений;
- создание систем искусственного орошения посевов.

Интерес к среде своего обитания был свойствен человеку всегда, т. к. от качества этой среды зависело не только благополучие семьи, рода, племени, но и само их существование.

Во второй половине XX века экология как наука развивается особенно бурно, поскольку антропогенные изменения окружающей среды приобрели такие размеры, что человек (прямо или косвенно) сам стал их жертвой, а именно:

- бурный рост населения (15.11.2022 – 8 млрд чел.) и увеличение урбанизированных площадей (к сведению: *homo sapiens* благодаря развитию общества был выведен из-под действия естественного отбора, межвидовой конкуренции, ограничения роста численности);

- загрязнение мирового океана;
- вырубка лесов и рост поголовья скота;
- нехватка пресной воды;
- широкое применение пестицидов, химических удобрений, мелиорация, радиоактивное загрязнение;
- загрязнение биосферы отходами промышленности, сельского хозяйства, транспорта;

– образование кислотных осадков, парниковый эффект, истощение озонового слоя и другие негативные факторы.

*Экология – это наука, которая изучает взаимодействие организмов между собой и с окружающей средой, а также их взаимовлияние и взаимопроникновение.*

Значит, экология должна способствовать формированию экологического мышления человечества как необходимого условия его выражения и развития.

### **13.1 Экологические факторы среды**

К экологическим факторам относят те элементы окружающей среды, изменение которых вызывает ответную реакцию определенного организма или определенной группы организмов вплоть до исчезновения их по каким-либо причинам из среды обитания.

Все экологические факторы делятся на следующие группы:

- абиотические (влияние элементов неживой природы);
- биотические (влияние живых организмов);
- антропогенные (влияние человека).

Главную роль среди факторов влияния неживой природы (абиотических) играют климатические, эдафические, орографические и химические.

#### **13.1.1 Климатические факторы**

К климатическим факторам относятся:

- солнечная радиация;
- физико-химические свойства атмосферного воздуха;
- климат, погодные условия;
- тепло, вода, ветер.

**Солнечное излучение**, проходящее через атмосферу и достигающее поверхности Земли, является наиболее действенным климатическим фактором. Свет необходим для жизни, т. к. это источник энергии для фотосинтеза. Без него невозможен фотосинтез, а это накопление части солнечной энергии путем превращения её в потенциальную энергию химических связей органических веществ. Без органической пищи и кислорода невозможна жизнь людей, животных, птиц, рыб и других организмов, потребляющих готовые органические вещества.

Важную роль свет как экологический фактор имеет для животных и растений. Различают животных, ведущих дневной, ночной и сумеречный образ жизни. У растений в процессе эволюции выработалось тоже определенное отношение к освещенности, и различают соответственно три большие группы: светолюбивые, теневыносливые и тенелюбивые.

Следовательно, каждому пункту земной поверхности свойствен свой световой ритм, который отражается в биологии растений, животных и микроорганизмов.

**Температура** является другим важнейшим абиотическим фактором. Распространение жизни на Земле ограничено областью немного ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и до  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Так, если температура живой клетки опускается ниже точки заморзания вод, то образовавшиеся кристаллы льда ведут к её гибели. При высокой температуре (более  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) происходит денатурация белков, т. е. изменение структуры молекул, что ведет к гибели клетки.

При этом различают организмы, которые не способны регулировать собственную температуру. Это растения, рыбы, рептилии и др. Но есть в природе также организмы (птицы и млекопитающие), которые способны к активному регулированию температуры независимо от температуры окружающей среды. Благодаря этому свойству многие животные способны жить и размножаться при морозе – например, белый медведь, северный олень, пингвины и др., имеющие приспособления к таким условиям существования (шерстяной покров, оперение, толстый слой жировой ткани). Кроме этого, есть животные, температура которых может снижаться в неблагоприятный период года или поддерживаться постоянной в обычное время. Этим животным характерно впадать в спячку или оцепенение в холодное время (ежи, суслики, летучие мыши, стрижи и др.), а в период функциональной активности они обладают постоянной температурой тела.

**Вода** – основа живой материи, является основным условием существования всего живого на Земле. Вода – это, образно говоря, эликсир жизни, «оживляющий» поверхность нашей планеты, это творец климата и погоды.

Как известно, человек – венец природы – в зрелом возрасте на 65–70 % состоит из воды. При этом младенец почти на 90 % состоит из воды, а в преклонном возрасте – всего на 50 %.

Для поддержания водного баланса среднему человеку необходимо примерно 2 л воды, или 300 мл на 1 кг массы тела в сутки (с той водой, которая содержится в пищевых продуктах: супах, овощах, фруктах, соках и т. п.). Наши ткани содержат около 15 % эндогенной жидкости от массы тела, которая образуется при сжигании питательных веществ (в основном углеводов) кислородом воздуха, поступающим из лёгких.

### 13.1.2 Эдафические факторы

Эдафические факторы – это факторы почвенной среды, к которым относится совокупность физических и химических свойств почв (фильтрационность, влагоёмкость, капиллярность, гигроскопичность, испаряющая способность, состав компонентов, способность к загрязнению и самоочищению и др.) [21].

Весьма важной характеристикой почвы является её водородный показатель рН. Каждый вид растений предпочитает определенный показатель рН и имеет свой оптимум. Их химии известно, что показатель рН определяет сте-

пень кислотности (или щёлочности) раствора. В кислых растворах  $pH < 7$ , и чем он меньше, тем кислее раствор. В щёлочных растворах  $pH > 7$ , и чем он больше, тем выше щёлочность раствора. Если  $pH$  почвенного раствора низок, то это указывает на малое содержание биогенных элементов, а значит, продуктивность такой почвы крайне мала.

### **13.1.3 Орографические факторы**

Это факторы, указывающие особенности элементов рельефа, высоту над уровнем моря, экспозицию и крутизну склонов [21].

Подъем в гору часто напоминает путешествие от экватора к полюсу. При поднятии на каждые 100 м температура воздуха понижается в среднем на 0,5 °С. Увеличивается длительность вегетационного периода. У подножия гор могут находиться тропические моря, а на вершине дуют арктические ветры. С одной стороны горы может быть тепло и солнечно, с другой – холодно и влажно.

Экспозиция склона: на северных склонах растения образуют теневые формы, на южных – световые. Крутизну склонов характеризуют быстрый дренаж и смывание почв, поэтому здесь почвы маломощные и сухие. Если уклон превышает 35°, почва и растительность обычно не образуются.

### **13.1.4 Гидрографические факторы**

Это факторы, которыми характеризуется вода: органолептические свойства (прозрачность, мутность, цветность, запах, вкус, температура), физико-химические свойства ( $pH$ , сухой остаток, окисляемость, жесткость, количество растворённого в воде кислорода, хлоридов, сульфатов, азота аммониевых солей, железа), показатели загрязнённости воды и источники водоснабжения (открытые водоёмы, подземные, грунтовые и др.) [21].

Все живые существа, обитающие в водной среде, приспособились к плотности воды и глубинам. Многие рыбы, ракообразные, морские звёзды могут переносить давление от одной до сотен атмосфер. Плотность морских организмов убывает с глубиной.

### **13.1.5 Химические факторы**

Это антропогенное химическое загрязнение, которое оказывает существенное влияние на качество окружающей среды и живые организмы [21].

Химические факторы для организмов, живущих в воде, очень важны. Например, в водах Чёрного моря много сероводорода, что делает его неблагоприятным для жизни многих организмов.

Солёность воды (более 10 г/л) существенно влияет на жизнедеятельность живых существ. Пресноводные животные не могут жить в морях, а морские – в пресных водах.

### 13.2 Биотические факторы среды

Это формы воздействия живых существ друг на друга [21].

Каждый организм постоянно испытывает на себе прямое или косвенное влияние других существ – растениями, животными, микроорганизмами, зависит от них и сам оказывает на них воздействие.

Выделяют две группы биотических факторов: *фитогенные* (влияние растений друг на друга и на окружающую среду) и *зоогенные* (воздействие животных друг на друга и на окружающую среду, а также потребление животными растительной пищи).

### 13.3 Антропогенные факторы среды

Это любые воздействия человека на окружающую среду [25]. С давних времен человек оказывает влияние на растительный и животный мир.

**Прямое воздействие** – это вырубка леса, сбор плодов и цветов, охота, выпалтывание. Как правило, такое воздействие приводит к негативным последствиям.

Некоторые виды животных и растений вообще уничтожены (например, дикий тур, лошадь Пржевальского), а многие виды животных и растений находятся на стадии исчезновения (например, цейлонский и африканский слоны, азиатский лев, белый журавль, финиковая и кокосовая пальмы и др.). Более 100 видов растений, т. е. 8 % состава флоры Полесья, находятся под угрозой исчезновения.

На формирование флоры и фауны отдельных регионов оказывают влияние акклиматизация животных и интродукция растений, а также случайный завоз человеком некоторых видов животных и растений (например, комнатная муха, домовая мышь и серая крыса, одуванчик, лопух, подорожник и др.).

**Косвенное воздействие** человека на окружающую среду осуществляется путем её преобразования. При этом человек бессознательно или сознательно вытесняет одни виды животных и растений и распространяет другие.

Осушение болот, например, приводит к снижению растительных сообществ, уменьшению численности животных и прежде всего птиц, проблемам водоснабжения населённых пунктов, усыханию еловых лесов, сокращению земноводных, горению торфяников и просадке грунта.

#### *Вопросы для закрепления раздела 13*

- 1 Что означает термин «экология»?
- 2 Приведите современную формулировку экологии.
- 3 Назовите экологические факторы среды.
- 4 Что относится к климатическим факторам?
- 5 На что указывает водородный показатель почвы?
- 6 Какие факторы составляют органолептические свойства воды?
- 7 Назовите антропогенные факторы окружающей среды.

## 14 ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И ТИПЫ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Бог прощает и люди прощают.  
Природа не прощает никогда.

*И. В. Гёте, писатель*

Все загрязнения окружающей среды можно подразделить на четыре основные группы [22].

1 **Физическое загрязнение**, которое обусловлено изменением физических, температурно-энергетических, волновых и радиационных параметров внешней среды.

К физическому загрязнению относится тепловое воздействие. Оно проявляется, например, в изменении структурных особенностей некоторых грунтов при высоких температурах (под металлургическими печами, кирпичными заводами и т. п.) и условий жизни людей. Основными источниками теплового загрязнения городов являются подземные газопроводы промышленных предприятий (140–160 °С), теплотрассы (50–150 °С), сборные коллекторы и коммуникации (35–45 °С).

К физическим загрязнениям также относят воздействие шума и электромагнитное излучение. Источниками последнего являются высоковольтные линии электропередач, электроподстанции, антенны радио- и телепередающих станций, а в последнее время – также микроволновые печи, компьютеры, радиотелефоны.

2 **Химическое загрязнение** подразумевает увеличение количества химических веществ в окружающей среде, которые ей не присущи или концентрация которых превышает норму. Именно этот вид загрязнений является наиболее опасным для природных экосистем и качества жизни человека, так как поставляет в природную среду различные токсиканты (аэрозоли, тяжелые металлы, пестициды, детергенты, пластмассы и другие химические вещества и соединения).

По некоторым данным, в настоящее время в окружающей среде содержится 7–8,6 млн химических веществ, причем их перечень ежегодно пополняется еще примерно на 250 тыс. новых соединений. Многие из них обладают канцерогенными и мутагенными свойствами, среди которых особенно опасны те, которые включены в известный список ЮНЕСКО, а это почти 200 наименований: бензол, бенз(а)пирен, пестициды (ДДТ, элдрин, линдан и др.), асбест, тяжелые металлы (ртуть, свинец, кадмий и др.), разнообразные красители и пищевые добавки. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в мире около 600 млн человек подвергается воздействию повышенной концентрации в атмосфере диоксида серы и более 1 млрд человек, т. е. каждый шестой житель Земли, – вредной для здоровья концентрации взвешенных частиц.

3 **Биологическое загрязнение** обусловлено случайным или связанным с деятельностью человека проникновением в эксплуатируемые экосистемы и

технологические устройства, а также в природные экосистемы чуждых им растений, животных и микроорганизмов. Такой вид загрязнения называют еще бактериологическим. При массовом размножении пришлых видов оно часто оказывает негативное влияние на окружающую среду. Особенно загрязняют окружающую среду те промышленные производства, которые изготавливают антибиотики, ферменты, вакцины, сыворотки, кормовой белок, биоконцентраты и т. п., т. е. предприятия микробиологической промышленности, в выбросах которых присутствуют живые клетки микроорганизмов.

Также к биологическому загрязнению относят преднамеренную или случайную интродукцию, или чрезмерную экспансию живых организмов. Это, к примеру, известные переселения кроликов и овец в Австралию, пресноводного ротана в водоемы Центральной России. Кроме того, наличие свалок и несвоевременная уборка твердых бытовых отходов в городах привели к численному росту синантропных животных: крыс, голубей, ворон, насекомых и др.

**4 Эстетическое загрязнение**, как правило, связано с деятельностью человека и представляет собой преднамеренное или случайное изменение визуальных доминант природных или антропогенных ландшафтов.

В отдельных случаях возникновение данного вида загрязнений возможно вследствие естественных причин – природных катастроф (землетрясений, цунами, селей, лавин, оползней, обвалов, наводнений, смерчей, тайфунов и торнадо). Природные катастрофы могут быть весьма масштабными и приводить к значительным изменениям даже в рельефе местности. Например, при землетрясениях в результате обвалов возникают озера, а на месте гор – плоские равнины.

Эстетические загрязнения техногенного происхождения практически всегда связаны со строительной (градостроительной и гидротехнической) деятельностью, горнодобывающей промышленностью, сельским хозяйством и т. д.

В зависимости от источника загрязнения подразделяют на сточные воды и другие нечистоты, поглощающие кислород; носители инфекции; вещества, представляющие питательную ценность для растений; минералы и неорганические кислоты и соли; твердые стоки; радиоактивные вещества и т. д.

Следует подробнее рассмотреть такой важный термин, как «загрязнитель», который широко используется в современной экологической литературе. Под **загрязнителем** понимается любой физический агент, химическое вещество или биологический вид (главным образом микрорганизмы), поступающий в окружающую среду или возникающий в ней в количестве, которое выходит за рамки обычного, и вызывающий загрязнение среды.

Поступление различных загрязнителей в природную среду может наносить ущерб растительности и животному миру (приводить к снижению продуктивности лесов и культурных растений, вымиранию животных); нарушать устойчивость природных биогеоценозов; наносить ущерб имуществу (быть причиной коррозии металлов, разрушения архитектурных сооружений и пр.) и вред здоровью человека.



В естественных условиях многие загрязнители (пестициды, полихлордифенилы, пластмассы) разлагаются крайне медленно, а токсичные соединения (ртуть, свинец) вообще не обезвреживаются.

Если до 40-х гг. XX столетия еще доминировали натуральные продукты (хлопок, шелк, шерсть, мыло, каучук, свободная от добавок пища и т. п.), то в настоящее время в промышленно развитых странах они заменены синтетическими, которые разлагаются трудно или не полностью, тем самым загрязняя окружающую среду. Это, прежде всего, синтетические волокна, моющие средства, минеральные удобрения, синтетический каучук и др.

Особенно много загрязнителей образуется при получении энергии в результате сжигания ископаемого топлива. Человек, высвобождая таким путем солнечную энергию, ускоряет круговорот веществ и энергии в природе. Отходы производства и загрязнители атмосферы (оксид углерода, оксиды азота, углеводороды, твердые частицы и др.) нарушают естественный круговорот углерода, способствуя возникновению ряда негативных последствий, среди которых парниковый эффект, фотохимический смог и др. (таблица 14.1).

*Таблица 14.1 – Влияние на окружающую среду некоторых загрязняющих веществ [23]*

Загрязнитель	Характеристика и особенности воздействия на окружающую среду
Диоксид углерода	Образуется при сгорании всех видов топлива. Увеличение его содержания в атмосфере приводит к повышению ее температуры, что чревато пагубными геохимическими экологическими последствиями
Оксид углерода	Образуется при неполном сгорании топлива. Может нарушить тепловой баланс в верхних слоях атмосферы
Сернистый газ	Содержится в дымах промышленных предприятий. Вызывает обострение респираторных заболеваний, наносит вред растениям. Разъедает известняк и некоторые ткани
Оксиды азота	Создают смог и вызывают респираторные заболевания и бронхит у новорожденных. Способствуют чрезмерному разрастанию водной растительности
Фосфаты	Содержатся в удобрениях. Главный загрязнитель вод в реках и озерах
Ртуть	Один из опасных загрязнителей пищевых продуктов, особенно морского происхождения. Накапливается в организме и негативно воздействует на нервную систему
Свинец	Добавляется в бензин. Действует на ферментные системы и обмен веществ в живых клетках
Нефть	Приводит к пагубным экологическим последствиям, вызывая гибель планктонных организмов, рыб, морских птиц и млекопитающих
Пестициды	Очень токсичны для ракообразных. Убивают рыб и организмы, служащие для них кормом. Многие являются канцерогенами
Радиация	При превышении допустимых значений приводит к злокачественным новообразованиям и генетическим мутациям

## 14.1 Обеспечение качества окружающей среды

В естественных условиях качество природной среды обеспечивается действием законов природы, в условиях преобразования человеком, антропологических изменений – соблюдением меры соответствия природной окружающей среды потребностям живых организмов и экологическим интересам общества.

К нормативным законодательным документам по охране природы относятся стандарты качества природной среды, которые при существующем уровне технического прогресса обеспечивают сохранение здоровья населения, развитие животного и растительного мира.

Стандарты подразделяются на экологические и производственно-хозяйственные. *Экологические стандарты* устанавливают предельно допустимые нормы антропогенного воздействия на природную среду, превышение которых угрожает здоровью человека и пагубно для растительности и животных. Такие нормы устанавливаются в виде предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ. *Производственно-хозяйственные стандарты* качества природной среды определяют экологически безопасный режим работы производственного, коммунально-бытового и любого другого объекта. К производственно-хозяйственным стандартам природной среды относятся предельно допустимые выбросы (ПДВ) загрязняющих веществ в природную среду.

**Предельно допустимая концентрация (ПДК)** загрязняющих веществ устанавливает ограничение на содержание загрязняющих веществ в окружающей природной среде. Это такая концентрация, при воздействии которой на организм человека периодически или в течение всей жизни прямо или опосредованно (через экологические системы, а также через возможный экономический ущерб) не возникает заболеваний или изменений состояния здоровья как для настоящего, так и для последующего поколений.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ используется в практике нормирования и для санитарной оценки степени загрязнения атмосферного воздуха, воды и почвы.

### *Вопросы и задачи для закрепления раздела 14*

- 1 Какие параметры внешней среды относятся к физическому загрязнению?
- 2 В чем заключается химическое загрязнение окружающей среды?
- 3 Какие свойства особо опасных веществ проявляются при воздействии на человека?
- 4 В чем заключается биологическое загрязнение окружающей среды?
- 5 Какие виды человеческой деятельности приводят к эстетическому загрязнению?

- 6 В чем заключается вред, наносимый повышенной концентрацией углекислого газа в атмосфере?
- 7 Каково проявление токсичности оксида углерода?
- 8 Какой вред наносит сернистый газ, содержащийся в дымах промышленных предприятий?
- 9 Каково токсичное воздействие оксидов азота на атмосферный воздух?
- 10 В чем проявляется воздействие ртути на организм человека?
- 11 Каким образом свинец может попасть в окружающую среду?
- 12 Чем опасно загрязнение окружающей среды нефтью?
- 13 В чем опасность пестицидов для окружающей среды?
- 14 На что влияет превышение допустимых значений радиации?
- 15 Что такое предельно допустимый выброс (ПДВ) вредного (загрязняющего) вещества?

## 15 ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ

Токсичным отходам в воздухе просто не хватило бы места, если бы не наши лёгкие.

*Р. Орден, ученый*

Атмосферный воздух является одним из важнейших жизнеобеспечивающих природных компонентов на Земле. Кислород, входящий в состав атмосферного воздуха, является окислителем органических веществ, которые потребляют люди, животные, птицы, рыбы и другие организмы. В результате реакции окисления выделяется тепловая энергия, которая расходуется на поддержание необходимых теплового состояния и процессов жизнедеятельности. Это необходимое связывающее звено между живой и неживой природой.

### 15.1 Строение атмосферы

**Атмосфера** – это газообразная оболочка Земли, состоящая из смеси газов и простирающаяся на высоту около 100 км [26].

Атмосфера имеет слоистое строение, включающее ряд сфер. Слой, расположенный до высоты 10–15 км, наиболее плотный, прилегающий к земной поверхности слой воздуха, называется тропосферой, затем до высоты 40–55 км – стратосфера, до высоты 70–80 км – мезосфера, до 800 км – термосфера, а затем последний слой – экзосфера (рисунок 15.1).

Циркуляция атмосферы влияет на режим рек, почвенно-растительный покров, процессы рельефообразования. Из-за неравномерности нагрева солнечной энергией в атмосфере образуются мощные вертикальные потоки воздуха, а в приземном слое происходит изменение температуры, влажности, давления и т. п.



Рисунок 15.1 – Строение современной атмосферы

В тропосфере – прилегающем к земной поверхности слое воздуха – содержится до 80 % всей влаги, имеющейся в атмосфере, в ней образуются облака и формируются все виды осадков, которые очищают воздух от примесей. В тропосфере на каждые 100 м температура уменьшается на  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  в диапазоне  $+40$  до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Выше тропосферы находится стратосфера, которая в слое от границы тропосферы до высоты 30 км имеет постоянную температуру  $-50^{\circ}\text{C}$ , а затем с увеличением высоты температура постепенно возрастает до  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  на высоте 50 км.

На высоте около 40 км находится озоновый слой, который оберегает всё живое на Земле от ультрафиолетовых лучей. Озон  $\text{O}_3$ , из которого состоит этот слой, образуется под воздействием космического излучения и коротковолновой части ультрафиолетового излучения Солнца на молекулы кислорода  $\text{O}_2$ , содержащиеся в этом слое атмосферы.

Затем количество озона уменьшается, температура вследствие этого также падает и на высоте примерно 80 км над уровнем моря составит  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 15.2 Загрязнение атмосферы

Качество атмосферы зависит от её загрязнённости, причём сами загрязнения могут попадать в неё от природных и антропогенных источников.

Загрязнения подразделяют на вещественные, энергетические и вещество-энергетические.

К вещественным относят химические и биологические загрязнения, которые обычно называют примесями.

К энергетическим загрязнителям относят тепловые, акустические, электромагнитные, ионизирующие и оптические излучения, т. е. атмосферные загрязнения, связанные с генерацией, передачей и потреблением энергии.

К третьему виду загрязнителей относят радионуклиды.

В глобальном масштабе загрязнение атмосферы представляет наибольшую опасность, поскольку атмосферный воздух переносит большие массы воздуха и тем самым способствует распространению загрязнений на значительные расстояния. Промышленными выбросами (примесями), переносимыми по воздуху, загрязняется Мировой океан, закисляются почва и вода, изменяется климат и разрушается озоновый слой.

Численность населения Земли, по данным института экономики НАН Беларуси, возрастает на 1 млрд человек последние 60 лет с динамикой каждые 13 лет и к 2050 году может составить около 10 млрд человек (таблица 15.1).

**Таблица 15.1 – Динамика населения [19]**

Год, в котором существует возможность произвести расчёт населения	Количество населения планеты Земля, млрд чел.
1805	1,0
1927	2,0
1959	3,0
1974	4,0
1987, 11 июля	5,0
1999, 12 октября	6,0
2011, 31 октября	7,0
2022, 15 ноября	8,0
2030 (по данным ООН)	8,6*
2050 (по данным ООН)	9,8*
* Прогнозное количество населения на указанный период.	

В результате возрастают объёмы и темпы всего того, что добывается, производится, потребляется и отправляется в отходы.

Наибольшее загрязнение наблюдается в городах, где обычные загрязнители – это пыль, сернистый газ, оксид углерода, диоксид азота, сероводород и др.

В некоторых городах в связи с особенностями промышленного производства в воздухе содержатся специфические вредные вещества: серная и соляная кислота, стирол, бенз(а)пирен, сажа, марганец, хром, свинец, метилметакрилат. Всего в городах насчитывается несколько сотен различных загрязнителей воздуха.

Особую тревогу вызывает загрязнение атмосферы вновь создаваемыми веществами и соединениями. Всемирная организация здравоохранения отмечает, что из 105 известных элементов таблицы Менделеева 90 используются в производственной практике, а на их базе получены свыше 500 химических соединений, из которых почти 10 % вредные и особо вредные.

### 15.2.1 Основные химические загрязнители воздуха

Уровень загрязнения атмосферы загрязнителями от природных источников является фоновым и практически постояен, поскольку имеет сравнительно малые отклонения от среднего уровня во времени.

Антропогенные загрязнения отличаются многообразием видов примесей и многочисленностью источников их выброса. Наиболее устойчивые зоны с повышенными концентрациями загрязнений возникают в местах активной жизнедеятельности человека. Установлено, что каждые 10–12 лет объём мирового промышленного производства удваивается, а это сопровождается примерно таким же ростом объёма выбрасываемых загрязнений в окружающую среду. По ряду загрязнений темпы роста их выбросов значительно выше средних. К таковым относятся аэрозоли тяжелых и редких металлов, синтетические соединения, не существующие и не образующиеся в природе, радиоактивные, бактериологические и другие загрязнения.

Примеси поступают в атмосферу в виде газов, паров, жидких и твердых частиц. Газы и пары образуют с воздухом смеси, а жидкие и твердые частицы – аэрозоли (дисперсные системы), которые подразделяют на пыль (размеры частиц более 1 мкм), дым (размеры твердых частиц менее 1 мкм) и туман (размер жидких частиц менее 10 мкм) (рисунок 15.2).

Поступление различных загрязнений в природную среду может наносить ущерб растительности и животному миру (приводить к снижению продуктивности лесов и культурных растений, вымиранию животных); нарушать устойчивость природных биогеоценозов; наносить ущерб имуществу (быть причиной коррозии металлов, разрушения архитектурных сооружений и пр.) и вред здоровью человека. В естественных условиях многие загрязнители (пестициды, полихлордифенилы) разлагаются крайне медленно, а токсичные соединения (ртуть, свинец) вообще не обезвреживаются.



Рисунок 15.2 – Загрязнение атмосферного воздуха промышленным предприятием

Особенно много загрязнителей поступает в окружающую среду при получении энергии в результате сжигания углеводородного топлива. Человек высвобождая законсервированную солнечную энергию путем сжигания, ускоряет круговорот веществ и энергии в природе. Следовательно, образовавшиеся отходы производства и загрязнители атмосферы (оксид углерода, оксид азота и др.) нарушают естественный круговорот углерода, способствуя возникновению ряда негативных последствий, среди которых кислотные дожди, парниковый эффект, фитохимический смог, озоновые дыры и др.

Основными химическими примесями, загрязняющими атмосферу, являются следующие вещества.

**Оксид углерода** (CO) – бесцветный газ, не имеющий запаха, известен также под названием «угарный газ». Образуется в результате неполного сгорания ископаемого топлива (угля, газа, нефти) в условиях недостатка кислорода и при низкой температуре. При этом 65 % от всех выбросов приходится на транспорт, 21 % – на мелких потребителей и бытовой сектор, а 14 % – на промышленность.

Максимальная разовая предельно допустимая концентрация (ПДК) CO – 5 мг/м<sup>3</sup>, а среднесуточная – 3 мг/м<sup>3</sup>. При концентрации 14 мг/м<sup>3</sup> возрастает вероятность смерти от инфаркта миокарда. Столь экстремальные концентрации часто наблюдаются в районах повышенной антропогенной нагрузки на окружающую среду: в часы пик на транспорте или при инверсиях (т. е. в условиях слабого воздушного обмена), благоприятствующих возникновению смога.

**Двуокись углерода** (CO<sub>2</sub>), или углекислый газ, – бесцветный газ с кислотным запахом и вкусом, продукт полного окисления углерода. Является одним из парниковых газов.

**Двуокись серы** (SO<sub>2</sub>) (диоксид серы, сернистый ангидрид) – бесцветный газ с резким запахом. Образуется в процессе сгорания серосодержащих ископаемых видов топлива, в основном угля, а также при переработке сернистых руд. Он в первую очередь участвует в формировании кислотных дождей.

Максимальная разовая ПДК для диоксида серы составляет 0,5 мг/м<sup>3</sup>, а среднесуточная – 0,05 мг/м<sup>3</sup>.

Длительность воздействия диоксида серы на человека приводит вначале к потере вкусовых ощущений, стесненному дыханию, а затем к воспалению или отеку легких, перебоям в сердечной деятельности, нарушению кровообращения и остановке дыхания. Растения гораздо чувствительнее к воздействию диоксида серы, чем человек. Листья растений, произрастающих на расстоянии менее 1 км от предприятий, выбрасывающих диоксид серы, обычно густо усеяны пятнами, которые образовались в местах оседания капель серной кислоты.

**Оксиды азота** (оксид и диоксид азота) – газообразные вещества: монооксид азота NO, диоксид азота NO<sub>2</sub>, а также N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Они объединяют-

ся одной общей химической формулой  $\text{NO}_x$ . При всех процессах горения образуются оксиды азота. Это эндотермическая химическая реакция, причем чем выше температура сгорания, тем интенсивнее идет образование окислов азота [29].

Другим источником оксидов азота являются предприятия, производящие азотные удобрения, азотную кислоту и нитраты, анилиновые красители, нитросоединения, вискозный шелк, целлулоид. От общего количества выбрасываемых в атмосферу оксидов азота на транспорт приходится 55 %, на энергетику – 28 %, на промышленные предприятия – 14 %, на мелких потребителей и бытовой сектор – 3 %.

В летний период при интенсивном солнечном облучении продолжительностью 12–14 ч вследствие высокой растворимости в воде (облака, дождь) и сорбции на увлажненных поверхностях азотная кислота быстро выпадает на земную поверхность. При ярком солнечном свете оксиды азота реагируют с несгоревшими бензиновыми парами и другими углеводородами, образуя низкоатмосферный озон, или смог, т. е. красно-бурую дымку.

Максимальная разовая ПДК диоксида азота составляет  $0,085 \text{ мг/м}^3$ , а среднесуточная –  $0,04 \text{ мг/м}^3$ . При концентрациях свыше  $0,15 \text{ мг/м}^3$  возникают острые заболевания органов дыхания, может развиваться отёк лёгких. При хроническом отравлении головные боли, бессонница, раздражение слизистых оболочек.

*Формальдегид* – также образуется практически во всех процессах горения топлива, в особенности бензина. Поэтому его особенно много скапливается в тех районах, где улицы загружены автотранспортом. При высоком содержании формальдегида в атмосфере у людей могут развиваться болезни лёгких, печени и почек, кожные заболевания. Формальдегид даже в небольшой концентрации отрицательно влияет на половую функцию человека (ранняя импотенция у мужчин и аноргазмия у женщин).

*Фенол* – токсичное органическое вещество, в просторечии называемое карболкой. Применяется в химических производствах, при выпуске синтетических смол и красителей, при покрытии эмалью проводов, для целей дезинфекции. При воздействии фенола у человека могут развиваться бронхиальная астма, ослабляется иммунная система, обостряются простудные заболевания и т. д.

*Фтористый водород* – газообразное вещество, с водой образует плавиковую кислоту, способную растворить даже стекло. Фтористого водорода много в воздухе районов, где расположены металлургические и машиностроительные предприятия. При воздействии на человека может наступить общее отравление, кожные заболевания, обострение лёгочных болезней.

*Озон ( $\text{O}_3$ )* – газ с характерным запахом, более сильный окислитель, чем кислород. В нижнем атмосферном слое озон образуется в результате фотохимических процессов с участием диоксида азота и летучих органических



соединений. Наиболее высокие концентрации озона наблюдаются в промышленных районах.

Озон относят к первому классу опасности, при этом максимально разовая ПДК составляет  $0,16 \text{ мг/м}^3$ , а среднесуточная –  $0,03 \text{ мг/м}^3$ .

*Углеводороды* – химические соединения углерода и водорода. К ним относят тысячи различных загрязняющих атмосферу веществ, содержащихся в несгоревшем бензине, жидкостях, применяемых в химчистке, промышленных растворителях и т. д.

Многие углеводороды опасны сами по себе. Например, бензол, один из компонентов бензина, может вызвать лейкемию, а гексан – тяжелые поражения нервной системы человека. Бутадиен является сильным канцерогеном.

*Свинец* (Pb) – металл токсичный в любой известной форме. Широко используется для производства припоя, красок, боеприпасов, типографского сплава и т. п. Около 60 % мировой добычи свинца ежегодно расходуется для производства кислотных аккумуляторов. Однако основным источником (около 80 %) загрязнения атмосферы соединениями свинца являются выхлопные газы транспортных средств, в которых используется этилированный бензин. В этом бензине в качестве антидетонационной присадки используется тетраэтилсвинец, что в значительной степени повышает энергоэффективность в двигателе. Но это токсичная добавка, наносящая существенный вред здоровью. Беларусь отказывается от использования этилированного бензина с 01 июля 2010 года.

Для свинца и его соединений (кроме тетраэтилсвинца) среднесуточная ПДК составляет  $0,0003 \text{ мг/м}^3$ , а для тетраэтилсвинца установлен ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ), равный  $3 \cdot 10^{-6} \text{ мг/м}^3$ .

Свинец и его соединения, попадая в организм человека, снижают активность ферментов и нарушают обмен веществ, кроме того, они обладают кумулятивным действием, т. е. способностью накапливаться в организме человека.

*Фреоны* – группа галогеносодержащих веществ, синтезированных человеком. Их преимуществом перед другими веществами является то, что они не горючи, не токсичны и нейтральны. Фреоны, представляющие собой хлорированные и фторированные углеводы (ХФУ), как недорогие и нетоксичные газы прежде широко применялись в качестве хладагентов в холодильниках и кондиционерах, пенообразующих агентов, в установках для газового пожаротушения, рабочего тела аэрозольных упаковок (лаков, дезодорантов и т. д.).

В настоящее время от фреонов практически повсеместно отказались в связи с тем, что, как полагают многие экологи, входящий в их состав фтор ответственен за уменьшение толщины атмосферного озонового слоя, экранирующего Землю от опасного для живых существ космического излучения. В результате используются новые хладагенты, не обладающие озоноразрушающим действием.

*Промышленные пыли 4-го класса: механическая пыль* – образуется в результате измельчения продукта в ходе технологического процесса; *возгоны* – образуются в результате объемной конденсации паров веществ при охлаждении газа, пропускаемого через технологический аппарат, установку или агрегат; *летучая зола* – содержащийся в дымовом газе во взвешенном состоянии несгораемый остаток топлива, образуется из его минеральных примесей при горении; *промышленная сажа* – входящий в состав промышленного выброса твёрдый высокодисперсный углерод, образуется при неполном сгорании или термическом разложении углеводородов.

Основной параметр, характеризующий взвешенные частицы, – это их размер, который колеблется в широких пределах – от 01 до 850 мкм. Наиболее опасны частицы от 0,5 до 5 мкм, поскольку они не оседают в дыхательных путях и именно их вдыхает человек.

Основными источниками антропогенных аэрозольных загрязнений воздуха являются теплоэлектростанции (ТЭС), потребляющие уголь высокой зольности, обогатительные фабрики, металлургические, цементные и другие заводы. Аэрозольные частицы от этих источников отличаются большим химическим разнообразием. Чаще всего в их составе обнаруживаются соединения кремния, кальция и углерода, реже – оксиды металлов: железа, магния, марганца, цинка, меди, никеля, свинца и др. Еще большее разнообразие свойственно органической пыли, которая образуется при сжигании остаточных нефтепродуктов, в процессе пиролиза на нефтеперерабатывающих, нефтехимических и других подобных предприятиях.

К постоянным источникам аэрозольного загрязнения относятся промышленные отвалы – искусственные насыпи из переотложенного материала, преимущественно вскрышных пород, образующихся при добыче полезных ископаемых или же из отходов предприятий перерабатывающей промышленности, ТЭС. Производство цемента и других строительных материалов также является источником загрязнения атмосферы пылью.

К опасным факторам антропогенного загрязнения атмосферы следует отнести *радиоактивную пыль*. Так, при ядерных взрывах или авариях на АЭС большая часть радионуклидов образуется в результате деления урана-235, урана-238 и плутония-239. Установлено, что через несколько десятков секунд после взрыва образуется примерно 100 различных радионуклидов, 29 из которых вносит наибольший вклад в радиоактивное загрязнение атмосферы через час, 20 – через двое суток, 3 – через 100 лет. Особую потенциальную опасность для человека и животных представляет стронций-90 не только как долгоживущий элемент, но и как аналог кальция, способный заменять его в костях.

**Фотохимический смог.** *Смог* – это загрязнение воздуха в больших городах и промышленных центрах, обусловленное застаиванием больших масс воздуха, что обусловлено температурной инверсией, которая присуща любому крупному городу.

Коричневый густой дым (от англ. *smoke* – дым, *fog* – туман), который был сочетанием дыма и тумана, впервые появился в Англии и мог превратить дневной свет в подобный ночи мрак [24].

Поначалу никто особо и не думал ни о безопасности, ни о токсичности дыма. С точки зрения многих граждан XIX века, угольный дым был платой за прогресс, «необходимым и безвредным следствием», как назвал его один из историков. «Дым – неустраняемая необходимость, спутник коммерческого и промышленного могущества», а также «дым не только не вреден для здоровья, но даже, напротив, дезинфицирует».

Однако во время данных инверсий умирало множество людей. Достаточно хорошее представление о вредоносной завесе угольного дыма, застилавшей крупные города Англии и США на рубеже веков XIX–XX, можно получить, взглянув на нынешний Пекин. Это напоминает нам, что общество сначала развивается и лишь потом, когда наиболее насущные потребности его граждан будут удовлетворены, занимается устранением загрязнений.

У угля появился конкурент – природный газ, который был намного дешевле угля, удобнее в использовании и значительно снизил уровень смертности.

Фотохимический смог, свойственный эпохе автомобилей, возникает при наличии в атмосфере высокой концентрации оксидов азота, углеводородов, озона и других загрязнителей в условиях интенсивной солнечной радиации и безветрия или очень слабого обмена воздушных масс в приземном слое. В результате образуются фотооксиданты – пироксиды, свободные радикалы, соединения с оксидами азота и серы, которые оказывают токсические действия на организм [21].

По своему физиологическому воздействию на человеческий организм фотохимический смог крайне опасен, особенно для дыхательной и кровеносной систем: возникает стойкая неспособность крови к усвоению и переносу кислорода.

### 15.2.2 Кислотные дожди

Впервые термин «кислотные дожди» был введен в употребление в 1872 г. английским химиком Р. Смитом. Учёный указал на то, что дым и пары, поступающие в атмосферу, содержат вещества, которые вызывают изменения в химическом составе дождя. Такой дождь вызывает вредные воздействия на окружающую среду.

Атмосфера загрязняется оксидами серы  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ , азота  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ , которые соединяются с парами влаги, содержащейся в воздухе, и образуют соответственно кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_2$  и  $\text{HNO}_3$ . Образовавшиеся сернистая, серная, азотная и азотная кислоты выпадают с осадками и называются кислотными дождями.

Кислотные дожди образуются в результате выброса в атмосферу оксидов серы и азота предприятиями топливно-энергетического комплекса, автотранспортом, а также химическими и металлургическими заводами.

Примерно две трети кислотных дождей вызываются диоксидом серы. Оставшаяся треть обусловлена в основном оксидами азота, которые также служат одной из причин парникового эффекта и входят в состав городского смога.

Эти загрязнители могут разноситься ветром на тысячи километров от источника и возвращаться на землю с дождем, снегом или туманом. Они превращают озера, реки и пруды в «мертвые» водоёмы, уничтожая в них практически всё живое – от рыб до микроорганизмов и растительности, губят леса, разрушают сооружения и памятники архитектуры. Многие животные и растения не могут выжить в условиях повышенной кислотности.

Сера содержится в таких полезных ископаемых, как уголь, нефть, медные и железные руды, при этом одни из них используются как топливо, а другие перерабатываются в химической и металлургической промышленности. При переработке сера превращается в различные химические соединения, среди которых преобладают диоксид серы и сульфаты. Образовавшиеся соединения частично улавливаются очистными устройствами, оставшаяся их часть выбрасывается в атмосферу.

Сульфаты образуются при сжигании жидких топлив и в ходе таких промышленных процессов, как нефтепереработка, производство цемента и гипса, а также серной кислоты. При сжигании жидких топлив образуется около 16 % общего количества сульфатов.

**Кислотные дожди и леса.** Огромный урон кислотные дожди наносят лесам, садам, паркам. Опадают листья, молодые побеги делаются хрупкими, как стекло, и гибнут. Деревья становятся более подверженными воздействию болезней и вредителей, отмирает до 50 % их корневой системы, главным образом мелкие корни, питающие дерево. В ФРГ кислотными дождями уже погублена почти треть всех елей. В таких лесистых районах, как Бавария и Баден, пострадало до половины лесных угодий.

**Кислотные дожди и материалы.** Влияние кислотных дождей на широкую гамму конструкционных материалов становится из года в год всё очевиднее. Так, ускоренная коррозия металлов под воздействием кислотных осадков приводит к гибели самолетов и мостов. Серьёзной проблемой, как известно, стало сохранение античных памятников в Греции и Италии.

На практике наибольшее внимание уделяют трём группам материалов из металлов – нержавеющей стали и оцинкованному железу; из строительных материалов – материалам для наружных конструкций зданий; из защитных – краскам, лакам и полимерам для поверхностных покрытий. При воздействии осадков и газов их повреждающее действие обусловлено интенсивностью каталитических реакций с участием металлов.

По данным Европейского парламента, экономический ущерб от кислотных осадков составляет 4 % валового национального продукта. Это должно учитываться при выборе стратегии борьбы с кислотными дождями в долгосрочной перспективе.

Конкретные меры по уменьшению выбросов серы в атмосферу реализуются в двух направлениях:

- использование на ТЭЦ углей с низким содержанием серы;
- очистка выбросов.

Малосернистыми считаются угли с содержанием серы менее 1 %, а высокосернистыми – с содержанием серы более 3 %. Чтобы уменьшить вероятность образования кислотных дождей, высокосернистые угли подвергают предварительной обработке. Мировые запасы нефти с низким содержанием серы (до 1 %) невелики и составляют не более 15 %. Обессеривание – это дорогой процесс.

При сжигании мазута с высоким содержанием серы используют специальные химические присадки, которые позволяют снизить содержание диоксида серы в выбросах.

Во всех развитых странах установлены лимиты на выбросы вредных веществ в атмосферу. Причём предусмотрено перспективное снижение выбросов с учётом разрабатываемых мероприятий по их уменьшению. Применяется комплекс штрафов и платежей, которые взимаются со всех предприятий-загрязнителей, вплоть до остановки вредного производства.

### 15.2.3 Биологическое загрязнение атмосферы

Биологические примеси в атмосфере подразделяют на патогенные микроорганизмы (бактерии, вирусы, грибы и т. д.) и микроорганизмы (растения и животные). К первым относят живые существа, размером меньше 500 мкм.

Загрязнение атмосферы биологическими примесями связано как с массовым появлением самих микроорганизмов, так и с влиянием их на человека, в первую очередь на его иммунную систему.

Иммунная система человека эволюционировала на протяжении миллионов лет, адекватно реагируя на новые бактерии и штаммы вирусов. Но это экологическое равновесие человека с окружающей средой начинает всё больше нарушаться, и здесь выделяют две причины. Первая связана с нарушением обмена веществ в организме человека под воздействием химических веществ, а вторая – с ослаблением организма под воздействием стрессовых ситуаций.

Даже микродозы чужеродных химических веществ, проникнув в организм человека с загрязненным воздухом, недоброкачественной пищей или водой, разносятся кровью по органам и тканям. Частично они задерживаются там и начинают участвовать в обмене веществ и становясь пусковыми механизмами ускоренной мутации клеток, среди которых зачастую появляются онкогенно опасные.

Исследованиями установлено, что к настоящему времени значительно возросла частота таких экологически зависимых (эндоэкологических) заболеваний, как сердечно-сосудистые и онкологические. Накоплен большой статистический материал, устанавливающий тесную корреляционную связь между концентрацией нитратов в пищевых продуктах и определенными заболеваниями печени (первичный рак печени). Эндоэкологические заболевания наиболее опасны для будущих поколений, и это подтверждается следующими данными: всего 23 % детей остаются здоровыми к 7-летнему возрасту, а к 17-летию – 14 %, половина юношей призывного возраста непригодна к службе в армии по состоянию здоровья [21].

### 15.3 Современное изменение состава атмосферы

Атмосфера, как известно, является газовой оболочкой Земли, вращающейся вместе с ней. Атмосферный воздух, находящийся в слое, который называется тропосферой, и являющийся самым близким к поверхности Земли, содержит примерно 90 % массы воздуха и почти весь водяной пар, образующий облака.

Выше тропосферы расположен слой примерно 40 км, который называется озоновым и содержит трёхатомный кислород  $O_3$ . В стратосфере сконцентрирована основная часть озона, который поглощает ультрафиолетовые лучи и способствует разогреву воздуха. Если уплотнить все молекулы озона, то его толщина будет составлять 2–4 мм. Эта плёнка служит защитой от ультрафиолетовых лучей солнечной радиации.

В наибольшей степени на процессы жизнедеятельности на Земле влияет изменение кислородного баланса и концентрации углекислого газа. К сведению, без воздуха человек может прожить 5–7 минут (мозг – до 6 минут), опытные ныряльщики задерживают дыхание около 30 минут.

Деятельность человека оказывает существенное влияние на состояние тропосферы и стратосферы (вызывает парниковый эффект и фотохимический смог, разрушает озоновый слой).

В таблице 15.2 представлен средний химический состав современной атмосферы.

Таблица 15.2 – Химический состав атмосферы

Устойчивые и неустойчивые газы		Изменяющиеся газы	
Компонент	Концентрация, %	Компонент	Концентрация, %
Азот $N_2$	78,08	Пары воды $H_2O$	0–4
Кислород $O_2$	20,95	Диоксид углерода $CO_2$	0,3403
Аргон Ar	0,93	Оксид углерода CO	0–0,01
Неон Ne	0,0018	Озон $O_3$	0,001
Гелий He	0,00052	Диоксид серы $SO_2$	0,0001
Метан $CH_4$	0,00015	Оксид азота NO	0,00002
Криптон Kr	0,00011		
Водород $H_2$	0,00005		

Снижение содержания кислорода в атмосферном воздухе обусловлено, с одной стороны, сокращением его поступления из природных источников, а с другой – неуклонным увеличением его потребления. Основными причинами сокращения поступления кислорода в атмосферу является интенсивное загрязнение поверхностных вод Мирового океана и уменьшение общей площади лесных массивов.

Установлено, что водная поверхность регенерирует около 50 % атмосферного кислорода.

Увеличение потребления кислорода связано:

– с ростом населения Земного шара, так как за сутки при дыхании человек через свои легкие пропускает до 120–150 м<sup>3</sup> воздуха;

– с широким внедрением технологических процессов, в которых окислительные реакции осуществляются за счёт атмосферного кислорода.

За последние 25–30 лет транспорт и промышленность взяли из атмосферы больше кислорода, чем использовано человечеством за весь исторический период существования цивилизации. На всю техногенную деятельность человечество тратит 30–40 млрд т кислорода в год.

Нарушение кислородного баланса будет иметь глобальные последствия.

### 15.3.1 Парниковый эффект

Для последних 30 лет характерны климатические аномалии. Во многих местах отмечены сильные региональные аномалии в виде засух или, наоборот, необычно обильных осадков, наводнений и т. д. Среднегодовая температура за последнее столетие выросла примерно на полградуса. За 100 лет уровень Мирового океана увеличился на 10–15 мм. Частично это объясняется его тепловым расширением, частично – таянием ледников [23].

Большинство ученых считает, что указанные аномалии вызваны изменением химического состава атмосферного воздуха с ростом концентрации углекислого газа, что приводит к возникновению парникового эффекта.

Суть парникового эффекта заключается в том, что парниковые газы хорошо пропускают солнечное излучение, достигающее до поверхности Земли и нагревающие её, и заметно поглощают отраженное тепловое (длинноволновое) излучение нагретой поверхности и нижних слоёв атмосферы. Часть этого поглощенного теплового излучения возвращается атмосферой к поверхности Земли. Не будь этого эффекта, средняя температура земной поверхности была бы на 3,2–5 °С ниже нынешних 14,5 °С.

Проверка состава атмосферного воздуха показывает, что содержание углекислого газа в нём возрастает. Следовательно, приход на Землю солнечного излучения больше охлаждения её в космическое пространство. В результате нарушается тепловой баланс Земли и она нагревается. В настоящее время в атмосферу выбрасывается более 25 млрд т CO<sub>2</sub>, при этом 45 % дало сжигание угля, 40 % – нефти и нефтепродуктов, 15 % – газа. Вклад стран в эти процессы показан в таблице 15.3 [23].

Таблица 15.3 – Вклад некоторых стран в глобальный выброс CO<sub>2</sub>

Страна	Вклад в выброс, %
США	23
СНГ	19
Западная Европа	14
Восточная Европа	7
Китай	9
Прочие страны	28

По прогнозам учёных через 15–20 лет средняя температура на Земле может повыситься на 1,5–2 °С. Такое повышение в масштабе всей планеты приведёт к значительному росту природных катаклизмов, затоплению ряда прибрежных городов и полному исчезновению некоторых видов животных – к примеру, моржей. Что касается людей, то к 2050 году не менее полумиллиарда жителей планеты будут страдать и даже умирать от жары.

Снега Килиманджаро, красивойшей горной вершины, в 2005 году растаяли. Гора Килиманджаро лишилась своей ледяной короны, которая в жаркой Африке подчёркивала редкую красоту горы. Но кроме этой красоты десятки тысяч окрестных жителей остались без пресной воды.

Климатологи доказывают, что само по себе глобальное потепление – лишь одна из сторон загадочного процесса изменения климата. На протяжении всей известной истории человечества средняя температура воздуха менялась в широких пределах. При этом таяли и вновь рождались ледники, включая ледяной щит Арктики («Гренландия» – в переводе «Зелёная земля») и купол Антарктиды. В свою очередь изменение ледяного покрова влияет на уровень Мирового океана и морскую флору и фауну.

Глобальные изменения погоды приводят к довольно частому появлению смертоносных торнадо, штормов и ураганов.

Исследователи Агентства по защите окружающей среды (США) просчитали варианты изменений, которые могут произойти на Земле, если растают все ледники и уровень океана, соответственно, повысится на 65 метров. В результате такого прогноза возможны следующие катастрофические изменения.

**В Северной Америке** уйдут под воду Мексиканское побережье, Флорида и часть Калифорнии.

**В Южной Америке** почти полностью исчезнут такие страны, как Парагвай и Уругвай.

**В Европе** уйдут под воду Лондон, Венеция, большая часть Дании и Нидерландов, Одесса. Крым превратится в остров. Города Мурманск, Архангельск, Петрозаводск и Санкт-Петербург фактически обречены.

**В Азии** исчезнут Бангладеш и побережья Индии и Китая, которые являются самыми густонаселёнными на планете.



**В центре Австралии** образуется огромное море, побережье этого материка, на котором расположены все крупные города, будет полностью затоплено.

**В Африке** всемирный потоп превратит африканские пустыни в огромный оазис.

**Антарктида** превратится в райский уголок.

Но этот прогноз вовсе не означает скорейшее массовое переселение населения из районов, прогнозируемых к затоплению. Скорость таяния льдов зависит от множества факторов. Например, от скопления парниковых газов в атмосфере, явлений, связанных с океаническими течениями, солнечными циклами, колебаниями земной околосолнечной орбиты и оси вращением Земли.

При нынешних условиях, для того чтобы весь лёд на Земле растаял, понадобится около пяти тысяч лет.

Чтобы существенно замедлить глобальное потепление, которое, в свою очередь, связано с парниковым эффектом, ряд европейских стран приняли решение по возможности сократить выбросы парниковых газов в атмосферу. Предотвратить глобальное потепление можно только комплексными мерами, охватывающими промышленность, науку, сам стиль жизни, особенно в развитых странах. Первая мера – это широкое применение внедрения энергосберегающих технологий и устройств. Вторая – экономия углеводородных природных топлив, причем более широкое внедрение газового топлива. Третья – максимально возможное применение альтернативных источников энергии. Четвертая – изменение стиля жизни таким образом, чтобы экономить энергетические ресурсы.

### **15.3.2 Изменение озонового слоя**

Как известно, первые микроорганизмы смогли выбраться из океанов только после того, как в стратосферных высотах возник «озоновый слой», который вместе с магнитным полем Земли ослабляет убийственную для живых организмов солнечную радиацию. Озон (изотоп кислорода) обладает сильными окислительными свойствами. В атмосфере озон встречается у земной поверхности и максимальная концентрация его наблюдается в так называемой озоносфере. Озоновый слой далеко не однороден: в средних широтах располагается на высоте 20–24 км, в тропиках – 24–27 км, а в высоких широтах опускается до высот 13–15 км [21]. Причём, если атмосферный озон привести к нормативным условиям земной поверхности (давление 760 мм рт. ст. и температуре 0 °С), то средняя толщина озонового слоя не превысит 3 мм.

Именно озоновый слой, поглощая коротковолновое ультрафиолетовое излучение Солнца, сохраняет всё живое на Земле и предопределяет тепловой режим, а также динамику атмосферы.

Ультрафиолетовое излучение может быть различной длины и по-разному влияет на организм человека. Длинноволновое ультрафиолетовое излучение обладает слабым биологическим воздействием. Средневолновое ультрафиолетовое излучение сильно воздействует на кожный покров. Коротковолновое ультрафиолетовое излучение весьма отрицательно воздействует на тканевые белки и липоиды, сетчатку глаза, разрушает кровяные тельца и вызывает мутацию молекул ДНК. Причём защитные свойства озонового слоя определяются не только его толщиной, но и углом, под которым солнечная радиация падает на Землю. Следовательно, интенсивность коротковолнового излучения в тропиках больше, чем в других местах земной поверхности.

Во второй половине прошлого века метеорологи заметили, что «озоновый щит» Земли далеко не однороден и в нём могут возникать «озоновые дыры». Если эти дыры будут разрастаться, то потоки губительного ультрафиолетового излучения затопят всё живое на Земле через «разорванные озоновые небеса».

Всё это и породило одну из самых известных экологических гипотез. Огромные усилия мировой экономики были брошены на то, чтобы доказать именно техногенный сценарий образования озоновых дыр. В 1987 г. Монреальский протокол указал, что негативное влияние на озоновый слой оказывают хлорфторуглероды, которые синтезированы человеком. Озон разрушает фтор- и хлорзамещённые углеводороды, применяемые в качестве хладагентов в холодильной технике. Под действием ультрафиолетового излучения от фреонов отделяется атомарный хлор, который взаимодействуя с озоном образует молекулярный кислород и активный хлор. Затем образовавшийся хлор реагирует с атомарным кислородом и снова получается кислород и атом хлора, который опять продолжает взаимодействие с озоном, разрушая его и т. д. Один атом хлора способен разрушить до 10 тыс. молекул озона. Озон широко используется производителями дешёвых промышленных и бытовых холодильников в качестве традиционных хладагентов.

Истощение озонового слоя в атмосфере приводит к увеличению потока ультрафиолетовых лучей на земную поверхность, что создает опасность для жизненных процессов практически всех живых организмов на планете. По данным ВОЗ, уменьшение содержания в атмосфере озона на 1 % приводит к увеличению кожных раковых заболеваний у людей на 6 %, также происходит угнетение иммунной системы человека. Кроме того, рост интенсивности ультрафиолетового излучения может привести к снижению урожайности значительного числа сельскохозяйственных культур (вследствие нарушения в них обмена веществ и воздействия микроорганизмов-мутантов), гибели фитопланктона в океане, нарушению глобального баланса диоксида углерода и кислорода со всеми вытекающими негативными последствиями.

Газы и аэрозоли, выбрасываемые в атмосферу, характеризуются высокой реакционной способностью. Пыль и сажа, возникающие при сгорании топлива и лесных пожарах, сорбируют тяжелые металлы и радиоактивные вещества (радионуклиды) и при осаждении на земную поверхность способны загрязнять обширные территории и проникать при дыхании в живые организмы, в том числе в организм человека.

Сохранение озонового слоя – одна из глобальных задач мирового сообщества. Для предотвращения разрушения озонового слоя необходим отказ от хлорсодержащих веществ. В 1987 г. 34 страны подписали Монреальский протокол об ограничениях производства хлорированных и фторированных углеводородов. Эта практика расширяется и за этим направлением большое будущее. Другим направлением является создание систем генерации озона в атмосфере, что связано с большими затратами.

Предотвратить глобальное потепление можно только комплексными мерами, охватывающими промышленность, науку, сам стиль жизни, особенно в развитых странах. Первая мера по снижению потепления атмосферы – это широкое применение внедрения энергосберегающих технологий и устройств, вторая – экономия ископаемого углеводородного топлива, причем более широкое внедрение газового топлива на производстве. При этом следует учитывать, что при получении одинакового количества энергии природный газ, как топливо, образует на 43 % меньше углекислого газа, чем уголь. Если же учесть, что КПД газосжигающих установок заметно выше, чем потребляющих уголь, в результате выигрыш будет в 2–3 раза выше [23]. Третья – использование альтернативных источников энергии и формирование научных и опытно-конструкторских работ в этом направлении. Наконец, четвертая – изменение стиля жизни таким образом, чтобы жизненные стандарты не требовали завышенного энергопотребления.

## 15.4 Нормирование качества атмосферного воздуха

При нормировании качества воздушной среды используются три вида ПДК: предельно допустимая максимально разовая концентрация загрязняющего вещества в воздухе населенных мест (ПДК<sub>мр</sub>), предельно допустимая среднесуточная концентрация загрязняющего вещества в воздухе населенных мест (ПДК<sub>сс</sub>) и предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воздухе рабочей зоны (ПДК<sub>рз</sub>).

Вид ПДК<sub>сс</sub> – это наибольшая концентрация загрязняющего вещества в воздухе населенного пункта, которая не оказывает на человека никакого отрицательного действия в условиях круглосуточного вдыхания.

Вид ПДК<sub>мр</sub> – это концентрация загрязняющего вещества в воздухе рабочей зоны, которая не вызывает у работающих людей при ежедневном вдыхании в пределах 8 часов отклонений в состоянии здоровья непосредственно в процессе работы или в определенной перспективе.

При одновременном присутствии в атмосферном воздухе нескольких вредных веществ, обладающих суммирующим действием, должно соблюдаться следующее неравенство:

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

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – фактическая концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе;

$\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$  – предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе.

$\text{ПДК}_{\text{рз}}$  вредного вещества в воздухе рабочей зоны, где человек находится ограниченное время, выше  $\text{ПДК}_{\text{сс}}$ , мг/м<sup>3</sup>, вредного вещества в воздухе населенных мест (таблица 15.4).

**Таблица 15.4 – Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе**

Вещество	$\text{ПДК}_{\text{рз}}$	$\text{ПДК}_{\text{сс}}$	$\text{ПДК}_{\text{мп}}$
Аммиак	20	0,04	0,2
Бензол	5	0,1	1,5
Гидразин	0,1	–	–
Диоксид азота	5	0,04	0,085
Диоксид серы	10	0,05	0,5
Оксид углерода	20	3	5
Тетраэтилсвинец	0,005	–	–
Формальдегид	0,5	0,012	0,035
Хлорид водорода	5	0,2	0,2

Концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе населенного пункта зависит от количества этих веществ, выбрасываемых всеми источниками загрязнения. Чтобы не создавались условия, опасные для здоровья населения, для каждого источника загрязнения устанавливается свой предельно допустимый выброс (ПДВ).

Значение ПДВ – это максимально допустимое количество загрязняющих веществ данным источником загрязнения в единицу времени. Количественно ПДВ определяется по формуле

$$\text{ПДВ} = K_p \text{ПДК},$$

где  $K_p$  – коэффициент разбавления загрязняющего вещества, м<sup>3</sup>/с;

$\text{ПДК}$  – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества, мг/м<sup>3</sup>.

ПДВ устанавливают для каждого стационарного и передвижного источника выбросов загрязняющих веществ, включая транспортные средства. Расчет ПДВ предусматривает необходимые мероприятия, обеспечивающие требуемую чистоту воздуха. Работы по установлению ПДВ для всех предприятий и объектов населенного пункта производятся под руководством головной природоохранной организации, назначаемой для каждого насе-

ленного пункта. При расчете ПДВ учитывают рассеивание загрязняющих веществ от данного источника и поступление в атмосферный воздух аналогичных веществ от других источников загрязнения в данном районе.

### ***Вопросы для закрепления раздела 15***

- 1 Назовите пять слоёв атмосферы и её химический состав.
- 2 Какие основные загрязнители воздуха?
- 3 Что такое «смог» и причины его образования?
- 4 В чем проявляется токсичность формальдегида и его источники?
- 5 Какие производства загрязняют воздух фенолом?
- 6 Назовите основные источники антропогенных аэрозольных загрязнений.
- 7 В чем опасность радиоактивной пыли?
- 8 Причина образования кислотных дождей.
- 9 Источники выбросов оксидов серы и азота.
- 10 Каким объектам кислотные дожди наносят наибольший урон?
- 11 Меры по уменьшению выбросов вредных веществ.
- 12 Средний химический состав современной атмосферы.
- 13 Основные причины сокращения поступления кислорода в атмосферу.
- 14 В чем заключается суть парникового эффекта?
- 15 Чем грозит повышение средней температуры на Земле?
- 16 Меры по предотвращению глобального потепления.
- 17 В чем назначение озонового слоя атмосферы?
- 18 Меры по предотвращению разрушения озонового слоя.
- 19 Как устанавливаются предельно допустимые выбросы для населенного пункта?

## **16 ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ИХ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ЗАЩИТА**

Воде дана волшебная сила  
стать соком жизни на Земле.  
*Л. да Винчи, ученый, художник*

Вода на Земле присутствует во всех трех агрегатных состояниях, однако наибольший объём ее приходится на жидкую фазу, которая весьма значима для формирования других особенностей планеты. Это тончайшая водяная пленка (лишь 0,03 % земного диаметра) на поверхности Земли, но играющая исключительно важную роль в биосферной системе.

### **16.1 Структура гидросферы Земли**

Гидросфера – водная оболочка Земли, включающая океаны, моря, реки, озера, подземные воды и ледники, снеговой покров, а также водяные пары в атмосфере. Гидросфера Земли на 94 % представлена солеными водами оке-

анов и морей, более 75 % всей пресной воды законсервировано в полярных шапках Арктики и Антарктиды (таблица 16.1).

Таблица 16.1 – Распределение водных масс в гидросфере Земли [23]

Часть гидросферы	Объем воды, тыс. км <sup>3</sup>	Доля в общем объеме вод, %
Мировой океан	1 370 000	94,1
Подземные воды	60 000	4,1
Ледники	24 000	1,7
Озера	280	0,02
Вода в почве	80	0,01
Пары в атмосфере	14	0,001
Реки	1,2	0,0001

Без воды не могло бы быть человека, животного и растительного мира, так как большинство растений и животных состоит в основном из воды. К сведению, человек – это «ходячая» вода. У младенца 90 % воды в тканях организма, у старика – 50 % воды в организме, у взрослого человека средней массы – около 70 % воды. Без воды человек в среднем может прожить 2–3 суток.

Для жизни необходимы температуры в диапазоне от 0 до 100 °С, что соответствует температурным пределам жидкой фазы воды. Для многих живых существ вода служит средой обитания. Таким образом, главной особенностью гидросферы является изобилие жизни в ней.

Велика роль гидросферы в поддержании относительно неизменного климата на планете, поскольку она, с одной стороны, выступает как аккумулятор тепла, обеспечивая постоянство средней планетарной температуры атмосферы, а с другой – за счет фитопланктона продуцирует почти половину всего кислорода атмосферы.

Водная среда используется для лова рыбы и других морепродуктов, сбора растений, добычи подводных залежей руды (марганца, никеля, кобальта) и нефти, перевозки грузов и пассажиров. В производственной и хозяйственной деятельности человек применяет воду для очистки, мытья, охлаждения оборудования и материалов, полива растений, гидротранспортировки. Но в то же время человек активно использует водную среду для сброса отходов. В результате антропогенное загрязнение ведет к серьезным изменениям в водных экосистемах, может даже погубить их и становится опасным для человека.

Рассмотрим некоторые особенности размещения и функционирования воды в отдельных частях гидросферы.

**Мировой океан.** Общая площадь Мирового океана в 2,5 раза превышает площадь суши. Основная площадь суши сосредоточена в Северном полушарии, а основная площадь воды – в Южном. Основные океаны Земли – Атлантический, Индийский и Тихий, причем последний превосходит по

площади все материки вместе взятые. Теплоемкость воды в 3300 раз выше, чем у воздуха, поэтому поверхностные океанические воды – главный накопитель и распределитель солнечной энергии. Океаны также дают до 50 % атмосферного кислорода. Растительность в океане распределена на глубинах до 100 м, где прозрачности воды достаточно для нормального фотосинтеза, животные обитают по всей толщине океана.

**Воды суши.** К ним относятся материковые воды, переносимые реками, сосредоточенные в озерах, болотах, ледниках, снежном покрове и заключенные в земной коре. Самая большая река мира – Амазонка, ее сток в океан составляет 6 % стока всех рек мира. В ее бассейне расположен самый большой лесной массив планеты. Планетарный резерв пресной воды высокого качества сосредоточен в озере Байкал, которое содержит пресной воды больше, чем все пресные озера мира. Территория Земли на 2 % покрыта болотами. В России и Беларуси расположено свыше 60 % всех болот.

**Подземные воды** (подземная гидросфера). Пресные, соленые и геотермальные (температура свыше 30 °С) воды залегают под почвой на разной глубине в земной коре. Объем подземных пресных вод примерно в 100 раз больше объема поверхностных пресных вод озер, рек, болот и др.

**Вода в атмосфере** представляет собой главным образом водяной пар или его конденсат; почти весь водяной пар (90 %) сосредоточен в тропосфере. Конденсат водяного пара превращается в туман или облака. Выпадающий дождь является естественным очистителем атмосферного воздуха от загрязнений, но может стать причиной загрязнения литосферы (кислотные дожди).

Если бы всё количество влаги в воздухе сконденсировалось и упало на Землю в виде осадков, то ее покрыло бы слоем воды толщиной в 25 м.

**Биологическая вода.** Это важнейшая составляющая живого вещества, на долю которой приходится в среднем 80 % общей массы живого существа. Общий объем биологической воды оценивается около 1000 км<sup>3</sup>. Необходимость воды для организмов очень велика. Например, человек за год потребляет около 10 т воды, а на образование 1 кг биомассы расходуется около 500 кг.

## 16.2 Природный водообмен

Природные воды подразделяют на два больших класса: *пресные* и *соленые*. Пресной называют воду, в 1 кг которой содержится не более 1 г солей. Остальные природные воды относят к соленым, на долю которых приходится 97,5 % всего мирового запаса воды.

Несмотря на огромные запасы природных вод на Земле, лишь незначительная часть их оказывается доступной и пригодной для практического использования. Это, прежде всего, пресная вода. Если к ежегодному потреблению человеком пресной воды в 60 т добавить еще 300 т воды, необ-

ходимые для удовлетворения других его жизненных потребностей, то годовое потребление пресной воды на одного жителя планеты составит 360 т. Следовательно, ограниченные единовременные запасы пресной воды могли бы быть исчерпаны в течение 3–4 месяцев. Однако запасы пресной воды на Земле непрерывно пополняются под действием естественных природных сил и прежде всего глобального водообмена.

Глобальный водообмен – это и водообмен в системе океан – материки, когда вода, испаряясь с поверхности океана, переносится ветрами на континенты и с речным стоком снова возвращается в океан, и локальные круговороты воды в отдельных ландшафтах, когда испарение воды приводит к облачности и выпадению осадков.

Солнечная энергия, затраченная на испарение воды, после выпадения осадков преобразуется в кинетическую энергию рек и ручьев. На указанный процесс затрачивается очень большое количество солнечной энергии, по некоторым оценкам – до трети того, что Земля получает от Солнца.

Испарение воды – важнейший процесс в ее кругообороте. Вода испаряется с поверхности как океанов и почвы, так и листьев растений после поглощения корнями. Количество воды, транспирируемой растениями, значительно. Вся наземная растительность отдает в атмосферу за год от 27 до 30 % общего количества влаги, получаемой суши планеты в виде осадков.

Развитие цивилизации изменяет естественный круговорот воды, прежде всего из-за изменения баланса транспирируемой (испарение землёй) воды, а также образования такого промежуточного звена, как техническое водопотребление. Особая роль в этом процессе принадлежит орошению – искусственному увлажнению почвы и поверхности растений путем подачи воды из водного источника в целях обеспечения растений влагой, промывки почв и регулирования их солевого режима. 70 % потребляемой людьми пресной воды используется в земледелии. При этом 60 % воды, применяемой для орошения, не доходит до полей. Орошаемые земли по меньшей мере вдвое продуктивнее неорошаемых: составляя шестую часть обрабатываемых земель, они приносят треть всех урожаев.

Для экономии воды на орошение необходимо применять прогрессивные методы. Наиболее экономичным и эффективным методом орошения является подпочвенное капельное, когда вода по системе специальных труб, заложенных в толще почвы, подается к корневой системе растений.

Технический прогресс значительно повысил статус и ценность пресной воды. Более 20 % пресной воды используется промышленностью. Вода используется в производстве энергии на тепловых электростанциях, в паровых и водогрейных котлах, двигателях внутреннего сгорания (бензиновых, газовых и дизельных), газотурбинных установках и других.

На долю сельского хозяйства, как было указано, приходится около 70 % мирового потребления воды, и спрос продолжает расти. Словом, наличие



воды нужного качества и в надлежащем количестве – это один из ключевых показателей уровня жизни в современном мире.

Может показаться, что это довольно простая задача – ведь почти две трети поверхности Земли занимает мировой океан. Но это не так: почти вся эта вода перенасыщена солями и не подходит для указанных потребностей. Нужна пресная вода, а реки и озера (пресные) составляют всего менее 0,02 % общего объёма воды.

Самый простой способ опреснения воды известен давно – это дистилляция (лат. *distillatio* – стекание каплями) – перегонка жидкости путем испарения с последующей конденсацией паров. Однако этот способ опреснения малоэффективен.

Для опреснения больших объёмов воды используют обратный осмос. Суть этого способа очистки воды заключается в том, что нечистая солёная вода проходит под большим давлением через ряд специальных мембран (не фильтров), где задерживаются до 98 % минеральных солей и примесей. Однако это энергоёмкий и дорогой процесс. Опреснение 1 т морской воды стоит столько же, сколько транспортировка 1 т воды на расстояние в 1500 км. Поэтому в больших масштабах позволить себе это могут только энергетически очень богатые страны, такие как Саудовская Аравия, Объединённые Эмираты, Катар, Кувейт, Бахрейн. Эти страны производят более половины всей опресненной воды в мире. Остальное производство опресненной воды приходится на долю небольших локальных проектов.

Прогресс не стоит на месте, и учёные из Южной Кореи недавно разработали опытную установку для обратного осмоса, где используются принципиально новая мембрана на основе нановолокон. Эта мембрана позволяет опреснять воду при нормальном давлении, а значит, без затрат больших энергетических мощностей.

Мировое сообщество возлагает надежды на получение пресной воды из льда у полюсов. В этих ледяных шапках сосредоточено 68,7 % всей пресной воды на Земле. Сейчас, когда происходит некоторое потепление, этот лед понемногу тает и растворяется в океанических водах без всякой пользы. Подсчитано, что только за один летний сезон ледники теряют до 2400 трлн м<sup>3</sup> чистой воды, в то время как её потребление составляет в среднем 3900 млрд м<sup>3</sup>. Еще в середине прошлого века ученые стали выдвигать идеи включения полярных льдов в водоснабжение человечества. Сначала была идея использовать антарктические айсберги, но из-за большого расстояния и, следовательно, длительного пути в воде половина айсберга, по расчётам, растает.

Внимание разработчиков переключилось на Арктику. От ледяного покрова Гренландии ежегодно откалывается до 15 тысяч айсбергов разных размеров. Технология транспортировки айсбергов достаточно чётко проработана. Ледяную глыбу обнаруживают при помощи спутниковой связи.

Вертолѣтами спускают на неё специальные крепѣжные платформы и людей, которые подготавливают айсберг к плаванию: закрепляют тросы, придают ему форму корабля, а также обворачивают в пленку снизу и по бокам. По прибытии на место ледяная глыба распиливается на блоки толщиной до 40 метров, помещается блоками в резервуары, откуда в виде талой воды поступает в водопроводную сеть.

Другой способ использования полярных льдов предлагают российские учёные – перевозить в специальных кораблях-холодильниках. Айсберги помещаются в них не в своей естественной форме, а в виде ледяной крошки, в которую их превращают с помощью пил и фрез. Такой подход практически сводит на нет потери ледниковой воды, к тому же тщательно упакованный лёд никак не будет влиять на температуру воздуха и воды вокруг себя. Следовательно, такой способ не приведет к нарушению экономического равновесия.

Однако освоение полярных льдов требует решения массы юридических вопросов, поскольку полюса Земли являются международным достоянием. Кроме того, при использовании вековых ледников возможен рост инфекционных заболеваний, как прогнозируют учёные.

Пока мы с тревогой констатируем, что пресные воды больших и малых рек по всему миру загрязняются промышленными и бытовыми стоками, и призываем промышленников к экологической дисциплине, надеемся пробудить в людях совесть и здравый смысл.

## **16.3 Загрязнение водных ресурсов**

### **16.3.1 Загрязнение морей и океанов**

Мировой океан является средой обитания, а также оказывает влияние на климат Земли. Но в настоящее время (это необходимо для жизни) водное пространство стало местом сброса различных отходов. Промышленные предприятия, химикаты полей и лесов, бытовые отходы сбрасываются в реки, которые затем загрязняют моря и океаны. Они содержат такие вредные для жизнедеятельности вещества, как нефтепродукты, тяжелые металлы, пестициды, радиоизотопы и др. Токсические вещества, такие как оксид углерода, двуокись серы, свинец и др., попадают в морскую воду через атмосферу вместе с дождем.

Различают три группы источников загрязнения мирового океана:

– *морские* – военные корабли, суда различного назначения и другие установки и устройства, эксплуатируемые в морской среде; трубопроводы, установки и устройства, используемые при разведке и разработке природных ресурсов морского дна и его недр;

– *наземные* – реки, озера и другие водные системы, куда загрязняющие вещества попадают с грунтовыми водами, а также в результате сбросов

сточных и нагретых вод с различных береговых объектов, захоронений радиоактивных отходов и других особо вредных веществ;

– *атмосферные* – различные промышленные предприятия, транспортные средства и другие объекты, откуда могут происходить выбросы в атмосферу вредных газообразных отходов.

**Особенности загрязнения морских вод нефтью.** К числу наиболее распространенных и вредных загрязняющих веществ относится нефть. Ежегодное поступление нефти и нефтепродуктов в моря и океаны, по данным ООН, достигает 6–7 млн т.

Одним из основных источников нефтяных загрязнений морской среды является морской транспорт, прежде всего танкерный флот вместимостью более 120 млн брутто-регистрационных тонн – это свыше трети вместимости всех морских транспортных средств. Данное загрязнение представляет колоссальную потенциальную опасность для вод Мирового океана. По известным данным, из-за аварий на танкерах в моря и океаны поступает примерно 5 % всей перевозимой нефти.

Огромное количество нефти попадает в море в результате сброса с судов промысловых, балластных и льяльных (трюмных) вод, а также потерь при погрузке и разгрузке танкеров. По этим причинам в морях и океанах ежегодно оказывается около 3 млн т нефти. При этом в основном загрязняются территории портов, припортовые акватории, прибрежные районы и районы интенсивного судоходства.

В настоящее время интенсивно эксплуатируются подводные скважины, которые дают около 50 % добываемой в мире нефти. При морской нефтедобыче возможно загрязнение морской среды вследствие аварий, а также мелких утечек нефти добывающего оборудования (оцениваемых в 0,1 млн т ежегодно).

Источником нефтяных загрязнений вод являются береговая промышленность и в первую очередь нефтеперерабатывающие заводы. Хотя сточные воды промышленных предприятий очищаются, полной очистки вод от нефти и нефтепродуктов достичь не удается.

Кроме техногенных источников имеются и природные. Естественные выходы нефти образуются в местах ее просачивания из нефтеносных слоев через земную кору. Скорость поступления нефти из естественных выходов обычно невелика, поэтому основную часть загрязнений Мирового океана (более 90 %) поставляют источники антропогенного происхождения.

Поля нефтяных загрязнений, формирующие локальные зоны, остаются устойчивыми во времени, поэтому в их распространении огромную роль играют океанические циркуляции. Именно они переносят нефтяные загрязнения в наиболее чистые районы Мирового океана, в том числе и в Северный Ледовитый океан.

Поступившие в воду нефтепродукты деградируют в результате химического, фотохимического и бактериального разложения, а также деятельности некоторых морских организмов и высших растений. Однако «процесс» естественной нейтрализации нефтепродуктов достаточно длителен и может составлять от одного до нескольких месяцев.

Наибольшую опасность по своим последствиям представляют нефтяные пленки, образующиеся на водной поверхности и уменьшающие теплопроводность и теплоемкость верхнего водного слоя. Поэтому наличие нефтяной пленки сказывается на процессе испарения. Экспериментально установлено, что за 1 ч с поверхности океана в одну квадратную милю при наличии нефтяной пленки испаряется 45 т воды, в то время как при отсутствии пленки – 97 т, т. е. в 2 раза больше. Замедление процесса испарения приводит к тому, что воздушные массы, движущиеся над океаном, слабее насыщаются водяным паром.

В естественных условиях через границу раздела атмосфера – водная поверхность непрерывно происходит обмен кислородом и углекислым газом, интенсивность которого при наличии нефтяной пленки сильно уменьшается. При определенных условиях нефтяные пленки понижают температуру поверхностного слоя воды (не ниже + 4 °С), что приводит к повышению ее плотности и в результате верхний слой воды погружается в глубину, заноса туда нефтяное загрязнение.

Нефтяные загрязнения воздействуют и на живые организмы, экранируя солнечное излучение и замедляя обновление кислорода в воде. В результате перестает размножаться планктон – основной продукт питания морских обитателей. Толстые нефтяные пленки нередко становятся причиной гибели морских птиц.

Кроме того, нефть – своего рода наркотик для морских обитателей. Замечено, что некоторые рыбы, «хлебнув» однажды нефти, уже не стремятся покинуть отравленную зону. Нефть также отрицательно влияет на вкусовые качества мяса морских обитателей.

Таким образом, нефтяное загрязнение – грозный фактор, влияющий на жизнь всего Мирового океана. Особенно опасно загрязнение высокоширотных вод, где из-за низкой температуры нефтепродукты практически не разлагаются и «консервируются» льдами.

**Особенности загрязнения морских вод тяжелыми металлами.** В условиях активной антропогенной деятельности загрязнение океанических вод тяжелыми металлами стало особо острой проблемой. Группа тяжелых металлов плотностью выше 4,5 г/см<sup>3</sup> объединяет более 30 элементов периодической системы. Эти металлы (ртуть, свинец, кадмий, цинк, медь, мышьяк) относятся к числу распространенных и весьма токсичных загрязняющих веществ. Они широко применяются в различных промышленных производствах, поэтому, несмотря на очистные мероприятия, содержание тяжелых

металлов и их соединений в промышленных сточных водах довольно высокое. Большие массы этих соединений поступают в океан через атмосферу. Для морских биоценозов наиболее опасны ртуть, свинец и кадмий, так как они сохраняют токсичность бесконечно долго – это сильнейшие яды. Попадая в морскую воду, тяжелые металлы концентрируются главным образом в поверхностной пленке, в придонном осадке и в биоте, тогда как в самой воде они остаются лишь в сравнительно небольших концентрациях. Здесь особо значима поверхностная пленка, которая обычно простирается на глубину 50–500 мкм. Именно в данной области протекают все равновесные процессы массообмена между водой и атмосферой.

В заключение следует указать, что оценка состояния Мирового океана более тревожная, чем оценка состояния атмосферного воздуха. Это подтверждается результатами исследований, которые показывают, что загрязнения в атмосфере вызывают отклонения, которые не превышают 10 % естественных значений. В то же время в океане антропогенное влияние в обширных районах может снизить продуктивность на 25–30 %. Поэтому для поддержания экологического баланса морских просторов нашей планеты очень важны нормы современного международного права и сотрудничества.

Природная среда едина и неделима, изменения ее состояния нельзя ограничить каким-либо определенным пространством. Ни одно государство, каким бы экономическим и научно-техническим потенциалом оно ни обладало, не может решить все проблемы, связанные с сохранением и улучшением состояния окружающей среды. Международная специализация и координирование в науке и технике могут ускорить создание малоотходных технологических процессов и эффективных противозагрязняющих устройств.

### 16.3.2 Загрязнение материковых вод

В общем плане материковые воды обычно подразделяют на *поверхностные, почвенные, подземные*.

Пресные воды распределены на поверхности Земли крайне неравномерно. Так, в Европе и Азии, где проживает 70 % населения мира, сосредоточено лишь 39 % мировых речных вод.

Неравномерное распределение осадков и все возрастающее загрязнение гидросферы привели к тому, что во многих странах ощущается недостаток пресной воды. В настоящее время более 300 млн человек испытывают проблемы, связанные с нехваткой пресной воды.

Происходит истощение самых ценных из доступных человеку источников пресной воды – подземных вод. Истощение верхних горизонтов подземных вод наблюдается в США, Германии, Великобритании, Нидерландах, Японии.

Самое серьезное беспокойство вызывает состояние малых рек. Бесконтрольное использование воды, уничтожение водоохраных лесных полос и осушение верховых болот привели к массовой гибели малых рек.

Однако наиболее ощутимый удар по пресной воде нанесли современные технологии. Только промышленность сбрасывает в реки большие промышленные стоки – неочищенные или недостаточно очищенные. Они загрязняют около 10 % общего речного стока. В промышленно развитых странах эта цифра достигает 30 % и более. В итоге большинство рек Европы, Северной Америки и других континентов в своих руслах несут уже не пресную воду, пригодную для водоснабжения населения, а, можно сказать, разбавленные сточные воды городов, промышленных предприятий, животноводческих ферм и т. д.

Необдуманное использование воды, превышающее возможности ее воспроизводства, а также ее интенсивное загрязнение приводят к превращению в пустыни больших территорий. Некогда полноводные чистые реки и озера сплошь и рядом мелеют, в них размножаются сине-зеленые водоросли, и вода становится не пригодной ни для питья, ни для жизни рыб и других водных организмов. Пресные воды используются всеми отраслями народного хозяйства и отрасли соответственно подразделяются на две категории:

– *водопользователи* – это отрасли, которые используют водоемы для различных целей, но безвозвратный водозабор не ведут. К ним относятся гидроэнергетика, водный транспорт, рыбное хозяйство, местные органы, использующие воду для целей и нужд населения, т. е. службы хозяйственно-питьевого потребления.

– *водопотребители* – это отрасли, которые берут воду из водоемов, причем часть ее используется безвозвратно. Крупнейшими водопотребителями являются теплоэнергетика (особенно АЭС), сельское хозяйство, а из промышленности – химическая и металлургическая.

Современный город с населением 1 млн человек потребляет в сутки 300 тыс. м<sup>3</sup> воды, из которых 75–80 % превращаются в сточные воды.

Наиболее перспективный путь уменьшения потребления свежей воды – это создание оборотных и замкнутых систем водоснабжения, что позволяет в 10–50 раз уменьшить расход природной воды.

Основные пути решения проблемы обеспечения чистой воды:

- очистка сточной воды от загрязнений;
- очистка пресной воды, поступающей к потребителю;
- обеспечение режима и регулирование качества воды в водных объектах.

## 16.4 Очистка сточных вод

Выделяют два основных пути очистки сточных вод: разбавление сточных вод и очистка их от загрязнений. Разбавление представляет собой паллиативную меру, которая не ликвидирует воздействие сточных вод, а лишь ослабляет его на локальном участке водоёма. Основной путь – очистка сточных вод от загрязнения.

Очистка сточных вод производится механическими, физико-химическими, химическими и биологическими методами [28].

*Механическая очистка* предназначена для удаления из воды грубодисперсных примесей под действием массовых сил тяжести (седиментация) и в поле центробежных сил и, как правило, применяется для выделения нерастворенных примесей минерального и органического происхождения.

*Физико-химическая очистка* сточных вод основана на применении процессов коагуляции, флокуляции, сорбции, коалесценции, флотации, ионного обмена, экстракции, эвапорации, гиперфилтрации, кристаллизации, магнитной обработки и др. Также используют методы, которые связаны с наложением магнитного поля – электрокоагуляция, электродиализа и электрофлотация. Эти методы могут применяться как самостоятельно, так и в комплексе с механическими, химическими и биологическими.

*Химическая очистка* применяется в случае, когда выделение загрязнений из сточных вод возможно только в результате химических реакций между загрязнением и реагентом. При этом загрязнения окисляются или восстанавливаются и переходят в нетоксичные и малотоксичные продукты или в нерастворимые соединения.

*Биологическая очистка* сточных вод состоит в биохимическом окислении органических загрязнений сточных вод с помощью аэробных или анаэробных бактерий.

#### **16.4.1 Механическая очистка производственных сточных вод**

Для обработки производственных сточных вод процеживанием в зависимости от вида и размеров удаляемых примесей применяются решетки, сита, сетки, комбинированные установки, включающие процеживатели с системами удаления песка и всплывающие примесей, процеживатели с измельчителями. Процессы процеживания применяют для выделения из сточных вод крупных плавающих веществ и более мелких, главным образом волокнистых, загрязнений. Для выделения крупных веществ используют решетки, а более мелких частиц – сетки, волокнуловители.

*Решетки* применяются для задержания из производственных сточных вод крупных и волокнистых материалов и являются сооружениями предварительной очистки.

*Барабанные сетки и сита* применяются для задержания крупноразмерных примесей и снижения содержания взвешенных веществ. Одним из важных факторов применения барабанных сеток для механической очистки сточных вод – в исходной воде должны отсутствовать вещества, затрудняющие промывку сетки (масла, нефтепродукты, смолы, жиры), а содержание взвешенных веществ не должно превышать 250 мг/дм<sup>3</sup>.

*Волокнуловители.* Наиболее популярные дисковые волокнуловители, которые представляют собой перфорированный диск или наклонную сетку,

по поверхности которой распределяются сточные воды. Задержанные примеси удаляются с поверхности диска скребковым механизмом.

*Песколовки.* Для задержания тяжелых нерастворимых примесей, преимущественно песка, применяются песколовки различных конструкций. Применение их в схемах очистки производственных сточных вод улучшает работу последующих очистных сооружений и облегчает их эксплуатацию.

*Отстойники.* Для отстаивания взвешенных веществ используют горизонтальные, вертикальные и радиальные отстойники, а также тонкослойные.

Отстаивание жидкости в них осуществляется в тонкослойных элементах полочного или трубчатого типа с малой глубиной (от 25 до 250 мм). Уменьшение глубины осаждения сокращает продолжительность отстаивания и обеспечивает ламинарный режим течения воды, благоприятный для осаждения мелкодисперсных взвешенных веществ.

*Нефтеловушки* применяются на предприятиях железнодорожного транспорта, нефтепромыслах, нефтеперерабатывающих заводах и др. случаях для задержания грубодисперсных нефтяных частиц при концентрации нефтепродуктов в сточной воде более  $100 \text{ мг/дм}^3$ . Одновременно в них задерживаются механические примеси. Схематически нефтеловушка представлена на рисунке 16.1.

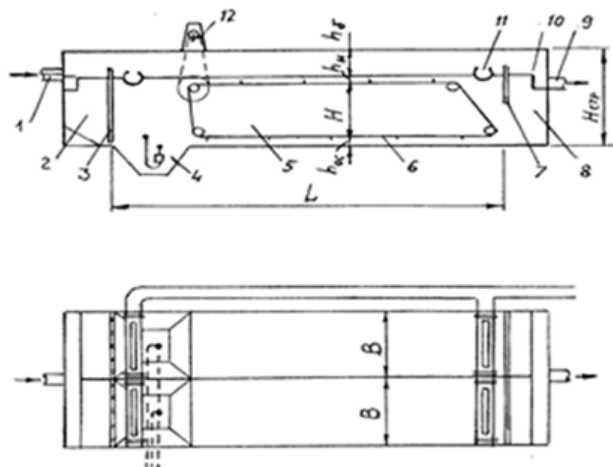


Рисунок 16.1 – Типовая нефтеловушка:

- 1 – подводный трубопровод; 2 – приемная камера; 3 – распределительная перегородка;
- 4 – приямок для осадка с гидрозелеватором; 5 – отстойная зона; 6 – скребковое устройство;
- 7 – нефтесдерживающая перегородка; 8 – выпускная камера; 9 – водоотводящий трубопровод;
- 10 – водосборный лоток; 11 – поворотные щелевые трубы; 12 – привод скребков

Тяжелые взвешенные вещества оседают на дно сооружения, а легкие нефтепродукты всплывают на поверхность воды. Выпавший на дно осадок



скребком, приводимым в движение от лебедки, периодически сгребается в приямок. Всплывшие на поверхность нефтепродукты сгоняются скребком к поворотным нефтесборным трубам и отводятся в нефтесборные резервуары.

Гидроциклоны используют для осаждения взвешенных веществ под действием центробежной силы, которая может в десятки раз превышать силу тяжести, поэтому осаждение взвешенных веществ в этих аппаратах происходит за более короткий срок, соответственно, объем их меньше объема отстойника.

Гидроциклоны разделяются на два основных типа: открытые (безнапорные) и закрытые (напорные).

Центробежная сила возникает при тангенциальном вводе жидкости в аппарат. В конической (нижней) части накапливается осадок, который осаждается в результате агломерации взвешенных частиц.

Открытые гидроциклоны применяются для выделения всплывающих и оседающих примесей, а также скоагулированных взвешенных веществ.

На рисунке 16.2 представлен напорный гидроциклон.

Напорные гидроциклоны применяют для выделения из воды тяжелых примесей, главным образом минерального происхождения, например:

- песок, глины и т. д. (стеклянные заводы, автохозяйства);
- компоненты формовочной земли (литейное производство);
- жир и твердая фаза минерального и органического происхождения (мясокомбинаты);
- нефтепродукты и шламы (нефтепромыслы);
- частицы минерального происхождения (свиноводческие комплексы).

Входной патрубок расположен тангенциально и заканчивается впускной насадкой, обеспечивающей скорость входа в аппарат не менее 6–8 м/с, вследствие чего обрабатываемая вода приобретает интенсивное вращательное движение. Под действием возникающей центробежной силы частицы тяжелых взвешенных веществ отбрасываются к стенкам гидроциклона и сползают вниз под действием силы тяжести, где удаляются с частью воды через грязевой насадок. Очищенная вода отводится через верхний отводящий патрубок. Под грязевым патрубком размещают соединенный с гидроциклоном промежуточный бункер, а под ним контейнер для сбора осадка (пульпы), который периодически вывозится.

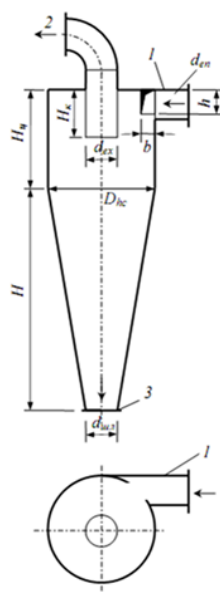


Рисунок 16.2 – Напорный гидроциклон:

- 1 – питающий патрубок;
- 2 – сливной патрубок;
- 3 – грязевой патрубок

Для повышения эффективности используется последовательное соединение гидроциклонов в одну, две или три ступени.

*Мембранное разделение* применяется для удаления растворенных и коллоидных частиц, бактерий, вирусов и извлечения ценных или ядовитых (ртуть) и радиоактивных веществ. Все методы мембранного разделения условно можно разделить на микрофильтрацию, ультрафильтрацию, обратный осмос, испарение через мембраны, диализ, электродиализ.

Очистные установки монтируются из модулей, которые собираются из отдельных мембран.

В зависимости от используемых мембран различают модули:

- трубчатые (рисунок 16.3, *а*);
- керамическая (рисунок 16.3, *б*);
- трубчатые с полыми волокнами;
- пластинчатые;
- спиральные.



Рисунок 16.3 – Виды мембран очистных установок:

*а* – трубчатая мембрана:

1 – подача исходной воды; 2 – труба; 3 – держатель мембраны;  
4 – очищенная сточная вода; 5 – мембрана; б – выход концентрата;  
7 – взвешенные вещества;

*б* – керамическая мембрана:

1 – концентрат; 2 – вода; 3 – пермеат

#### 16.4.2 Физико-химическая очистка сточных вод

Физико-химические методы очистки сточных вод используют для удаления из сточных вод тонкодисперсных взвешенных частиц (твердых и жидких), растворимых газов, минеральных и органических веществ. Они применяются как самостоятельные, так и в состоянии с механическими и биологическими методами. Причем они наиболее эффективны при локальной очистке сточных вод промышленных предприятий.

К физико-химическим методам очистки сточных вод относятся коагуляция, флокуляция, сорбция, флотация, коалесценция, экстракция, эвапорация, ионный обмен, кристаллизация, электродиализ, дезактивация и дезодорация.

**Коагуляция** – процесс нарушения агрегативной устойчивости дисперсной системы путем ввода в нее вещества, в результате химической реакции с которым образуются пористые рыхлые хлопья, способные поглощать частицы загрязнений сточных вод.

**Сорбция** – выделение из сточной воды растворенных в ней органических веществ и газов путем концентрации их на поверхности твердого тела (адсорбция), либо путем поглощения вещества из раствора или смеси газов пористыми твердыми телами (абсорбция), или путем химического взаимодействия растворенных веществ с твердым телом (хемосорбция).

**Экстракция** – выделение растворенных органических примесей, находящихся в сточных водах, путем обработки последних каким-либо не смешивающимся с водой растворителем – экстрагентом, в котором примеси, загрязняющие воду, растворяются лучше, чем в воде (например, количество растворенного фенола в бутилацетате в 12 раз больше, чем в воде).

**Флотация** – это процесс насыщения сточной воды пузырьками мелкодиспергированного воздуха, в результате которого нерастворенные вещества (эмульгированная нефть, целлюлозно-бумажное волокно, шерсть и др., имеющие плотность меньшую, чем плотность воды) прилипают к поверхности пузырьков и всплывают вместе с ними на поверхность воды, а затем удаляются из сооружения.

**Ионный обмен** – извлечение из водных растворов катионов и анионов при помощи ионитов – твердых природных или искусственных материалов, практически нерастворимых в воде и в органических растворителях, или искусственных смол. **Коалесценция** – слияние частиц (например, капель или пузырей) внутри подвижной среды (жидкости, газа) или на поверхности тела.

**Дезодорация** – устранение запахов путем аэрирования, хлорирования и озонирования.

**Электродиализ** – процесс переноса ионов через мембрану под действием электрического поля.

*Коагуляция* (от лат. *coagulatio* – свертывание, сгущение) используется для разрушения устойчивых суспензий и эмульсий. Коагуляция заканчивается переводом жидкого коллоидного раствора в гель или выпадением в осадок дисперсной фазы.

В качестве коагулянтов наибольшее распространение получили соли алюминия как более дешевые и доступные.

В качестве коагулянтов из природных веществ используют крахмал и его производные, производные целлюлозы, хитозан, желатин, альгинаты и гумаровые смолы и др. Из синтетических наиболее широко применяют органический полимер полиакриламид (ПАА).

*Флотация* получила распространение для очистки производственных сточных вод от жиров, масел, смол, нефтепродуктов, синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ), асбеста, шерсти, различных волокон и других примесей, плотность которых меньше плотности воды или близка

к ней. Параллельно, за счет аэрации, снижается величина БПК, ХПК, концентрация железа, марганца. Лучше флотируются те вещества, которые меньше смачиваются водой.

Сущность флотационной очистки состоит в том, что сточные воды искусственно насыщаются воздухом, к поверхности пузырьков которого прилипают частицы загрязнений и всплывают вместе с ними на поверхность воды, откуда удаляются. Длительность процесса флотации составляет около 20 мин.

*Сорбцию* применяют для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ, а также в локальных установках, если загрязняющие вещества не разлагаются или являются сильно токсичными при их небольшой концентрации.

Существует достаточно широкий ассортимент **сорбентов для извлечения нефтепродуктов**. Сорбенты на основе *неорганических материалов* (диатомит, цеолиты, глина, песок) имеют низкую нефтеемкость, гидрофильны, требуют дополнительного модифицирования, вызывают трудности с утилизацией и совершенно не удерживают легкие фракции нефтепродуктов (бензин, керосин, дизельное топливо). *Синтетические* сорбенты обладают хорошей поглотительной способностью, однако отличаются большей стоимостью и сложностью утилизации в силу высокой токсичности продуктов горения. Наиболее привлекательны и перспективны сорбенты *растительного* (органического) происхождения. Они являются органической частью существующих экосистем и в наибольшей степени соответствуют экологическим требованиям. В качестве таковых можно выделить сорбенты на основе торфяного мха.

**Сорбция осуществляется на порошкообразном активированном угле.** Уменьшение размеров частиц угля сильно влияет на процесс сорбции, например: при гранулированном угле для достижения состояния равновесия нужно несколько дней, для порошкообразного – несколько минут.

#### 16.4.3 Электрохимическая очистка сточных вод

К электрохимической очистке сточных вод относят: электрокоагуляцию, электрофлотацию, электролиз, электродиализ.

*Электрокоагуляция* применяется в основном для очистки сточных вод гальванических производств при необходимости извлечения шестивалентного хрома и ионов тяжелых металлов (железо, никель, цинк, медь и т. д.) и сточных вод, образующихся при химической и электрохимической обработке стали (хромирование, травление, электрополировка). Применяется также для удаления жиров, эмульгированных нефтепродуктов и мелких взвешенных веществ.

*Электрофлотация* является частным случаем электролиза и применяется для удаления эмульгированных жиров, нефтепродуктов, тяжелых метал-

лов и поверхностно-активных веществ. Частицы загрязнений прилипают к пузырькам электролизного газа, образующегося на электродах. Главным образом это пузырьки катодного водорода.

В случае применения растворимых анодов параллельно с электрофлотацией идет процесс электрокоагуляции, т. е. растворение анодного металла в воде, с образованием хлопьев гидроксида, интенсивно сорбирующих загрязнения. Пузырьки электролизного газа прилипают к хлопьям гидроксида и всплывают вместе с ними на поверхность во флотационной камере.

Современный *электродиализный* метод обработки воды представляет собой мембранный процесс, основанный на явлении переноса ионов электролита через селективные ионообменные мембраны под действием постоянного электрического тока.

Метод *экстракции* основан на введении в сточные воды жидкостей, обладающих следующими свойствами:

- не растворяются в сточной воде;
- их плотность значительно отличается от плотности воды;
- загрязнения растворяются в них значительно лучше, чем в сточных водах.

Эти жидкости называются экстрагентами. Процесс осуществляется следующим образом. После добавления экстрагента тщательно перемешивают его со сточной водой. При этом загрязнения растворяются в экстрагенте, и концентрация их в сточной воде уменьшается. Затем экстрагент отделяют от сточных вод отстаиванием или центрифугированием. То вещество, которое отделяется, называется экстрагируемым веществом. Очищенные сточные воды называются рафинатом.

*Эвапорация* основана на нагревании сточных вод до 93–99 °С и пропускании через нее перегретого насыщенного пара, который увлекает из сточных вод летучие примеси: фенол и аммиак.

*Ионный обмен* применяется для очистки производственных сточных вод, отличающихся повышенной активностью, токсичностью загрязняющих веществ (циан, ртуть, мышьяк, хром, никель, фосфор, цинк, медь, свинец, ПАВ, радиоактивные вещества, формальдегид, фенол и др.).

Очистку производят с помощью синтетических ионообменных смол, выпускаемых в виде гранул диаметром 0,2–2 мм. Это практически не растворимые в воде полимерные вещества, имеющие подвижный ион, способный в определенных условиях вступать в реакцию обмена с ионами того же знака, находящимися в растворе.

При контакте с водой иониты набухают и увеличиваются в объеме (обычно в 1,5–2 раза). Большинство ионитов хранят во влажном состоянии или под слоем воды. В процессе очистки иониты уплотняются. По мере насыщения их регенерируют, а затем отмывают.

Ионный способ очистки оборотной воды от тяжелых металлов обеспечивает высокий (до 100 %) эффект очистки от ионов цинка, меди, никеля.

#### 16.4.4 Химические методы очистки сточных вод

К методам химической очистки относятся: окисление и нейтрализация.

Для окисления используют сильные окислители: хлор ( $\text{Cl}_2$ ), перманганат калия ( $\text{KMnO}_4$ ), озон ( $\text{O}_3$ ). Кроме этого, применяют гипохлорит кальция и натрия, хлорную известь, диоксид хлора, озон, кислород, а также пероксид водорода, оксид марганца, бихромат калия.

Для подщелачивания – известь, гидроксид натрия, сода.

Для подкисления – серную и соляную кислоты.

*Окисление активным хлором.* Наиболее распространенным окислителем является хлор и его соединения. Например, с использованием активного хлора осуществляется обезвреживание цианосодержащих сточных вод гальванических цехов на машиностроительных и металлообрабатывающих заводах. Для этого применяют гипохлорит натрия  $\text{NaOCl}$  или кальция  $\text{Ca(OCl)}_2$ . Концентрация раствора реагента – 5 % по активному хлору.

*Окисление кислородом воздуха.* Применяется для окисления сульфидных СВ целлюлозно-бумажных, нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов.

Конечными продуктами процесса могут быть элементарные сера и сероводород, который может служить сырьем для получения серной кислоты.

*Озонирование сточных вод.* Озон является сильным окислителем, применяется для глубокой очистки сточных вод с целью их повторного использования. Достоинства:

- высокая реакционная способность озона вступать во взаимодействие со многими минеральными и органическими соединениями;
- сильное окислительное действие;
- возможность получения его прямо на станции из кислорода воздуха;
- не приводит к увеличению солевого состава очищенной воды;
- не загрязняет воду продуктами реакции и другими примесями. Это важно при повторном использовании воды для технологических нужд.

Недостатки: получение озона очень энергоемко и дорого.

Озон вступает в реакцию со многими минеральными и органическими соединениями (ПАВ, нефть, фенолы и т. д.). Он чрезвычайно коррозионен и токсичен, поэтому трубопроводы и оборудование, с которыми он контактирует, выполняют из нержавеющей стали и алюминия, а в помещении, где находятся люди, концентрация озона должна быть не более  $0,0001 \text{ мг/дм}^3$ .

Окислительное действие озона объясняется легкостью отдачи им атома кислорода. Под действием озона почти все металлы переходят в оксиды. В процессе обработки сточной воды озон, подаваемый в реактор в виде озono-воздушной смеси, диспергированной на мельчайшие пузырьки, вступает в химические реакции. Озонирование представляет собой процесс абсорбции, осложненный химической реакцией в жидкой фазе.

Основной способ получения озона – синтез его из воздуха под воздействием «тихого» электрического разряда при напряжении 10–20 кВ в специальных генераторах озона.

Нейтрализация сточных вод применяется во многих отраслях промышленности, производственные сточные воды которых содержат кислоты и щелочи. Интенсивность кислотной или щелочной реакции воды определяется показателем концентрации водородных ионов – значением рН. Для предупреждения коррозии материалов канализационных сооружений и нарушения биохимических процессов, происходящих в очистных сооружениях и в водных объектах, такие воды подвергаются нейтрализации. Нейтрализация нередко производится также в целях осаждения из сточных вод солей тяжелых металлов.

Практически нейтральной принято считать смесь с величиной рН в пределах 6,5–8,5, поэтому сточные воды, рН которых ниже 6,5 или выше 8,5, перед отведением в городскую канализацию или в водный объект подлежат нейтрализации.

#### **16.4.5 Биологическая очистка сточных вод**

Биологическая очистка сточных вод основана на способности микроорганизмов использовать для питания находящиеся в сточных водах органические вещества (кислоты, спирты, белки, углеводы и т. д.), которые являются для них источником углерода. Необходимые для жизнедеятельности азот, фосфор, калий микроорганизмы получают из различных соединений: азот – из аммиака, нитратов, аминокислот и др. (некоторые микроорганизмы – азотобактерии – могут использовать азот из воздуха); фосфор и калий – из минеральных солей этих веществ. В процессе питания микроорганизмов происходит прирост их массы.

Процесс биологической очистки условно разделяют на три стадии (протекающие одновременно, но с различной скоростью):

– адсорбция из сточных вод тонкодисперсной и растворенной примеси органических и неорганических веществ поверхностью тела микроорганизмов;

– диффузное перемещение через клеточную оболочку либо самого вещества либо продуктов его гидролиза;

– разрушение адсорбированных веществ внутри клетки микроорганизмов при протекающих в ней биохимических процессах (окислении, восстановлении).

В производственных сточных водах наряду с трудноокисляющимися веществами нередко встречаются и токсичные. Попадая в биологические окислители, эти вещества могут снижать скорость процесса или совсем его останавливать, что нарушает нормальную работу очистных сооружений, снижает полноту очистки и повышает ее стоимость.

Влияние токсичных веществ значительно ослабляется при применении биологических окислителей, обеспечивающих высокую интенсивность процесса окисления. Допустимая концентрация токсичных веществ, при которой возможно их биологическое окисление, зависит от природы этих веществ (таблица 16.2).

*Таблица 16.2 – Допустимые концентрации токсичных веществ, при которых возможно их биологическое окисление*

Вещество	Допустимая концентрация, мг/дм <sup>3</sup>
Ацетон	4
Бензол	100
Глицерин	5
Жироподобные вещества	100
Кислоты:	
бензойная	150
масляная	500
стеариновая	300
Ксилол	7
Нефтепродукты	100
Спирты:	
амиловый	100
метиловый	5000
Сульфиды	20
Толуол	7
Фенол	1000
Формальдегид	160
Циан	0,1

В тех случаях, когда сточные воды содержат несколько видов токсичных веществ, расчет сооружений ведется по наиболее сильнодействующему из них; при этом допустимая концентрация остальных уменьшается примерно на 50 % приведенного в таблице количества, а при наличии в сточных водах солей тяжелых металлов – на 70 %.

### 16.5 Нормирование качества воды

По народнохозяйственной значимости и характеру водопользования различают водоёмы санитарно-бытового водопользования (для хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых целей) и для рыбохозяйственных целей.

Предельно допустимой концентрацией вредного вещества в воде водоёма считается такая, которая не оказывает вредного воздействия на организм человека при различных видах употребления воды (для питья, приготовления пищи, гигиенических целей и для отдыха).

На обеспечение необходимого качества питьевой воды во многих странах тратятся очень большие суммы. По некоторым данным [26], в США



48 % всех расходов на охрану окружающей среды направлены на обеспечение качества воды, и эта сумма достигает 100 млрд долларов. Однако, придя к потребителю, водопроводная вода теряет своё качество из-за коррозии металлических труб, а также из-за застоя в водопроводной сети. Поэтому во многих странах широко применяют доочистку воды с помощью бытовых фильтров коллективного или индивидуального использования.

В воде водоёмов санитарно-бытового водопользования ПДК веществ устанавливается не только по санитарно-токсикологическому показателю вредности, но и общесанитарному и органолептическому (по запаху, привкусу, окраске). Значения ПДК вредных веществ приведены в таблице 16.3.

Таблица 16.3 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде водоёмов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

Вещество	ПДК, мг/л	Вещество	ПДК, мг/л
<i>Санитарно-токсический показатель</i>			
Анилин	0,10	Пиридин	0,20
Бензол	0,50	Полиакриламид	2
Бериллий	0,0002	Толуол	0,50
Гексоген	0,10	Фенол	0,001
Гексаметилендиамин	0,01	Хлорбензол	0,02
Гексахлорбензол	0,05	Хлорофос	0,05
Мышьяк	0,03	Хром: трехвалентный	0,50
Нитриты, нитраты (по азоту)	10		
Нитрохлорбензол	0,05	Четыреххлористый углерод	0,30
<i>Органолептический показатель</i>			
Бензин	0,10	Ртуть	0,0005
Гексахлоран	0,02	Свинец	0,03
Динитробензол	0,50	Тетраэтилсвинец	0
Роданиды	0,10	Формальдегид	0,01
<i>Общесанитарный показатель</i>			
Аммиак (по азоту)	2	Дихлорэтан	2
Диметилформамид	10	ДДТ	0,10
Кадмий	0,001	Железо	0,50
Капролактам	1	Керосин	0,10
Кобальт	0,10	Нафтеновые кислоты	0,30
Медь	1	Нефть: многосернистая	0,10
Никель	0,10		
Тринитротолуол	0,50	Пикриновая кислота	0,50
Хлор активный	0	Пропилен	0,50
Цинк	1	Сероуглерод	1
Тиофос	0,003	Скипидар	0,20
Дихлорбензол	0,002		
Дихлорфенол	0,002		

В воде водоёмов для рыбохозяйственных целей живут рыбы, которые также являются живыми организмами, но по иному, скажем так не человечески, относятся к концентрациям вредных веществ, и значения ПДК вредных веществ другие (таблица 16.4).

*Таблица 16.4 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде водоёмов рыбохозяйственного водопользования*

Вещество	ПДК, мг/л	Вещество	ПДК, мг/л
Аммиак	0,050	Никель	0,010
Бензол	0,500	Свинец	0,100
Кадмий	0,005	Сероуглерод	1
Магний	40	Таниды	10
Медь	0,001	Фенолы	0,001
Мышьяк	0,100	Хлор свободный	0
Нефть и нефтепродукты: в растворимом виде	0,001	Хлорофос	0
		Цианиды	0,050
в эмульгированном виде	0,050	Цинк	0,050

Вода как источник питья и среда обитания кроме значений ПДК, приведенных в таблицах 16.3 и 16.4, дополнительно должна соответствовать показателям БПК, БПК<sub>пол</sub> и ХПК.

БПК (биологическая потребность в кислороде) – количество растворенного кислорода, которое требуется для биологических процессов окисления органических загрязняющих веществ с помощью микроорганизмов за определенное время (5 и 7 суток) на 1 мг вещества, мг.

ХПК (химическая потребность в кислороде) – количество растворенного кислорода, которое должно присутствовать в воде для окисления химических органических веществ (химического расщепления загрязняющих веществ, например, таких как нефтепродукты).

Зависимость между БПК и ХПК можно установить экспериментально с помощью установленной корреляции, можно по значению ХПК оценить значение БПК.

Высокий уровень ХПК в сточных водах свидетельствует о такой концентрации органических веществ, которая может привести к истощению растворенного кислорода в воде, что, в свою очередь, приведет к негативным последствиям для окружающей среды, к нарушению нормативных требований.

### ***Вопросы для закрепления раздела 16***

- 1 Что называется гидросферой Земли?
- 2 Роль гидросферы для климата на планете Земля.
- 3 Особенности загрязнения морских и океанических вод.
- 4 Около половины кислорода атмосферы продуцируется Мировым океаном. Как это объяснить?

- 5 Почему океанические воды являются основным накопителем солнечной энергии на Земле?
- 6 Как гидросфера участвует в распределении энергии Солнца?
- 7 Какую часть составляет пресная вода в общем объеме воды?
- 8 Способы получения пресной воды.
- 9 Назовите источники нефтяных загрязнений.
- 10 Какие последствия нефтяных загрязнений морей, океанов?
- 11 Основные методы очистки сточных вод.
- 12 В какой метод очистки входят отстаивание, процеживание, фильтрование и центрифугирование сточных вод?
- 13 К какому методу очистки сточных вод относятся коагуляция, сорбция, экстракция, флотация, ионный обмен?
- 14 Какие виды очистки сточных вод относятся к электрохимической очистке?
- 15 Какие окислители применяют в химических методах очистки сточных вод?
- 16 На чем основана биологическая очистка сточных вод?
- 17 Какие водоёмы различают по народнохозяйственной значимости?
- 18 Что определяют показатели БПК и ХПК воды?

## 17 ЛИТОСФЕРА И ПОЧВА

Нет ничего красивее хорошо  
возделанного поля.  
*Цицерон, политический деятель*

Почва находится в непосредственной связи и взаимодействии с приповерхностной частью литосферы. Суша на Земле занимает около 29 % поверхности земного шара. Почва тесно связана с сельскохозяйственной деятельностью человека.

Примерно 18 тыс. лет назад закончился последний ледниковый период и началось потепление [17]. Люди, *homo sapiens*, перешли от собирательства к сельскохозяйственной деятельности. 12 тыс. лет назад произошла так называемая аграрная революция, возникла возможность выживать, не напрягаясь, т. е. получать много пищевых продуктов. А пища – это энергия, которая законсервирована в этих продуктах, и без неё не живет человек. В среднем человек может выжить без пищи от одной до полутора недель.

Пища – это, выражаясь техническим языком, топливо, которое, окисляясь, выделяет энергию в форме теплоты и работы, что необходимо для функционирования внутренних органов человека, а также совершения им внешней деятельности. Собственно, это формулировка первого закона термодинамики, или закона сохранения энергии. К сведению – самым энерго-

затратным органом человека является его мозг. По массе мозг составляет 2–3 % массы человека, а по затратам энергии – до 25 %. Именно мысленная деятельность *homo sapiens* выделила его из животного мира.

Литосфера – это твердая оболочка Земли, толщина которой колеблется в пределах 50–200 км. Верхняя часть литосферы образует земную кору.

Земная кора состоит из более 3 тыс. минералов. Однако наиболее распространены из них лишь 60, остальные находятся в рассеянном состоянии и встречаются редко. Доля распространения пяти наиболее характерных для земной коры минералов: полевые шпаты 58,00 %, простые силикаты 16,80 %, кварц 12,60 %, слюда 3,60 %, глинистые материалы 1,10 %, остальные материалы 7,90 %.

Химический анализ минералогического состава земной коры показывает, что она включает в основном легкие элементы по железу включительно: кислород 46,8 %, кремний 27,8 %, алюминий 8,7 %, железо 5,1 %, кальций 3,6 %, натрий 2,6 %, калий 2,6 %, магний 2,1 %.

Среди самых распространенных химических элементов особая роль принадлежит кислороду. Так, его атомы составляют 46,8 % массы земной коры и почти 90 % объема важнейших породообразующих минералов.

В биосферу входит только верхняя часть земной коры. Отчетливая миграция жизни отмечается лишь до нескольких десятков метров, однако с подземными водами микроорганизмы достигают и значительно больших глубин – порядка 2–3 км. Геотермический градиент, характеризующий прирост температуры горных пород земной коры при углублении на каждые 100 м, в различных местах неодинаковый – обычно от 0,5–1 до 20 °С, в среднем же составляет около 3 °С. Подавляющее большинство организмов не выдерживают длительного пребывания при температуре, близкой к 100 °С, поэтому нижней границей биосферы считают ту глубину, где температура близка к 100 °С.

Человек существует в определенном пространстве, основной составляющей которого служит земная кора. В настоящее время человек оказывает сильнейшее техногенное влияние на литосферу.

Наиболее интенсивное техногенное воздействие на литосферу происходит в двух направлениях: изменение и гибель ландшафтов, а также загрязнение и деградация почв.

*Ландшафт* – это природный географический комплекс, в котором все основные компоненты (рельеф, климат, вода, растительность, животные) взаимосвязаны.

*Почва* – важнейший элемент наземной экосистемы и литосферы, продукт взаимодействия всех живых организмов, биоты и залегающих пород. Биомасса животных, располагаемых в почве, составляет до 80 % от их общей массы.

## 17.1 Ландшафты

Ландшафт, как ранее отмечено, – это природный географический комплекс, в котором присутствует рельеф, климат, вода, растительность, животные и которые взаимосвязаны. На примере ландшафтов можно установить влияние человеческой деятельности (антропогенного фактора) на природу.

Ландшафты в зависимости от степени техногенного воздействия делятся на естественные (природные) и природно-антропогенные.

*Природный ландшафт* не преобразован человеческой деятельностью, а потому подвержен только естественному саморазвитию. Саморазвитие может происходить медленно, т. е. в геологическом темпе (как, например, меняются абсолютные отметки земной поверхности), или быстро под воздействием природных катастрофических явлений. Антропогенная деятельность людей может оказывать на природные ландшафты различные по характеру и интенсивности воздействия, различают следующие *природно-антропогенные ландшафты*:

- уникальные;
- рекреационные;
- сельскохозяйственные и лесные;
- содержащие в своих недрах месторождения полезных ископаемых;
- территориально-производственные.

К уникальным ландшафтам относят заказники (резерваты), национальные парки, биосферные заповедники, т. е. территории, где хозяйственная деятельность полностью запрещена или ведется в небольшом объеме исходя из специфики данной территории.

Основная цель организации уникальных ландшафтов – сохранение в нетронутом виде природных комплексов (эталонов природы), охрана видов живого и слежение (мониторинг) за природными процессами и их изменениями под воздействием антропогенной деятельности человечества.

К рекреационным ландшафтам относят садово-парковые образования внутри и вокруг городов, курортные зоны, территории охотничьих угодий и т. п.

Сохранность их обеспечивается техническими средствами, а также биологическими: локализацией очагов повышенной нагрузки на почвенно-растительный покров, постоянным восстановлением растительных и животных сообществ.

Для *сельскохозяйственных ландшафтов* необходима организация гарантированного землепользования при максимальном сохранении плодородия почвенных ресурсов страны.

Вторая половина XX века ознаменовалась большими достижениями в области сельского хозяйства. Создание сельскохозяйственных машин, выведение новых сортов растений и пород скота, использование химии и

гербицидов – всё это резко повысило интенсификацию сельскохозяйственного производства. В целом произошла широкая перестройка форм землепользования. Она обеспечила высокую результативность сельскохозяйственного производства. Так, урожайность зерновых за 50 лет с 10–15 ц/га возросла до 40–50 ц/га. Однако, как показал опыт прошедших десятилетий, рывок в эффективности был куплен ценой серьезного ослабления почвенного покрова. Снижение продуктивности почв неизбежно подталкивает рост капиталоемкости сельскохозяйственного производства. Среди экологических проблем, вставших ныне перед мировым сообществом, особое место занимает наступление пустынь.

Ежегодно около 21 млн га полностью деградирует и 6 млн га поглощается безжизненной пустыней. В новом тысячелетии человечество может потерять в засушливых районах почти треть пахотных земель, и это будет иметь катастрофические последствия.

Так называемая «зеленая революция» в развитых странах, где применяются химические удобрения, привела к резкому повышению урожайности культур, но имела и негативные последствия. Наибольший ущерб почвам нанес отказ от севооборотов в расчете на эффективность химических удобрений. «Химия» действительно позволила обеспечить высокие урожаи в течение ряда десятилетий. Но почвы при этом оказались существенно ослабленными, а далее начала снижаться и результативность ее использования в сельском хозяйстве. Ныне, чтобы поддержать достигнутый высокий уровень урожайности, требуется всё большее количество химических удобрений и гербицидов. Так, в Великобритании за последние 30 лет количество вносимых азотных удобрений возросло в 8 раз, а урожайность повысилась только на 5 %.

Исключительно велика роль *лесных ландшафтов, лесов*. Они поглощают углекислый газ и восстанавливают кислород, способствуют стабильности климата, сохранности рек и почв. Отсюда важнейшая стратегическая задача – охрана лесов. Пока же на всех континентах происходит уничтожение лесов.

Особое беспокойство ученых и общественности вызывает уничтожение экваториальных и субэкваториальных лесов. За последние 25 лет их площадь сократилась на 50 %. Ежегодные потери составляют до 27 млн га, или 5 % имеющегося количества. Когда-то влажные тропические леса покрывали 10 % земной поверхности (15 млн км<sup>2</sup>), но их площадь уже уменьшились на треть. Скорость разрушения лесов сейчас примерно 100 тыс. км<sup>2</sup> в год. Уничтожение влажных тропических лесов прямо ведет к нарастанию жестокости и сухости климата. Вместе с лесами гибнут и их обитатели, многие виды животных вымирают окончательно.

Большинство пустынь мира были когда-то лесами и лесистыми местностями. Опустынивание угрожает одной трети поверхности земного шара (48 млн км<sup>2</sup>) и повлияет на жизнь по крайней мере 850 млн людей. Некоторые

страны практически уже лишились леса. Напомним, что в Эфиопии в начале XX века леса занимали 40 % территории страны. Сейчас под лесом осталось 3,5 % территории. Гибель лесов связана не только с их интенсивным уничтожением (по данным ООН, на каждые 10 вырубленных деревьев сейчас высаживается только одно новое), но и с загрязнением воздуха и почв. Кислотные дожди – причина гибели многих десятков тысяч гектаров лесов в развитых странах.

*Месторождения твердых полезных ископаемых* разрабатываются как открытым, так и подземным способом. В первом случае нарушается рельеф из-за формирования отвалов и разного рода выемок на поверхности земли, а во втором случае – формируются терриконы, которые занимают десятки тысяч гектаров плодородных земель. Кроме того, угольные терриконы часто самовозгораются, что приводит к существенному загрязнению атмосферы. Длительная разработка месторождений нефти и газа приводит к опусканию и загрязнению земной поверхности, а также усилению сейсмических явлений.

Территориально-производственные ландшафты – совокупность природных и искусственных объектов, формируемых в результате строительства и эксплуатации производственных и гражданских комплексов, которые взаимодействуют с природными объектами (рельеф, атмосфера, гидросфера, растительный покров и т. д.).

Человек, хотя и сам формирует территориально-производственные ландшафты, но не всегда может обеспечить последствия этих формирований. Во-первых, человек не всегда способен предвидеть все нежелательные для него изменения в окружающей среде, которые возникают под влиянием производственных и гражданских комплексов. Во-вторых, человек весьма часто недооценивает размах и глубину нежелательных изменений. В-третьих, даже тогда, когда изменения и их нежелательные последствия прогнозируются, они не всегда учитываются, чаще всего потому, что развивать производство нужно сегодня, сейчас, а негативные последствия этого развития возникнут в будущем, может быть, даже и отдаленном.

Поэтому при организации территориально-производственных ландшафтов следует уделять особое внимание при решении природоохранных проблем.

## 17.2 Почва

*Почва* – природное тело, состоящее из твердых минеральных и органических частиц, воды, воздуха, имеющее специфические свойства, создающее условия для роста и развития растений. Следовательно, почва – это трехфазная среда, включающая твердые, жидкие и газообразные компоненты. Она представляет продукт физического, химического и биологического преобразования различных пород, т. е. сложного взаимодействия климата, растений, животных и микроорганизмов [21].

Органическое вещество почвы, которое образуется в результате разложения растительных и животных остатков и продуктов жизнедеятельности организмов, называется **гумусом**.

Избыток или недостаток гумуса определяет плодородие почвы.

Именно почва в наибольшей степени подвергается загрязнению, что вызывает нарушение физических, химических и биологических процессов, протекающих в ней. Загрязнение почвы непосредственно связано с загрязнением атмосферы и вод. В почву попадают твердые и жидкие промышленные, сельскохозяйственные и бытовые отходы. Основными загрязняющими веществами являются металлы и их соединения, радиоактивные вещества, удобрения и пестициды.

Загрязнения меняют ход почвообразовательного процесса, резко снижают урожаи, накапливаются в растениях (например, тяжелые металлы), из которых прямо или косвенно (через растительные или животные продукты питания) попадают в организм человека.

В большинстве областей Земли толщина почвенного покрова, обеспечивающего получение большей части пищевых продуктов, составляет всего 150–300 мм. Около 75 % всех почв планеты имеют пониженную продуктивность из-за необеспеченности теплом и влагой. По данным Международной организации по вопросам продовольствия общая площадь потенциально пригодных для земледелия почв составляет около 2,7 млрд га, из которых 1,5 млрд га уже обрабатываются, а для включения остальных 1,2 млрд га в сельскохозяйственное производство требуются большие материальные затраты.

Накопленные статистические данные показывают, что при существующей средней урожайности на каждого нового жителя планеты требуется для производства пищи 0,4–0,5 га.

В результате воздействия естественных и антропогенных причин происходит деградация почвенного покрова.

Наиболее интенсивно изменяются естественные условия почвообразования из-за опустынивания. Под *опустыниванием* понимают уменьшение или уничтожение биологического потенциала земель, которое в итоге может привести к возникновению условий, аналогичных условиям пустыни.

В почве уменьшается содержание гумуса, который содержит основные элементы питания растений. В связи с этим почвы, богатые гумусом, обладают высоким плодородием. Уменьшение содержания гумуса в почве ведет к снижению их плодородия и в итоге к опустыниванию.

Основная причина уменьшения содержания гумуса в почве – приемы искусственного повышения плодородия почв (внесение минеральных и др. удобрений, мелиорация и т. п.).

Основными и наиболее опасными загрязнителями почв являются пестициды, нитраты, тяжелые металлы, фтор и радионуклиды.



*Пестицид* – химическое соединение, используемое:

- для регуляции роста и развития растений;
- удаления листьев растений;
- уничтожения растений на корню;
- удаления цветов и завязей;
- отпугивания животных или их привлечения и стерилизации;
- уничтожения эктопаразитов животных и борьбы с переносчиками опасных заболеваний.

В качестве пестицидов в настоящее время разрешено использование 280 биологически активных компонентов различных химических классов, на базе которых разработано более 600 препаратов. При обработке земельных участков путем их опрыскивания пестицидами снос последних за пределы обрабатываемых площадей составляет 50–60 % от их вносимого количества, а при использовании авиации – 75 %.

Пестициды разлагаются очень медленно и наиболее интенсивно накапливаются в овощах, затем в растительных маслах, фруктах и ягодах, меньше – в мясе, яйцах и молоке.

Наиболее подвержены воздействию пестицидов дети в возрасте до 14 лет. Установлена сильная корреляционная связь между биологически активными компонентами пестицидов и вызываемыми ими заболеваниями. Так, частота заболеваний детей хроническим фарингитом обуславливается только хлорорганическими препаратами, а вирусным гепатитом – гербицидами. В зонах интенсивного применения пестицидов у взрослого населения также обнаруживается тенденция к росту заболеваемости, но они менее выражены и имеют свои особенности. Так, заболеваемость среди тепличниц и механизаторов-химизаторов превышает среднюю по сельскому хозяйству в 2,1–3,3 раза. Средняя продолжительность жизни мужчин механизаторов-химизаторов – 56 лет.

Пестициды отрицательно влияют на экосистемы любого уровня и на здоровье человека. Поэтому их следует использовать строго по назначению в минимально необходимом количестве и лишь там, где химические средства защиты нельзя пока заменить биологическими.

### 17.2.1 Удобрения почвы

*Удобрение* – вещество (или агент), создающее при внесении в почву условия для ускоренного роста и развития растений и микроорганизмов. Различают минеральные и органические удобрения.

*Минеральные удобрения* – добытое из недр или промышленно полученное химическое соединение, содержащее в большом количестве один или несколько основных элементов питания растений (азот, фосфор, калий), важные для жизни растений микроэлементы (медь, бор, марганец и др.), а

также естественные продукты типа извести, гипса, золы и т. п., способные улучшить химические или структурные характеристики почвы.

*Органическое удобрение* – перегной, торф, навоз, птичий помет, фекалии животных, компосты и т. п., используемые для повышения плодородия почвы или способствующие развитию полезной микрофлоры почв.

В связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства и увеличением количества вносимых азотных удобрений проблема нитратов (соли азотной кислоты  $\text{HNO}_3$ ) и нитритов (соли азотистой кислоты  $\text{HNO}_2$ ) приобрела серьезное значение, поскольку они не только отрицательно воздействуют на организм людей, но и приводят к заболеваниям и даже гибели сельскохозяйственных животных. Наиболее интенсивно накапливают нитраты кабачки, свекла столовая и огурцы. По этой причине почти шестая часть плодоовощной продукции содержит нитраты в количествах, превышающих ПДК. А от уровня содержания нитратов в продуктах питания напрямую зависит онкологическая и аллергическая заболеваемость, которая в Беларуси за последние годы резко возросла. Допустимая суточная доза нитратов, содержащихся в основных продуктах питания, для взрослого человека, например, в России – 325 мг, в то время как по рекомендации ВОЗ она не должна превышать 220 мг.

### 17.3 Нормирование качества почв

Принцип нормирования химических веществ в почве значительно отличается от принципов, положенных в основу нормирования их в водоемах, атмосферном воздухе и пищевых продуктах. Попавшие в почву химические вещества поступают в организм человека главным образом через контактирующие с почвой среды: воду, воздух и растения, в последнем случае по биологической цепи почва – растение – человек. Поэтому при нормировании химических веществ в почве учитывается не только та опасность, которую представляет почва при непосредственном контакте с ней, но и последствия вторичного загрязнения контактирующих с почвой сред.

К настоящему времени установлены ПДК загрязняющих веществ в почве для 30 вредных веществ, преимущественно ядохимикатов.

В связи с тем, что вредные вещества поступают в организм человека по пищевым цепям, установлены *допустимые остаточные количества* (ДОК) пестицидов в почве (таблица 17.1) [23].

Таблица 17.1 – ПДК и ДОК некоторых веществ в почве

Вещество	ПДК, мг/кг	ДОК, мг/кг
Хлорофос	0,5	1,0
Карбофос	2,0	1,0
Прометрин	0,5	0,1
Полихлоркамфер	0,5	0,1
Гексахлорциклонексан	1,0	1,0

Загрязнение почвы в условиях городов связано с образованием промышленных и бытовых отходов. В связи с этим контроль загрязнения почв городов осуществляется экологическими службами (отдел контроля за охраной и использованием земли, недр, биоразнообразия и особо охраняемых территорий) и органами санэпидслужбы.

С гигиенических позиций опасность загрязнения почвы химическими веществами определяется уровнем её возможного отрицательного влияния на контактирующие среды (вода, воздух), пищевые продукты и непосредственно на человека, а также на биологическую активность почвы и процессы её самоочищения.

Основным критерием гигиенической оценки опасности загрязнения почвы вредными веществами является ПДК химических веществ в почве.

Оценка опасности загрязнения почв, используемых для сельского хозяйства, основана на транслокационном показателе, важнейшем при обосновании ПДК химических веществ в почве. Это обусловлено тем, что с продуктами растительного происхождения поступает в организм человека в среднем 70 % вредных химических веществ, а также качество продуктов питания зависит от уровня накопления в них токсикантов.

Использование почв в сельском хозяйстве определяется в соответствии с данными, приведенными в таблице 17.2 [23].

**Таблица 17.2 – Принципиальная схема оценки почв сельскохозяйственного использования, загрязненных химическими веществами**

Категория загрязненности почв		Характеристика загрязненности	Возможность использования территории
I	Допустимая	Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК	Под любые культуры
II	Умеренно опасная	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и воздушном показателях вредности, но не ниже допустимого уровня по транслокационному показателю	Под любые культуры при условии контроля их качества
III	Высокоопасная	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Под технические культуры. Использование под сельскохозяйственные культуры ограничено учетом растений-концентратов
IV	Чрезвычайно опасная	Содержание химических веществ превышает ПДК в почве по всем показателям вредности	Под технические культуры. Лесозащитные полосы

Оценка уровня химического загрязнения почв населенных пунктов по неблагоприятному воздействию на здоровье населения проводится по суммарному показателю загрязнения:

$$Z_c = \sum_1^n K_{ci} - (n - 1),$$

где  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го химического вещества;  
 $n$  – число суммируемых химических элементов.

Оценка опасности загрязнения комплексов металлов по показателю  $Z_c$ , учитывая загрязнение воздушного бассейна городов как металлами, так и другими наиболее распространенными ингредиентами (пыль, окись углерода, окиси азота, сернистый ангидрид), проводится по оценочной шкале, приведенной в таблице 17.3 [3].

**Таблица 17.3 – Принципиальная схема оценки почв сельскохозяйственного использования, загрязненных химическими веществами**

Категория загрязнения почв	Значение $Z_c$	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16–32	Увеличение уровня общей заболеваемости
Высокоопасная	32–128	Увеличение уровня общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Болез 128	Увеличение уровня общей заболеваемости детского населения, женщин с нарушением репродуктивной функции (увеличение токсикозов беременности, числа преждевременных родов)

### **Вопросы для закрепления раздела 17**

- 1 Какую часть Земли занимает суша?
- 2 Пища – это «топливо» для организма. Почему?
- 3 Какой орган человека является наиболее энергос затратным?
- 4 Как изменяется температура земной поверхности при углублении?
- 5 Что такое ландшафт?
- 6 В чем экологическая проблема сельскохозяйственных ландшафтов?
- 7 К чему ведет сокращение экваториальных лесов?
- 8 Как отражается добыча угля, нефти и газа на земной поверхности?
- 9 Что такое «гумус»?
- 10 Назовите основные загрязняющие вещества почвы.
- 11 Для чего применяются пестициды?

12 Какие удобрения почвы различают?

13 В чем заключается отрицательное воздействие азотных удобрений на организм человека?

14 Что является основным критерием гигиенической оценки опасности загрязнения почвы?

## 18 ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

Природой брак не предусмотрен.  
*Наполеон, государственный деятель*

В процессе производства, хозяйственной деятельности, в быту образуются отходы. Ежегодно образуется до 30 млрд т всех отходов. Их большое количество связано с несовершенством современных технологий. По некоторым данным, на производство конечной продукции используется не более 7 % добываемого сырья. На каждого жителя Земли извлекается до 100 т породы в год. Анализ тенденций развития современного хозяйства показывает, что число отходов удваивается каждые 10–12 лет. Проблема утилизации и ликвидации отходов для современной цивилизации – одна из важнейших проблем выживания.

К сведению, в северной части Тихого океана, между 135–155 градусами западной долготы и 35–42 градусами северной широты, располагается «мусорный континент», который занимает площадь около 1,5 млн км<sup>2</sup> и содержит не менее 100 млн т мусора. Это место ещё называют «Большое тихоокеанское мусорное пятно». Благодаря океанской системе течений мусор собирается со всей северной части Тихого океана и доставляется к «мусорному континенту». Образовавшийся «мусорный континент» обтекается течениями по кругу и удерживает мусор в его пределах. Прибрежный мусор «подбирается» океаническими течениями, а «доставляется» он в океан с материка такими реками, как Янцзы, Инд, Хуанхэ, Амур, Ганг, Нигер и Нил. Таким образом, громадное тихоокеанское пятно в основном состоит из материкового мусора.

Утилизация и ликвидация отходов связана с их состоянием, составом, характеристиками и токсичностью. В зависимости от их состояния отходы делятся на твердые (отходы металлов, пластмасс, пыли минерального и органического происхождения, шлак, бумага, ткани и пр.) и жидкие (шламы, осадки сточных вод после их обработки и пр.).

По гигиеническому принципу, который связан со степенью опасности, вызванной токсичностью, отходы делятся на шесть категорий. Более 50 % всех отходов относятся к категории I, а примерно 10 % – к категориям V и VI (таблица 18.1).

Таблица 18.1 – Классификация отходов по гигиеническому принципу

Категория	Характеристика отходов по виду загрязнения	Рекомендуемые меры ликвидации или утилизации
I	Инертные	Использование для планировочных работ
II	Легкоразлагающиеся органические	Складирование или переработка
III	Слаботоксичные слаборастворимые в воде	Складирование
IV	Нефтемаслоподобные	Сжигание
V	Токсичные со слабым загрязнением воздуха	Складирование на полигоне промышленных и бытовых отходов
VI	Токсичные	Групповое или индивидуальное обезвреживание на специальных сооружениях

### 18.1 Техногенные ресурсные циклы

В основе классификации техногенных ресурсных циклов положены основные этапы жизненного цикла продукции (ЖЦП) [23].

Под ЖЦП понимают временный период, начинающийся моментом обоснования проведения исследований, связанных с созданием продукции, и заканчивающийся проведением ее в отходы потребления в результате утраты ею потребительских свойств из-за физического или морального износа, а также после определенного срока хранения.

Исходя из того, каким образом оперируют с отходами производства, можно выделить три вида техногенного ресурсного цикла: сквозной, оборотный и циркуляционный.

*Сквозной техногенный ресурсный цикл (СТРЦ)* – это цикл, в котором вовлекаемые природные ресурсы, не входящие в состав предметов потребления, не используются вторично.

Накапливаясь в биосфере, отходы производства изменяют биогеохимические циклы и тем самым пагубно влияют на экологическую обстановку на локальном, региональном и глобальном уровнях.

Основными мероприятиями по экологизации СТРЦ на этапах производства продукции являются:

- на первом этапе: а) выявление природного ресурса, б) переход к широкому использованию возобновляемых ресурсов, особенно энергетических;
- на втором этапе: а) изготовление продукции, б) переход на ресурсосберегающие технологии (РСТ);
- на третьем этапе – оперирование с отходами производства:
- уничтожение отходов путем сжигания (при этом практически полностью теряются вторичные материальные ресурсы);

- очистка отходов загрязнений и их складирование;
- захоронение токсичных отходов на специальных полигонах;
- очистка выбросов от экологически опасных веществ с последующим их надежным захоронением;
- выделение и перенос загрязняющих примесей из одного места в другое.

Не умаляя значения процессов очистки и важной роли построенных и эксплуатируемых очистных сооружений, есть все основания признать, что даже самые современные из них не гарантируют сохранения природных сред, например, свойств воды и водных объектов.

На современном этапе развития технологий и техники основным направлением является переход к оборотным техногенным ресурсным циклам.

*При оборотном техногенном ресурсном цикле* выполняется улавливание веществ, участвующих в технологическом процессе и обычно попадающих в отходы, для их повторного использования в данном технологическом процессе.

Наиболее типичным и широко используемым примером такого цикла является оборотное водоснабжение, т. е. повторное использование большей части воды (после ее очистки и кондиционирования или без таковых) без поступления ее в природные циклы.

Выделяют три направления использования оборотных энергетических ресурсов (ОЭР):

- 1) топливное – применение горючих ОЭР непосредственно в качестве топлива;
- 2) тепловое – применение физического тепла непосредственно или в специальных установках для выработки электроэнергии или холода;
- 3) силовое – применение избыточного давления в турбинах, объединенных с компрессорами, насосами, вентиляторными установками и т. п., или для выработки электроэнергии.

*Циркуляционный техногенный ресурсный цикл (ЦТРС)* объединяет процессы, совершаемые как бы по спирали в некоторой последовательности, при этом определенный участок спирали представляет собой жизненный цикл продукции, включая ее производство, потребление и переработку отходов производства и потребление во вторичное сырье, которое затем полностью или частично запускается в жизненный цикл, но другой продукции.

Широкая переработка вторичных материальных ресурсов (ВМР), с одной стороны, улучшает экологическую обстановку в регионе, а с другой – позволяет сберечь для будущих поколений запасы природных ресурсов, особенно невозобновляемых, и предотвратить разрушение природных ландшафтов, обладающих естественным саморазвитием.

*Твердые отходы*, возникающие непосредственно при производственной деятельности человека, всегда можно рассматривать, как потенциальное

вторичное сырье. Поэтому на первом этапе их принято делить на отходы производства и отходы потребления.

*Отходами* производства следует считать остатки сырья, материалов и полуфабрикатов, образовавшиеся при изготовлении продукции и полностью или частично утратившие свои потребительские свойства, а также продукты физико-химической переработки сырья, получение которых не являлось целью производственного процесса и которые в дальнейшем могут быть использованы как готовая продукция после соответствующей обработки или как сырье для переработки.

Отходами потребления считаются различного рода изделия, комплектующие детали и материалы, которые по тем или иным причинам непригодны для дальнейшего использования. Эти отходы можно разделить на промышленные и бытовые. К промышленным относятся, например, металлолом, вышедшее из строя оборудование, изделия технического назначения из резины, пластмасс, стекла и др. Бытовыми отходами являются пищевые отходы, изношенные изделия бытового назначения (одежда, обувь и пр.), использованные изделия различного рода (упаковки, стеклянная и др. виды тары) и др.

## 18.2 Ликвидация отходов

Основными направлениями оперирования промышленными твердыми отходами являются:

- захоронения на полигонах и свалках;
- переработка конкретных твердых отходов по заводской технологии;
- совместное сжигание отходов химических производств с городским мусором;
- пиролиз и раздельное сжигание в специальных печах;
- использование отходов химических производств как готового материала для других технологических процессов.

**Захоронение** твердых отходов производств на полигонах и свалках, которое пока наиболее широко распространено у нас, можно рассматривать лишь как временную меру их утилизации, так как большая часть этих отходов подвергается разложению чрезвычайно медленно. При этом методе из сферы возможного полезного использования изымаются тысячи тонн ценного вторичного сырья.

**Переработка** твердых отходов производств по заводской технологии – наиболее оптимальный метод их использования. При всем разнообразии способов переработки общая схема процесса и применяемого при этом оборудования может быть представлена следующим образом [19].

Первая стадия обычно включает сортировку отходов, отделение посторонних включений, таких как ветошь, остатки бумажной и деревянной тары, металлических предметов и т. д. Вторая стадия – измельчение – одна из



наиболее ответственных в процессе. В результате одно- или двухстадийного измельчения материал приобретает размеры, достаточные для того, чтобы можно было осуществлять его дальнейшую переработку. На третьей стадии дробленный материал подвергают отмывке от загрязнений, а также еще раз отделяют от посторонних примесей.

Четвертая и пятая стадии состоят в том, что высушенные дробленые отходы смешивают при необходимости со стабилизаторами, наполнителями и другими ингредиентами и гранулируют. Характер шестой стадии полностью обусловлен тем, какого рода отходы проходили предварительную обработку. Часто гранулят используют в качестве наполнителя при производстве строительных материалов или в дорожном строительстве; в ряде случаев такой гранулят можно смешивать с товарным продуктом или перерабатывать его в изделия.

Наиболее распространенный способ **термического обезвреживания** твердых отходов – сжигание.

Особое место занимает проблема **утилизации твердых бытовых отходов** (ТБО). Для планирования переработки ТБО нужно знать их состав. Задача не простая, так как содержание компонентов различается по городам и характеризуется довольно интенсивной динамикой изменения состава во времени. В среднем в городах нашей страны основные составные части ТБО таковы (в % по массе): бумага – 30–40 %; пищевые отходы – 30–40 %; металлы – 2–4 %; дерево – 1,5–3,0 %.

Второе место по объему уничтожаемого ТБО занимает их сжигание в печах самых различных конструкций. Недостатком этого метода является даже не столько его высокая стоимость, сколько опасность вторичного загрязнения окружающей среды (в частности, атмосферного воздуха) токсичными веществами (например, диоксинами и фуранами). Следует отметить, что именно это обстоятельство послужило основанием для правительства США принять в 1991 году закон, запрещающий строительство новых мусоросжигательных заводов. Тенденция на сокращение объемов сжигаемых ТБО имеет место и в ряде других промышленно развитых странах.

Для планирования строительства мусороперерабатывающих заводов очень важна динамика изменения состава ТБО. Так, по мере роста содержания бумаги ТБО становится легче сжигать. А снижение доли пищевых отходов в ТБО до менее 20 % делает невозможным приготовление из них компоста. Дело в том, что компостирование – биохимический процесс, осуществляемый благодаря жизнедеятельности так называемых аэробных микробов (термофильных микроорганизмов). Эти микробы выделяют много тепла, в результате чего ТБО разогревается до 70 °С. При этом болезнетворные микробы гибнут, сырье «перегорает», образуется компост. В естественных условиях этот процесс длится месяцами. На заводах, где измельченные ТБО постоянно перемешиваются, чтобы микробы имели требуемый

им избыток воздуха, компостирование заканчивается за 2–3 дня. Но при снижении содержания пищевых отходов процесс резко замедляется и становится неэффективным.

Сложившаяся в Беларуси система обезвреживания ТБО основана на приоритетном захоронении большей части отходов на полигонах и неорганизованных свалках.

Часть свалок заполнена и закрыта. Однако многие из закрытых объектов используются для размещения значительных объемов ТБО. На свалки нередко вывозят и токсичные отходы. При отсутствии необходимой гидроизоляции фильтрат с территорий полигонов и свалок проникает в почву, подземные воды, поверхностные водные объекты, отравляя источники водоснабжения. Большая часть сооружений для обезвреживания ТБО представляют значительную эпидемиологическую опасность. Недостаток средств у муниципальных предприятий жилищно-коммунального хозяйства не позволяет привести полигоны хранения бытовых отходов в соответствие с установленными нормами и порождает проблему несанкционированных свалок.

Надо отметить, что общество уже не может позволить себе выбрасывать миллионы тонн сырья: бумаги, пластмассы, металла. Если бы удалось полностью извлекать и вновь пускать в оборот бумагу, находящуюся в отходах, то ежегодно сохранялся бы лес на площади многих сотен тысяч гектаров.

Утилизация твердых отходов является проблемой, сочетающей в себе элементы экологии, экономики, санитарии и социологии. Разрабатываемые методы утилизации требуют создания новых технологий.

### ***Вопросы для закрепления раздела 18***

1 Какова тенденция образования отходов производства для современной цивилизации?

2 Какие категории отходов выделяют по гигиеническому принципу?

3 Какие циклы выделяют при рассмотрении техногенного ресурсного цикла?

4 Основные мероприятия по экологизации сквозного техногенного ресурсного цикла.

5 Какие направления выделяют при использовании оборотных энергетических ресурсов?

6 Что представляет собой циркуляционный техногенный ресурсный цикл?

7 Что считается отходами производства?

8 Основные направления использования твердых отходов.

9 Способы переработки твердых отходов.

10 Методы утилизации твердых бытовых отходов.

11 Приведите примеры топливного использования оборотных энергетических ресурсов.

12 Можно ли использовать протирочную ветошь в качестве ТЭР и какие условия нужно при этом соблюдать?

13 В чём заключается вред для окружающей среды при сжигании ТБО?

14 Какое влияние на биохимический процесс компостирования оказывают пищевые отходы?

15 В каком случае компостирование ТБО невозможно?

## 19 ВЛИЯНИЕ ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Достаточно, чтобы каждый из нас на час задержал дыхание – и с парниковым эффектом будет покончено.

*Д. Адлер, архитектор*

В настоящее время объекты стационарной энергетики в основном являются потребителями ископаемого углеводородного топлива, доля которого в общемировом энергопотреблении является главенствующей, а именно 81 % в 2020 году по данным Мирового энергетического агентства (см. рисунок 4.1).

Стационарная энергетика Беларуси также состоит в основном из тепловых электростанций (ТЭС), которые работают за счет энергии, получаемой при сжигании углеводородного топлива. Различают, как известно, два вида тепловых электростанций:

1) *конденсационные*, вырабатывающие только электрическую энергию (КЭС), в которых в целях наибольшей эффективности турбины водяной пар охлаждается до минимально возможной температуры и, следовательно, соответствующего ей давлению в конденсаторе;

2) *теплофикационные*, которые кроме электрической энергии, отпускают также тепловую энергию в виде пара, предварительно отработавшего в теплофикационной турбине, или воды, нагретой этим паром (ТЭЦ).

На тепловых электростанциях (ТЭС) устанавливаются также газотурбинные установки (ГТУ), которые используются в условиях полупиковых и пиковых нагрузок суточного графика энергопотребления. Это вызвано тем, что паровые котлы и турбины ТЭС, обеспечивающие основную генерацию электроэнергии, допускают изменения нагрузки только на 10–15 %. Такой режим работы основного теплосилового оборудования ТЭС обусловлен тем, что работа крупных ТЭС в резко переменном режиме приводит к увеличению расхода топлива, а также износу оборудования и снижению его надежности.

Современные технологии позволяют использовать малогабаритные когенерационные установки на базе ГТУ и двигателей внутреннего сгорания

(ДВС). Это значительно повышает использование теплоты сгорания топлива в них и уменьшает экономические затраты на передачу энергоносителей как тепловой, так и электрической энергии.

Таким образом, объекты стационарной энергетики оснащены всевозможными видами тепловых машин: газотурбинными установками, двигателями внутреннего сгорания. Основными химическими веществами, которые образуются в результате сгорания топлива в тепловых машинах, являются оксиды углерода CO и CO<sub>2</sub>, оксиды азота NO<sub>x</sub>, несгоревшие и частично сгоревшие углеводороды CН<sub>x</sub>, органические соединения, оксиды серы SO<sub>x</sub>, твердые частицы.

### 19.1 Вредные вещества, выбрасываемые в атмосферный воздух

Известно, что главными химическими элементами живых веществ, а значит, и растений, являются шесть элементов: азот (N), углерод (C), водород (H), кислород (O), фосфор (P) и сера (S). Указанные элементы участвуют в химических реакциях и при окислении углерода, водорода и серы выделяется теплота. Эти химические элементы, обязательно входящие в состав углеводородного топлива, называются горючими элементами и характеризуют качество природного топлива. Причем как твердого, так и жидкого, и газообразного.

**Монооксид углерода CO** (угарный газ) является промежуточным продуктом химической реакции углеродосодержащего топлива с окислителем (кислородом воздуха). Механизм образования CO может быть схематично представлен последовательностью реакций [27]:



Образование монооксида углерода CO в тепловых установках может происходить в условиях недостатка окислителя (кислорода), т. е. при горении обогащённых топливно-воздушных смесей вследствие диссоциации диоксида углерода CO<sub>2</sub> при высоких температурах (свыше 2000 К).

Монооксид углерода CO может образоваться в пристеночных слоях, где температура достаточна для развития начальных стадий окислительных реакций, но её недостаточно для доокисления CO в CO<sub>2</sub>.

**Монооксид углерода (CO).** Газ без цвета, без запаха и вкуса. Весьма горюч. С воздухом может образовать взрывчатую смесь. В воде практически не растворяется.

Оксид углерода обладает токсическим действием. Его воздействие на организм человека при различных уровнях концентрации в атмосфере характеризуется следующим образом:

- 1 об. % – потеря сознания после нескольких вдохов;
- 0,05 об. % – слабое отравление через 1 ч;
- 0,01 об. % – хроническое отравление при длительном пребывании;
- 0,0016 об. % – безвредно.

Монооксид углерода взаимодействует с гемоглобином крови и образуется новое вещество карбоксигемоглобин, которое не выполняет функцию переносчика кислорода, как гемоглобин.

**Диоксид углерода  $\text{CO}_2$**  (углекислый газ) бесцветный и безвредный газ. Это трехатомный газ, который, как и все трех- и многоатомные газы, не является прозрачным для теплового излучения. Следовательно, диоксид углерода  $\text{CO}_2$  является парниковым газом, и повышение его концентрации в атмосфере нарушает тепловой баланс на планете Земля.

Этот дисбаланс приводит к изменению климата. В каждой экономически развитой стране занимаются климатическими изменениями и прогнозами на будущее, поскольку с ними связана не только экология, но и здравоохранение, экономика, мировой рынок.

Одной из авторитетных организаций является «Всемирный экономический форум» (ВЭФ), её штаб-квартира находится в Кёльне. В неё входит около 1000 крупных компаний и организаций из разных стран мира.

Исследованиями по изменению климата занимается Межправительственная группа экспертов ООН (IPCC), которая регулярно проводит конференции ООН. Результаты исследований этих и других организаций указывают на глобальное потепление, которое не внушает оптимизма.

Идущее на планете глобальное потепление может превратить нашу Землю в «планету бурь», поскольку глобальные изменения климата могут перейти точку невозврата. Ограничение по повышению среднегодовой температуры на планете не работает, и уже очень скоро температура поднимется на 2,4 °С. Следствием этого может быть разгул мощных штормов и ураганов даже в тех местах, где их раньше вообще не было (рисунок 19.1).



Рисунок 19.1 – Ураганные смерчи в населенном пункте

Но дождями и потопами дело может не ограничиться. Ученые проанализировали более 200 исследований климата и определили угрозы, которые приводят к тому, что экосистемы уже не смогут восстановиться и начнут неконтролируемо уничтожать сами себя.

Пять угроз актуальны уже сейчас. Это разрушение ледяной шапки Гренландии, таяние ледников Западной Антарктиды, повсеместная деградация вечной мерзлоты, массовое вымирание тропических коралловых рифов и нарушение системы течений в море Лабрадор.

К каким последствиям могут привести указанные угрозы? Таяние ледяных щитов Гренландии и Антарктиды приведет к повышению уровня моря на 10 метров. Деградация мерзлоты ведет к лавинообразным выбросам метана  $\text{CH}_4$ , сильнейшего парникового газа, что влечет за собой еще большее потепление. От состояния коралловых рифов зависит жизнь 500 миллионов человек во всем мире. Сбой в циркуляции течений Северной Атлантики грозит обернуться остановкой и даже разворотом теплого течения Гольфстрим, что вызовет резкое похолодание в Европе и череду беспрецедентных погодных аномалий.

При дальнейшем повышении температуры на Земле есть вероятность таяния горных ледников и серьёзных изменений в экосистемах северных лесов, отмирания и превращения в саванну тропических лесов Амазонки, изменения режимов муссонных дождей в Западной Африке.

Такие климатические изменения, по мнению членов ВЭФ, породят потоки мигрантов – порядка 200 миллионов человек, что несравненно больше, чем миграции, вызванные военными конфликтами. При этом многие считают, что так называемая «зеленая» энергетика не только не является панацеей, но и наносит определенный вред окружающей среде.

Человечество всё ещё может контролировать дальнейшее потепление. Необходимо сокращать выбросы парниковых газов. Лето в европейской части света с момента начала регулярных метеонаблюдений (XVIII в.) стало в 2022 году самым жарким. Во многих странах были установлены новые температурные рекорды. Также 2022 год стал рекордным по количеству пожаров: на территории Европы сгорело около 660 тысяч гектаров леса. Засуху 2022 года признали самой сильной за последние 500 лет.

Вселяет надежду, что на проявления действительно опасных последствий глобального потепления отводится ещё несколько десятилетий, а то и столетий. Таким образом, время на то, чтобы найти решение проблемы есть. Человечество начало уметь, наука развивается.

**Оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ).** Это, как правило, смесь разных оксидов, главным образом  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ . Наибольшую опасность представляет диоксид азота  $\text{NO}_2$  и его полимер  $\text{N}_2\text{O}_4$ . Диоксид азота – газ бурого цвета с характерным запахом. Растворимость в воде незначительна.

Верхний температурный предел существования диоксида азота состав-

ляет 620 °С. При этой температуре он полностью диссоциирует на оксид азота NO и кислород.

При понижении температуры оксид азота окисляется до диоксида.

Оксиды азота раздражающе действуют на легкие, в тяжелых случаях вызывая их отек с последующей смертью.

Воздействие на организм человека NO<sub>2</sub> (об. %) в зависимости от ее концентрации в воздухе характеризуется следующим образом:

0,00001 – абсолютный порог воздействия;

0,0001–0,0003 – порог восприятия запаха;

0,0013 – порог раздражения слизистых оболочек носа и глаз;

0,001–0,002 – образование метгемоглобина;

0,004–0,008 – отек легких.

Оксиды азота обладают коканцерогенными свойствами и вызывают кислотные дожди.

Существует два принципиально различных источника образования NO<sub>x</sub> при горении: молекулярный азот атмосферного воздуха и азот, содержащийся в топливе в связанном состоянии. При этом в большинстве энергетических установок первый источник является преобладающим.

**Сера и ее соединения.** Сера, содержащаяся главным образом в дизельном топливе и мазуте, выбрасывается в форме оксидов (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>) и сернистых газов (сероводорода H<sub>2</sub>S), которые негативно воздействуют на человека и животный мир.

**Диоксид серы (SO<sub>2</sub>)** – бесцветный газ с острым запахом. Хорошо растворяется в воде, образуя сернистую кислоту. При концентрации SO<sub>2</sub> (об. %) в воздухе воздействие на организм человека характеризуется следующим образом:

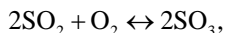
0,0017 – раздражение глаз, кашель;

0,0007–0,001 – раздражение в горле;

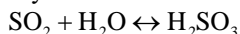
0,004 – отравление через 3 мин;

0,01 – отравление через 1 мин.

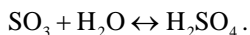
Наличие этого компонента в продуктах сгорания вызывает коррозию деталей тепловой машины. Кроме того, диоксид серы способствует появлению кислотных дождей. Сначала газ доокисляется до SO<sub>3</sub>:



а затем газы SO<sub>2</sub> и образовавшийся SO<sub>3</sub> вступают в реакцию с парами воды и образуют кислоты – сернистую



и серную



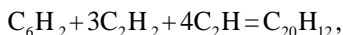
Образовавшиеся кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> способствуют возникновению фотохимического смога и кислотных дождей, вызывающие коррозию ме-

таллов, разрушающе действующих на лёгочную ткань и вызывающих бронхиальные заболевания.

**Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).** В продуктах сгорания тепловых двигателей обнаружено более 20 различных полициклических ароматических углеводородов, содержащих соответственно одно, два или несколько бензольных колец. Основой этих углеводородов является структура, называемая бензольным ядром, в которую входят шесть атомов углерода, соединенных в кольцо, с тремя однородными и тремя двойными связями.

Наиболее загрязняющими из них являются неканцерогенные пирен, флуорантен и слаботоксичный хризен, а наиболее опасными – бензофлуорантен, фенантрен и особенно бенз(а)пирен  $C_{20}H_{12}$ .

Известен гипотетический механизм образования бенз(а)пирена на базе стехиометрического уравнения



где  $C_6H_2$  – полурадикал, представляющий собой зародыш сажи;  
 $C_2H_2$  и  $C_2H$  – связующие элементы, образующиеся при сгорании углеводородного топлива.

Бенз(а)пирен хорошо адсорбируется и прочно удерживается в порах, образующихся в процессе сгорания мелких сажевых частиц. В нормальных атмосферных условиях – кристаллический продукт, плохо растворяющийся в воде. При освещении ультрафиолетовыми лучами в органических растворителях флуоресцирует.

**Альдегиды.** Кислородосодержащие углеводороды  $RCNO$  (альдегиды) являются продуктами неполного сгорания и образуются в период предпламенных реакций (при низких температурах окисления). Однако, обладая большой реакционной способностью, практически полностью выгорают при высокой температуре. Поэтому максимальные концентрации альдегидов в продуктах сгорания отмечаются при работе двигателя на режимах пуска (особенно холодного) и режимах с малыми нагрузками.

Среди альдегидов, содержащихся в продуктах сгорания двигателей, наиболее значительными являются низкомолекулярные – формальдегид (муравьиный альдегид)  $НСНО$ .

Формальдегид – бесцветный газ с резким запахом. Легко растворяется в воде. При концентрации формальдегида в воздухе, об. %, воздействие на организм человека характеризуется следующим образом:

0,00037 – безвредно;

0,007 – легкое раздражение дыхательных путей и слизистых оболочек носа и глаз;

0,018 – осложнения.

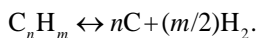


**Сажеобразование.** Основными составляющими твердых частиц являются сажа и сульфаты. Кроме того, в продуктах сгорания присутствуют твердые вещества, образующиеся в результате окисления моторного масла, попадающего в камеру сгорания, а также металлы (сталь, чугун, никель, медь, цинк и др.) и их оксиды, являющиеся продуктами износа двигателя и присадок к топливу и моторному маслу.

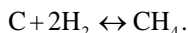
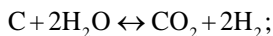
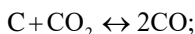
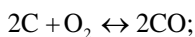
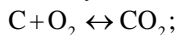
**Сажа** состоит в основном из углерода С (95–98 %) и химически связанного водорода Н (1–3 %) [27], причем на начальных стадиях сгорания её частицы состоят из почти чистого углерода, а затем насыщаются углеводородами и их соединениями. Сажа представляет собой пористые формирования твердого углерода С, имеющие неправильную форму и линейные размеры 0,1–100 мкм (преимущественно 0,2–5,0 мкм).

Механизм образования сажи изучен не вполне достаточно. Доминирующая точка зрения состоит в том, что при горении углеводородов выделение твердых частиц происходит в результате пиролиза (термического разложения), неполного сгорания и окислительного крекинга углеводородных молекул в условиях высоких температур (выше 1200 °С) и при сильном недостатке кислорода. Согласно этой теории, механизм образования сажи представляет собой последовательность процессов пиролиза углеводородов, образования в пламени активных углеводородных частиц, роста ядер и агломерации этих частиц и окисления сажи.

Поэтому содержание сажи в продуктах является результатом протекания двух основных процессов: её образования и окисления. При этом определяющим является процесс пиролиза, реакция которого выражается уравнением



Окисление сажи проходит по следующим реакциям:



Различные топлива обладают разной склонностью к сажеобразованию. Ненасыщенность углеводородов увеличивает тенденцию к сажеобразованию. Наиболее склонны к сажеобразованию топлива нафталинового ряда, несколько меньше – ароматические углеводороды; наименьшее сажеобразование дают углеводороды парафинового ряда (алканы).

## 20 ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Прежде природа угрожала человеку,  
а теперь человек угрожает природе.  
*Жак-Ив Кусто, исследователь*

Кроме стационарной теплоэнергетики углеводородное топливо гораздо шире используется на транспорте. Современное индустриальное общество не может функционировать без транспорта, который является одним из важнейших элементов материально-технической базы общественного производства.

Наряду с достоинствами, которые обеспечивают обществу развитая транспортная сеть, её прогресс сопровождается также отрицательным воздействием на окружающую среду. Все транспортные средства с автономными первичными двигателями в той или иной степени загрязняют атмосферу химическими веществами, содержащимися в отработанных газах [29].

В среднем вклад отдельных видов транспортных средств в загрязнение атмосферы следующий [23]:

- автомобильный – 85 %;
- морской и речной – 5,3 %;
- воздушный – 3,7 %;
- железнодорожный – 3,5 %;
- сельскохозяйственный – 2,5 %.

Основными источниками загрязнения атмосферы является автомобильный транспорт. Что касается загрязнения атмосферы другими видами транспорта, то здесь проблема имеет меньшую остроту, поскольку транспортные средства этих видов не концентрируются непосредственно в городах.

Современные автомобили – пример неэкологичного транспортного средства. Поэтому проблемы и пути повышения экологичности транспорта различных видов наиболее целесообразно рассмотреть на примере наиболее загрязняющего окружающую среду вида транспорта – автомобильного.

### 20.1 Влияние автомобильного транспорта

Автомобильный транспорт, с одной стороны, потребляет из атмосферы кислород, а с другой – выбрасывает в нее отработавшие газы, картерные газы и углеводороды из-за испарения их из топливных баков и негерметичности систем подачи топлива.

Автомобиль отрицательно воздействует практически на все составляющие биосферы: атмосферу, водные ресурсы, земельные ресурсы, человека.

Выхлопы от автотранспорта распространяются непосредственно на улицах города вдоль дорог, оказывая непосредственное вредное воздействие на пешеходов, жителей расположенных рядом домов и растительность. Выяв-

лено, что зоны с превышением ПДК по диоксиду азота и оксиду углерода охватывают до 90 % городской территории.

Автомобиль – самый активный потребитель кислорода воздуха. Если человек потребляет воздуха около 120 м<sup>3</sup> в сутки, то современный автомобиль для сгорания только 1 кг бензина расходует около 12 м<sup>3</sup> воздуха. В результате один бензиновый автомобиль сжигает ежедневно кислорода столько, сколько его необходимо для жизнедеятельности сотни человек. Так, весь автомобильный транспорт США потребляет в 2 раза больше кислорода, чем его регенерирует природа на всей их территории.

Таким образом, в крупных мегаполисах автомобильный транспорт поглощает кислорода в десятки раз больше, чем все их население. Концентрация кислорода в атмосферном воздухе при нормальных условиях составляет 21 % (по объёму). Но при уменьшении её до 17 % у человека появляются симптомы недомогания, при 12 % и меньше возникает опасность для жизни, при концентрации ниже 11 % наступает потеря сознания, а при 6 % прекращается дыхание [23].

С другой стороны, на автомагистралях не просто мало кислорода, но воздух ещё насыщен вредными веществами автомобильного выхлопа. В таблице 20.1 приведен состав основных примесей химических веществ в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания (ДВС) [23].

**Таблица 20.1 – Состав основных примесей в выбросах автотранспорта**

В килограммах на тонну топлива

Компонент выбросов	Двигатель	
	бензиновый	дизельный
Оксиды:		
углерода	395,0	9,0
азота	20,0	33,0
серы	1,6	6,0
Углеводороды	34,0	20,0
Альдегиды, органические кислоты	1,4	6,0
Твердые частицы (сажа)	2,0	16,0

В состав выбросов от автомобилей входит около 200 химических соединений, которые в зависимости от особенностей воздействия на организм человека подразделяют на семь групп.

В 1-ю группу входят химические соединения, содержащиеся в естественном составе атмосферного воздуха: вода (в виде пар), водород, азот, кислород и диоксид углерода. Автотранспорт выбрасывает в атмосферу такое огромное количество пара, что в Европе и Европейской части России оно превышает по массе испарения всех водоемов и рек. Из-за этого растет облачность, а число солнечных дней заметно снижается. Серые, без солнца, дни, непрогретая почва, постоянно повышенная влажность воздуха – всё это

способствует росту вирусных заболеваний, снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Во 2-ю группу включен оксид углерода (4-й класс опасности). Вдыхаемый человеком, он соединяется с гемоглобином крови и подавляет его способность снабжать ткани организма кислородом. В результате наступает кислородное голодание организма и возникают нарушения в деятельности центральной нервной системы. При концентрации 0,05 % через 1 ч появляются признаки слабого отравления, а при 1 % наступает потеря сознания после нескольких вдохов.

В 3-ю группу входят оксид азота (3-й класс опасности) и диоксид азота. Указанные газы являются примесями, способствующими образованию смога. Попадая в организм человека, они, взаимодействуя с влагой, образуют азотистую и азотную кислоты. При концентрации 0,0013 % происходит слабое раздражение слизистых оболочек глаз и носа, при 0,002 % – образование метгемоглобина, при 0,008 % – отек легких.

В 4-ю группу входят углеводороды. К наиболее опасным из них относится 3,4-бенз(а)пирен – мощный канцероген.

В 5-ю группу входят альдегиды. Наиболее опасны для человека акролеин и формальдегид (2-й класс опасности). Концентрация акролеина 0,00016 % является порогом восприятия запаха, при 0,002 % запах трудно переносим, при 0,0005 % непереносим, а при 0,014 % через 10 мин наступает смерть. Концентрация формальдегида 0,007 % вызывает легкое раздражение слизистых оболочек глаз и носа, а также верхних органов дыхания, при концентрации 0,018 % осложняется процесс дыхания.

В 6-ю группу входит сажа (3-й класс опасности), которая оказывает раздражающее воздействие на органы дыхания. Было выявлено, что частички сажи активно адсорбирует на своей поверхности бенз(а)пирен, вследствие этого резко ухудшается здоровье детей, страдающих респираторными заболеваниями, лиц, больных астмой, бронхитом, воспалением легких, а также людей пожилого возраста.

В 7-ю группу входят свинец и его соединения. В бензин в качестве антидетонационной присадки вводят тетраэтилсвинец (1-й класс опасности). Свинец и его соединения снижают активность ферментов и нарушают обмен веществ в организме человека, а также обладают кумулятивным действием, т. е. способностью накапливаться в организме.

### 20.1.1 Пути снижения токсичности продуктов сгорания

Разработка методов и проведение соответствующих мероприятий для решения проблемы по снижению токсичности продуктов сгорания углеводородных топлив в тепловых машинах ведутся по следующим направлениям.

**Совершенствование конструкции и рабочего процесса тепловых машин.** Заметное влияние на экологические показатели двигателей оказывают способ смесеобразования, тип камеры сгорания, рабочий объем цилиндра, степень сжатия, процесс горения, характеристики воздушного заряда, закон подачи топлива, угол опережения зажигания или впрыска топлива, системы топливоподачи, газораспределения, воздухообеспечения и охлаждения, уровень форсирования двигателя, параметры наддува, рециркуляция продуктов сгорания и т. д.

**Физико-химическая очистка продуктов сгорания.** Применение нейтрализаторов фильтров различного типа до выброса продуктов сгорания в атмосферный воздух позволяет значительно снизить выбросы продуктов неполного сгорания углеводородного топлива – монооксида углерода CO, углеводородов C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, оксидов азота NO<sub>x</sub> и сажевых частиц.

Однако такие устройства очистки недостаточно эффективны для наиболее опасных компонентов – оксидов азота.

**Применение углеводородных топлив с улучшенными свойствами.** Использование традиционных углеводородных топлив с улучшенными свойствами за счет ограничения содержания в топливе свинца, серы и ароматических углеводородов, как показывают результаты испытаний, позволяют снизить СН на 10 %, СО на 20 % и NO<sub>x</sub> на 33 %. Кроме того, в несколько раз уменьшились выбросы свинца, серы и других канцерогенных веществ.

**Альтернативные виды топлива.** Перспективным направлением по снижению токсичности продуктов сгорания горючего в тепловых машинах является переход на альтернативные виды топлива, в том числе не содержащие углерод.

В качестве возможных видов топлива для тепловых машин могут быть использованы в перспективе следующие:

- синтетические топлива, получаемые не из нефти;
- горючие газы (природный газ, водород);
- спирты (метанол этанол);
- водотопливные эмульсии;
- биотоплива;
- азотно-водородные соединения.

Рассмотрим наиболее перспективные из перечисленных топлив при их сжигании в тепловых машинах.

*Природный газ.* При использовании горючих газов их агрегатное состояние благоприятствует качественному протеканию рабочего процесса в камерах сгорания тепловых двигателей, поскольку исключаются такие стадии, как распыл и испарение.

Определенный вклад в снижение токсичности продуктов сгорания тепловых двигателей вносит использование природного и сжиженного газов.

Вследствие более широких пределов воспламенения смеси, высокой однородности в отдельных цилиндрах и полного отсутствия капель неиспаренного топлива содержание в продуктах сгорания  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_x$  и особенно сажевых частиц оказывается меньшим по сравнению с бензином и дизельным топливом. При прочих равных условиях концентрация  $\text{NO}_x$  в продуктах сгорания существенно ниже (почти вдвое).

Основным горючим компонентом природного газа является метан  $\text{CH}_4$ , который содержит 25 мас.% водорода, т. е. значительно больше, чем традиционные нефтяные топлива, поэтому он имеет высокую теплоту сгорания ( $H_u = 49,94$  МДж/кг).

Температура горения метана на 100–150 °С ниже, чем у многих других топлив. Объясняется это большой эндотермичностью реакции распада метана (74,6 МДж/моль) вследствие высокой прочности связей С–Н в его молекуле. Пониженная температура создает предпосылки для снижения эмиссии оксидов азота  $\text{NO}_x$  тепловыми двигателями.

Перевод двигателей на питание природным газом дает заметный экологический эффект. Сжигание природного газа приводит к уменьшению в среднем выбросов  $\text{CO}$  в 2 раза,  $\text{CH}$  – на 15–40 %, а  $\text{NO}_x$  – на 15 %. Одновременно уменьшается и выброс  $\text{CO}_2$ , а высокомолекулярные углеводороды, сера, бензол, олефины и альдегиды в атмосферу практически не поступают. К положительным качествам метана следует также отнести практически отсутствие частиц сажи в продуктах сгорания.

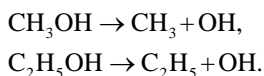
Следует подчеркнуть, что применение природного газа в двигателях с принудительным воспламенением (бензиновые и газовые двигатели) осуществляется довольно просто, а дизельные двигатели требуют конструктивных изменений, связанных либо с принудительным воспламенением, либо с организацией двухтопливного питания (запальная доза – дизельное топливо, основная доза – газовое топливо).

*Водород.* Сегодня возможность использования водорода как топлива для тепловой машины (в частности, для ДВС) либо в чистом виде, либо в виде добавки к основному углеводородному топливу не вызывает сомнений. Водород как моторное топливо имеет ряд преимуществ: хорошую воспламеняемость в смеси с воздухом, обеспечивающую легкий запуск двигателя при практически любых возможных температурах окружающей среды; высокую антидетонационную стойкость, допускающую работу при больших степенях сжатия; высокую скорость и полноту сгорания, что позволяет приблизить реальный цикл работы ДВС с искровым зажиганием к идеальному с подводом теплоты к смеси при постоянном объеме, т. е. увеличить КПД цикла. Добавка водорода к базовому топливу снижает эмиссию таких вредных выбросов, как  $\text{CO}$  и  $\text{CH}$ . При использовании водорода в качестве монотоплива образования указанных компонентов не происходит, что даст возможность создания практически экологически чистых силовых машин.

Однако вследствие высокой температуры горения водорода при наличии свободного кислорода O в камере сгорания существенно растет эмиссия оксидов азота NO<sub>x</sub>.

На современном этапе реальное использование водорода H<sub>2</sub> для ДВС с принудительным воспламенением представляется как добавка к основному углеводородному топливу.

*Спирты.* Характеризуются высокой активностью при горении по сравнению с нефтяными топливами. В условиях высоких температур происходит диссоциация спиртов (метилового и этилового) по следующим реакциям:



Образование активных радикалов приводит к облегчению начала цепной реакции и активизирует весь процесс горения топливно-воздушной смеси. Кроме того, вследствие более простой структуры молекул спиртов эмиссии сажистых частиц и канцерогенных веществ при их сжигании значительно ниже в сравнении с традиционными топливами, а сернистые соединения практически отсутствуют.

Исследования показывают, что метанол (в отличие от этанола является ядовитой жидкостью, и употребление его человеком в небольших количествах приводит к слепоте, а в значительных – к летальному исходу) можно эффективно применять в тепловых двигателях различного типа (бензиновых, газовых, дизельных ДВС, газотурбинных двигателях и др.). Главное преимущество при использовании в них метанола – низкие выбросы оксидов азота NO<sub>x</sub>, сажистых частиц и канцерогенных веществ практически на всех режимах работы двигателя [27].

*Водотопливные эмульсии.* Применение водотопливных эмульсий (ВТЭ) ведет к снижению выбросов оксида азота NO<sub>x</sub> во всем диапазоне эксплуатационных нагрузок, поскольку снижаются максимальные температуры сжигания.

Применение ВТЭ в дизелях позволяет снизить выбросы NO<sub>x</sub> в 1,5 раза, эмиссию СО и дымность продуктов сгорания – в 2 раза. Для достижения максимального положительного эффекта в борьбе с токсичностью и дымностью продуктов сгорания необходимо оптимизировать содержание воды в эмульсии в зависимости от режима работы двигателя [27].

### 20.1.2 Разработка альтернативных видов автотранспорта

К основным альтернативным автомобильным видам транспорта можно отнести электромобиль и автомобиль с инерционным двигателем.

Идеальный автомобиль для города – *электромобиль*. Он приводится в движение электродвигателем, который, в свою очередь, получает энергию

от некоторого числа аккумуляторных батарей. Основные преимущества электромобиля перед автомобилем следующие:

- он почти не дает выбросов вредных веществ, токсичность газов, попадающих в атмосферу при зарядке и разрядке аккумуляторных батарей, несравнимо меньше, чем при работе ДВС;

- обладает очень привлекательной для транспортных средств характеристикой: на малых скоростях вращения у него большой крутящий момент, что очень важно, когда нужно тронуться с места или преодолеть трудный участок дороги; кроме того, он предпочтительней с точки зрения удельной мощности и более компактен;

- не нуждается в столь тщательном уходе, как обычный автомобиль: требует меньше регулировок, не потребляет много масла, проще система охлаждения, а топливная вообще отсутствует;

- излучает значительно меньший шум, чем автомобили с дизельным или бензиновым приводом.

Главными недостатками современного электромобиля являются: ограниченный ресурс пробега, малый срок службы и токсичность при утилизации аккумуляторов, общая высокая стоимость. В таблице 20.2 приведены сравнительные характеристики накопителей электроэнергии.

*Таблица 20.2 – Сравнительные характеристики накопителей электроэнергии*

Типы накопителей энергии	Удельная энергоёмкость, Вт·ч/кг	Удельная мощность, Вт/кг
Аккумуляторные батареи:		
свинцово-кислотные	35–50	250–400
никель-кадмиевые	50–65	200
никель-металлгидридные	70–90	200
натрий / никель-хлоридные	90–100	130
литий-ионные	100–150	300
натриево-серные	100	120
Ультраконденсаторы	4	8000

*В автомобиле с инерционным двигателем* в качестве накопителя энергии используется не аккумулятор, а маховик. Электроток от стационарного источника используется для раскрутки супермаховика из легких, но прочных на разрыв углеродных волокон. Когда он наберет обороты, напряжение отключается. Однако вращение продолжается несколько часов, поскольку супермаховик заключен в герметичную капсулу, из которой выкачан сопротивляющийся воздух, а магнитный подвес устраняет трение в подшипниках. Эксперименты в этой области показывают, что автомобиль с супермаховиком способен разогнаться до 96,5 км/ч всего за 6,5 с. Пробег без подзарядки – до 600 км.



## ***Вопросы для закрепления разделов 19 и 20***

- 1 Какими тепловыми машинами оснащена современная традиционная стационарная энергетика?
- 2 Какие химические элементы обязательно содержатся в органических веществах?
- 3 Вредные вещества, образующиеся при сгорании углеводородных топлив в тепловых машинах.
- 4 Возможные причины глобального потепления и связанные с ним угрозы.
- 5 В чем опасность возрастания концентрации оксидов азота (каких?) в атмосферном воздухе?
- 6 В чем опасность возрастания концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе?
- 7 Влияние полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) на окружающую среду.
- 8 Причина образования альдегидов в двигателях внутреннего сгорания.
- 9 Причины образования в тепловых машинах.
- 10 Влияние автомобильного транспорта на окружающую среду.
- 11 Мероприятия по уменьшению загрязнения окружающей среды продуктами сгорания автотранспорта.
- 12 Какие в настоящее время разрабатываются новые виды автотранспорта, которые при эксплуатации не загрязняют атмосферный воздух?

## **21 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Пессимист в каждой возможности видит трудность, а оптимист в каждой усматривает возможность.

*У. Черчилль, государственный деятель*

Стремительное развитие научно-технического прогресса определило противоречивую ситуацию – рост общего материально-технического благосостояния и усиливающаяся деградация окружающей природной среды. Закономерность такого противоречия объясняется тем, что материально-техническое благополучие достигается при нерегулируемом, неупорядоченном глобальном ресурсопотреблении и ухудшающемся качестве окружающей среды. В результате всёпродолжающегося такого глобального положения порождается проблема выживания человечества.

В современном мире предвестниками надвигающейся проблемы ухудшения условий жизни и даже выживания являются глобальные негативные изменения, связанные с деятельностью человека. Отмеченное подтверждается нижеследующим.

Загрязнение Мирового океана меняет характер энергообмена «океан – атмосфера», уменьшает испарение с водной поверхности, являющейся основным источником влаги на Земле, уменьшает поступление кислорода в атмосферу за счёт сокращения фитопланктона, тем самым ухудшает состав атмосферного воздуха для жизни человека.

Вырубка лесов, увеличение площади пустынь, осушение болот, создание искусственных водохранилищ, замена естественных ландшафтов на антропогенные узкоспециализированные площади земной поверхности меняют структуру естественного круговорота химических элементов. Также уменьшается поступление кислорода в атмосферный воздух, сокращаются сельскохозяйственные площади, что ведет к уменьшению пищевых продуктов.

Непрерывный рост концентрации диоксида углерода, возникающий при сжигании углеводородного топлива, приводит к росту средней температуры приземного слоя атмосферного воздуха (возникает так называемый парниковый эффект), к изменению структуры атмосферной циркуляции и глобальному перераспределению осадков. Условия жизни на Земле для человека ухудшаются.

Кислотные дожди, которые образуются в результате выброса в атмосферу оксидов серы и азота предприятиями топливно-энергетического комплекса, автотранспортом, химическими и металлургическими заводами отравляют почву, губят урожаи, разрушают строительные конструкции, особенно памятники старины. Попадая в почву, например, кислотные дожди выщелачивают ее и уносят такие питательные вещества, как кальций, магний, калий и натрий. Убивая микроорганизмы, разрушающие органические остатки в почве, кислотные дожди лишают ее важнейших питательных веществ. Кроме того, проникая в тонкую структуру листьев и ветвей, кислотные дожди отравляют растения, снижают интенсивность фотосинтеза (а значит, уменьшается выработка кислорода) и ухудшают всхожесть семян. По данным американских ученых [22], кислотность сегодняшних осадков более чем в 100 раз превышает кислотность дождей, выпавших 180 лет назад. В результате сокращается урожайность органической пищевой продукции, содержание кислорода в атмосферном воздухе уменьшается, следовательно, условия жизни человека на Земле ухудшаются.

Таким образом, современный инженер постоянно сталкивается с необходимостью творческого поиска возможного экологического компромисса между «невмешательством» и «покорением» природы, как указывал академик Н. Н. Моисеев.

К сожалению, в современной инженерной практике всё ещё сильны экологически несостоятельные стереотипы мышления. До сих пор преобладают прагматические тенденции, когда приоритетами становятся потребительские интересы («всего побольше и подешевле»). Довольно часто стремление

к снижению себестоимости проекта вступает в противоречие с логикой сохранения качества окружающей среды, с логикой выживания.

Современный инженер – это образованный человек, который в профессиональной деятельности результаты своего труда обязательно согласует с экологической логикой. В противном случае сиюминутные хозяйственные интересы могут быть воплощены в смертельные для природы технические проекты.

### ***Вопросы для закрепления раздела 21***

1 Суть компромисса между «покорением» природы и «невмешательством».

2 Как понимать тезис, что наука, техника, производство должны оцениваться и развиваться только в ключе экологической состоятельности?

3 Почему развитие производства немислимо без использования природы и её разнообразных ресурсов?

4 Приведите примеры отрицательного воздействия производства на окружающую среду, обусловленного несовершенством технологических процессов по вашей специальности.

5 В чем заключается эколого-экономическая ответственность хозяйствующего субъекта?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Директива Президента Республики Беларусь № 3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности страны» // Энергетика и ТЭК.– 2016. – № 2.

2 Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 годы / Энергетика и ТЭК. – 2021. – № 2.

3 Закон Республики Беларусь от 24.05.2021 № 111-З «Об энергосбережении» с изменениями и дополнениями.

4 **Овчинников, В. М.** Энергетическая стратегия Беларуси : учеб.-метод. пособие / В. М. Овчинников, Л. В. Шенец, М. П. Малащенко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 99 с.

5 **Овчинников, В. М.** Основные виды и характеристика энергетических ресурсов : учеб.-метод. пособие / В. М. Овчинников, Л. В. Шенец, В. В. Макеев. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 117 с.

6 **Вавилов, А. В.** Топливо из нетрадиционных энергоресурсов / А. В. Вавилов. – Минск : СтройМедиаПроект, 2014. – 88 с.

7 Закон Республики Беларусь от 27.12.2010 № 204-З «О возобновляемых источниках энергии». – Минск, 2010. – 11 с.

8 **Агабеков, В. Е.** Нефть и газ: технология и продукты переработки / В. Е. Агабеков, В. И. Косяков. – Минск : Беларус. навука, 2010. – 459 с.

9 **Смил, В.** Энергетика: мифы и реальность. Научный подход к анализу мировой энергетической политики / В. Смил. – М. : АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2020. – 272 с.

10 **Германович, В.** Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы / В. Германович, А. Турилин. – СПб. : Наука и техника, 2014. – 320 с.

11 **Зарецкий, А. И.** Атомная электростанция: преимущества и перспективы / А. И. Зарецкий. – Минск : Беларусь, 2013. – 119 с.

12 **Черенцова, А. А.** Энергосбережение : практикум / А. А. Черенцова. – Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2015. – 79 с.

13 **Харари, Ю. Н.** Sapiens: краткая история / Ю. Н. Харари. – М. : Синбад, 2019. – 520 с.

14 **Овчинников, В. М.** Теплопередача : учеб.-метод. пособие к курсовой работе / В. М. Овчинников, В. В. Макеев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 57 с.

15 Энергосбережение на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов / В. А. Гапанович [и др.] ; под ред. В. А. Гапанович. – М. : Изд. дом МИСиС, 2012. – 620 с.

16 **Жидович, И. С.** Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения / И. С. Жидович. – Минск : СтройМедиаПроект, 2014. – 27 с.

17 **Хазен, М. М.** Энергетика локомотивов / М. М. Хазен. – М. : Транспорт, 1977. – 206 с.

18 **Овчинников, В. М.** Тепловые машины и теплообменные аппараты железнодорожного подвижного состава : учеб.-метод. пособие / В. М. Овчинников. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 241 с.

19 **Пехота, А. Н.** Многокомпонентное твердое топливо : [монография] / А. Н. Пехота. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 243 с.

20 Исследование эффективности потребления топливно-энергетических ресурсов организациями и структурными подразделениями Белорусской железной дороги с разработкой стратегии повышения энергетической эффективности Белорусской железной дороги на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года : науч.-исслед. отчёт / В. М. Овчинников [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 381 с.

21 **Мархоцкий, Я. Л.** Основы экологии и энергосбережения : учеб. пособие / Я. Л. Мархоцкий. – Минск : Выш. шк., 2014. – 287 с.

22 **Мазур, И. И.** Курс инженерной экологии : учеб. для вузов / И. И. Мазур, О. И. Молдованов ; под ред. И. И. Мазур. – М. : Высш. шк., 2001. – 510 с.

23 Инженерная экология и экологический менеджмент / М. В. Буторина [и др.] ; под ред. Н. И. Иванова, И. М. Фадиной. – М. : Логос, 2002. – 528 с.

24 **Роудс, Р.** Энергия: история человечества / Р. Роудс. – М. : Колибри, Азбука-Аттикус, 2021. – 496 с.

25 **Власова, О. С.** Экология [Электронный ресурс] : учеб. пособие / О. С. Власова ; М-во обр. и науки Рос. Федерации. – Волгоград : ВолгГАСУ, 2014.

26 **Малахов, В. М.** Инженерная экология : [монография]. В 3 т. / В. М. Малахов, А. Г. Гриценко, С. В. Дружинин. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 290 с.

27 **Ассад, М. С.** Продукты сгорания жидких и газообразных топлив: образование, расчет, эксперимент / М. С. Ассад, О. Г. Пенязьков. – Минск : Беларус. навука, 2010. – 305 с.

28 **Горелая, О. Н.** Водоотводящие системы промышленных предприятий : учеб. пособие / О. Н. Горелая. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 198 с.

29 **Овчинников, В. М.** Токсичность отработавших газов грузовых тепловозов : учеб.-метод. пособие / В. М. Овчинников, В. В. Скрежендевский, В. А. Халиманчик. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 98 с.

30 Энергосбережение на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов / В. А. Гапанович [и др.] ; под ред. В. А. Гапановича. – М. : Изд. дом МИСиС, 2012. – 620 с.

31 Энергосбережение : учеб.-метод. пособие / А. С. Дмитриченко [и др.]. – Минск : БГТУ, 2018. – 90 с.

Учебное издание

*ОВЧИННИКОВ Вячеслав Михайлович*  
*САМОДУМ Юрий Геннадьевич*  
*МАКЕЕВ Вячеслав Валерьевич*

**ОСНОВЫ  
ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
УСТОЙЧИВОСТИ ПРОИЗВОДСТВА**

Учебно-методическое пособие

Редактор *А. А. Павлюченкова*  
Технический редактор *В. Н. Кучерова*  
Корректор *Т. А. Пугач*

Подписано в печать 08.06.2023 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 13,49. Уч.-изд. л. 13,87. Тираж 100 экз.  
Зак. № 1164. Изд. № 22.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 2/104 от 01.04.2014.

№ 3/1583 от 14.11.2017.

Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель